

**INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"
TIMISOARA**

**FACULTATEA DE CONSTRUCTII
CATEDRA DE BETON ARMAT SI CLADIRI**

Ing.Tudor - Simion CLIPUI

**CONTRIBUTII PRIVIND COMPORTAREA IN EXPLOATARE
SI CALCULUL ELEMENTELOR INCOVOLATE DIN BETON
PRECOMPRESAT PARTIAL, CU SI FARA SUPRABETONARE**

**BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA**

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

- 1984 -

473040
345 D

C U P R I N S

	Pag.
1. Introducere.....	5
2. Considerații privind determinarea efortului real de precomprimare.....	12
2.1. Pierderi de tensiune. Pierderi de tensiune din scurtarea elastică a betonului	12
2.2. Relații și prevederi privind luarea în considerare a pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului	15
2.3. Determinarea efortului real de precomprimare cu luarea în considerare a scurtării elastice a betonului.	17
2.4. Calcule comparative privind consecințele neglijării efortului real de precomprimare asupra siguranței elementelor precomprimare	24
2.5. Concluzii privind luarea în considerare a pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului.....	31
3. Calculul eforturilor unitare în secțiunile normale ale elementelor compuse beton precomprimat-beton armat	35
3.1. Aspecte generale	35
3.2. Influența contracției și curgerii lente asupra stării de eforturi unitare normale din elementele compuse beton precomprimat - beton armat	41
3.3. Relații și prevederi privind calculul elementelor compuse beton precomprimat - beton armat în stadiul de exploatare	68
3.4. Calculul eforturilor unitare în secțiunile normale nefisurate ale elementelor compuse	73
3.5. Determinarea momentului încovoietor de fisurare al elementelor compuse beton precomprimat-beton armat..	82
3.6. Determinarea eforturilor unitare în secțiunile normale fisurate ale elementelor compuse	86
4. Influența prezenței și distribuției armăturii nepretensionate de rezistență asupra comportării la fisurare a elementelor din beton precomprimat parțial cu armături preîntinse și bare P₀	95

	Pag-
4.1. Generalități	95
4.2. Definierea mărimii precomprimării și factorii care determină alegerea gradului de precomprimare.....	96
4.3. Factorii care influențează mărimea deschiderii fisurilor	102
4.4. Relații pentru calculul mărimii deschiderii fisurilor	106
5. Studiu experimental privind comportarea în exploatare a elementelor din beton precomprimat parțial cu și fără suprabetonare	109
5.1. Programul experimental și efectuarea încercărilor.....	109
5.2. Rezultatele încercărilor experimentale din etapa I.....	117
5.3. Rezultatele încercărilor experimentale din etapa II ..	124
5.4. Prelucrarea statistică a datelor experimentale.....	137
6. Concluzii și valorificarea rezultatelor cercetării ...	145
Bibliografie	156

1. INTRODUCERE

Betonul, material cu proprietăți elasto-vîscos-plastice, prezintă o serie de avantaje așa cum ar fi: o bună comportare la compresiune; o impermeabilitate și rezistență la gelevitate adecvată, asigurîndu-se în acest fel o durabilitate corespunzătoare; rezistență la foc, etc. Dintre principalele dezavantaje se rețin: comportamentul necorespunzător la întindere; densitate specifică aparentă mare; cimentul este un material energointensiv, etc.

Comportamentul defavorabil la întindere este caracterizat prin deformații specifice limită mici, ceea ce conferă ruperii (în cazul încovoierii, torsiunii, compresiunii excentrice cu mare excentricitate și întinderii centrice sau excentrice) un pronunțat caracter casant, deși ruperea este precedată de o microfisurare ce determină apariția unor deformații plastice. Fisura odată apărută se dezvoltă instantaneu și cu excepția compresiunii excentrice cu medie excentricitate, ea duce la ruperea elementului. În cazul elementelor de beton simplu capacitatea portantă la fisurare este sinonimă cu capacitatea portantă la rupere.

Calculul elementelor de beton simplu la solicitări ce pot produce ruperea prin cedarea zonei întinse se face ținînd cont de deformația specifică limită, de rezistența la întindere respectivă și de comportamentul elasto-plastic al betonului. Comportamentul elasto-plastic depinde de calitatea betonului și de forma și dimensiunile secțiunii transversale. Din cauza rezistenței reduse la întindere pentru această categorie de elemente rezultă dimensiuni exagerate ceea ce face ca utilizarea betonului simplu să devină în acest caz neeconomică.

Avînd în vedere cele de mai sus utilizarea betonului simplu este rațională numai atunci cînd din acțiunile exterioare rezultă eforturi unitare de compresiune.

Pentru ca betonul să poată fi utilizat și la solicitări care produc întinderi s-a procedat la prevederea în aceste zone a unor materiale capabile de a prelua întinderi. În acest fel s-a ajuns, în ultimul timp, la armări disperse cu fibre de sticlă sau cu fibre de oțel. Pentru mărirea rezistenței la întindere s-a procedat și prin polimerizarea betonului.

Soluția clasică de suplînirea a lipsei de rezistență la întindere este introducerea în zona întinsă a armăturilor de oțel moale. În acest fel întinderile sînt preluate de armătură, iar compresiunile de către beton, rezultînd în acest fel betonul armat.

În stadiul de exploatare elementele de beton armat lucrează cu zona întinsă fisurată, dar prin limitarea deschiderii fisurilor, la anumite valori maxime în funcție de condițiile de mediu, se asigură protecția împotriva coroziunii armăturii.

Ruperea elementelor de beton armat se produce, de regulă, prin curgerea armăturii întinse urmată de zdrobirea betonului comprimat. Datorită curgerii armăturii ruperea are un pronunțat caracter ductil (în cazul elementelor prevăzute cu procente medii de armare). Creșterea excesivă a cantității de armătură duce la o situație neeconomică: betonul supraarmat. În acest caz se produce zdrobirea betonului comprimat fără ca armătură întinsă să atingă curgerea. În cazul elementelor slab armate înainte de zdrobirea betonului efortul unitar din armătura întinsă ajunge în porțiunea de consolidare a curbei caracteristice.

Unul din dezavantajele betonului armat îl constituie neutilizarea completă a întregii secțiuni efective de beton din cauza fisurării.

Introducerea precomprimării, devenită posibilă datorită unor materiale de calitate superioară, a făcut ca acest dezavantaj să dispară, astfel că întreaga secțiune de beton devine activă, deoarece eforturile unitare de compresiune, create de efortul de precomprimare, au rolul de a anula eforturile unitare de întindere produse de încărcările exterioare.

Principala consecință a intrării în lucru a întregii secțiuni de beton o constituie reducerea dimensiunilor acesteia în comparație cu varianta beton armat, și deci reducerea greutateii proprii a elementului. În aceste condiții elementele precomprimate au deschideri ce încep să concureze cu cele ale construcțiilor metalice.

Freysinet a conceput betonul precomprimat în așa fel ca sub efectul încărcărilor totale întreaga secțiune să fie comprimată. Această situație corespunde noțiunii actuale de precomprimare integrală.

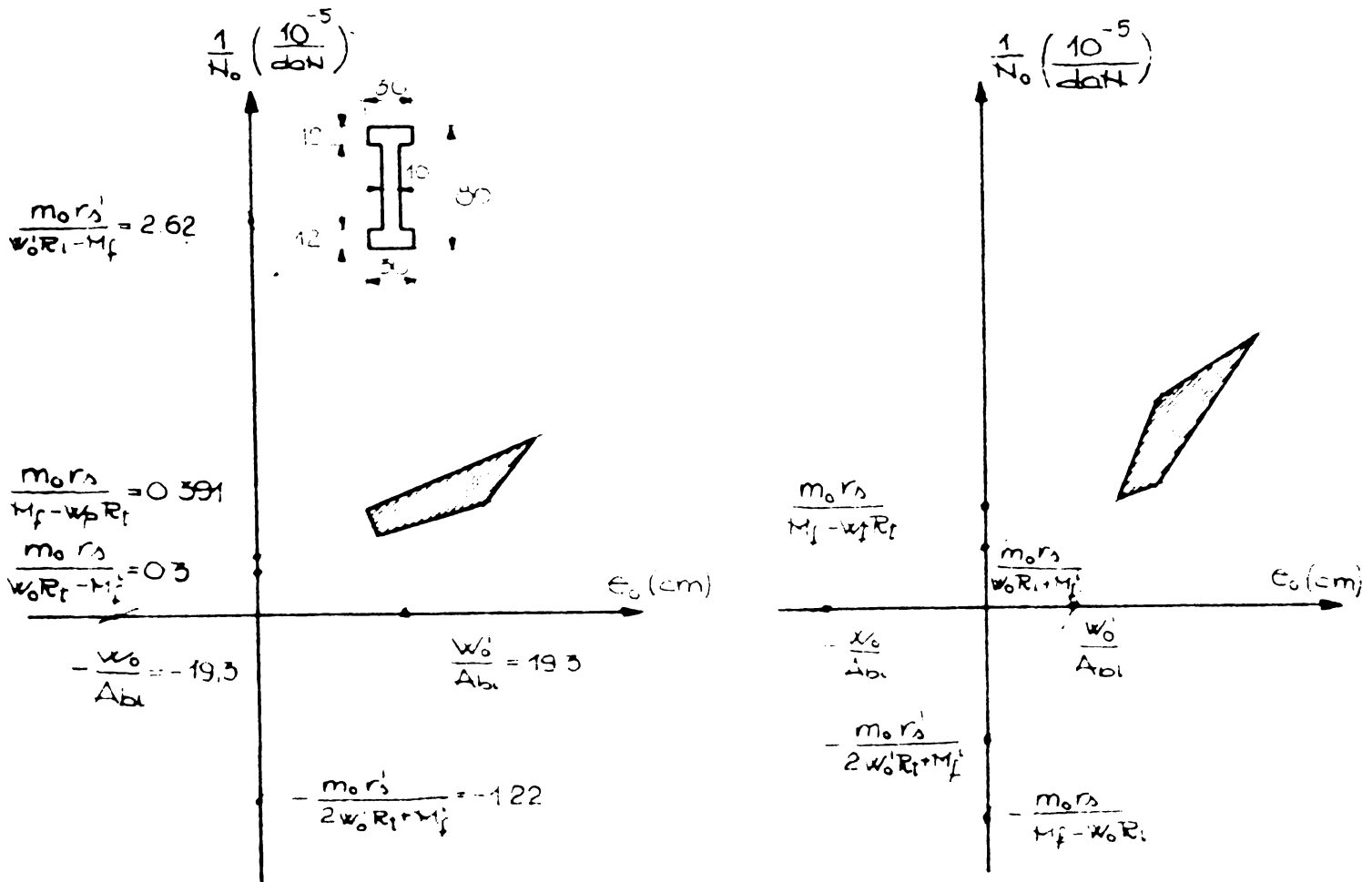
Pentru evaluarea corectă a stării de eforturi unitare normale este necesară o evaluare corespunzătoare a efortului de precomprimare, care este redus de la valoarea din momentul pretensionării datorită pierderilor de tensiune, între care face parte și cea datorită scurtării elastice a betonului.

Codul Model CEB-FIP /112/ prevede luarea în considerare a acestei pierderi de tensiune atât în cazul armăturilor preîntinse cât și în cazul armăturilor postîntinse. Pentru calculul acestei pierderi de tensiune sînt prevăzute diferite relații între care se pot aminti cele ale lui Brunson /86/, Ghibman /46/, Kurt-Martinek /53/ și

Leonhardt /56/. In normele românești nu există prevederi pentru luarea în considerare a acestei pierderi de tensiune.

In această situație efortul de precomprimare și poziția lui trebuie astfel determinate încât să se asigure comprimarea întregii secțiuni atât în faza inițială, când precomprimarea este maximă iar încărcarea exterioară minimă, cât și în faza finală, când precomprimarea este minimă iar încărcarea exterioară este maximă.

Primele norme românești /106/ privind calculul elementelor precomprimate admiteau atingerea rezistenței la întindere R_t în fibra superioară la transfer și în fibra inferioară în faza finală. In fibrele comprimate efortul unitar se limita la valoarea R_1 . Reprezentarea grafică a acestor condiții permite alegerea efortului de precomprimare și a poziției sale în așa fel ca cele patru condiții să fie satisfăcute /9/. In figura 1.1 se prezintă domeniul pentru care perechea de valori: efortul de precomprimare-excentricitate, asigură satisfacerea simultană a celor patru condiții. Din figura 1.1.a, unde se dau valori numerice concrete, se constată că acest domeniu este destul de restrins, fiind dificilă respectarea simultană a celor patru condiții. Situația



a) DIAGRAMĂ DE EFORTURI UNITARE LA TRANSFER CU UN SINGUR SEMN

b) DIAGRAMĂ DE EFORTURI UNITARE LA TRANSFER CU DOUA SEMNE

FIG 1.1 DOMENIUL VALORILOR N_0 ȘI e_0 PENTRU RESPECTAREA CONDIȚIILOR DIN FIBRELE EXTREME

devine și mai complicată dacă se are în vedere că cele patru condiții trebuie respectate în fiecare secțiune a elementului.

Riscul apariției fisurilor este generat de o eventuală supra-sarcină a încărcării utile de exploatare precum și de dezvoltarea pierderilor de tensiune peste valorile prevăzute.

Cercetările efectuate ulterior apariției betonului precomprimat au arătat că este posibil ca elementele să funcționeze în deplină siguranță și cu zona întinsă fisurată sub efectul încărcărilor de scurtă durată, apărînd în acest fel precomprimarea parțială, cu cele două variante ale ei, precomprimarea moderată și precomprimarea limitată. Precomprimarea limitată se realizează, de regulă, cu armătură pretensionată cu sau fără armătură nepretensionată, armătura nepretensionată neavînd un rol hotărîtor în exploatare și la rupere. Precomprimarea moderată se realizează cu armătură nepretensionată, această armătură avînd un rol important atît în exploatare cît și la rupere. În tabelul 1.1. se sintetizează tipurile de precomprimări utilizate în prezent.

Tabelul 1.1.

Tipuri de precomprimări

Tipul precomprimării	Grad de precompr. $k = \frac{M_d}{M_e}$	Rolul armăturii nepretensionate
Precomprimare integrală	$k > 1$	Nu este necesară
Precomprimare limitată	$k < 1$	Nu este necesară; dacă totuși se prevede rolul ei nu este esențial
Precomprimare moderată	$k \ll 1$	Rol esențial în exploatare și la rupere

În primele sale preocupări Abeles realizează precomprimarea limitată prin pretensionarea incompletă a armăturii sau prin pretensionarea numai a unei singure părți din aceasta. Ulterior se trece la introducerea și a unei cantități de armătură nepretensionată.

În prezent este acceptat ca grad de precomprimare k raportul dintre momentul încovoietor de decomprimare și momentul încovoietor de exploatare.

Trecerea de la precomprimarea integrală la precomprimarea parțială atrage după sine:

- reducerea consumului de ciment deoarece la transfer efortul de precomprimare este mai mic, iar verificările necesare în această fază pot fi făcute și cu o marcă de beton mai mică;

- reducerea părții inferioare a elementului datorită reducerii cantității de armătură ce trebuie prevăzută;

- reducerea cantității de armătură pretensionată;

- creșterea ductilității datorită prevederii de armătură complementară nepretensionată.

Actualele norme românești pentru calculul elementelor pre-comprimate folosite în construcții civile și industriale /108/, precum și viitoarele norme referitoare la acest domeniu /109/, prevăd în clasa II-a de fisurabilitate și elementele realizate cu armătură pre-intinsă de tipul toroanelor TBP. Pentru aceste elemente se admite deschiderea fisurilor normale sub încărcările totale de exploatare și închiderea fisurilor normale sub efectul încărcărilor de lungă durată. Instrucțiunile tehnice, referitoare la elementele cu precomprimare parțială și prevăzute și cu armătură nepretensionată complementară /116/ admit înlocuirea condiției de închidere a fisurilor cu limitarea deschiderii fisurilor la valoarea medie de 0,03 mm.

Prevederea de armătură nepretensionată complementară influențează în mod favorabil comportarea în exploatare prin reducerea distanței dintre fisuri și implicit prin reducerea deschiderii fisurii.

În actualele norme românești /103/ pentru calculul deschiderii fisurilor se acceptă că distanța dintre fisuri este egală cu distanța dintre etrieri iar valoarea coeficientului de conlucrare a betonului întins dintre fisuri se admite egal cu unitatea.

Proiectul noilor norme /109/ este aliniat la prevederile CEB-FIP /112/ în privința calculului distanței dintre fisuri la elementele din beton armat. În privința distanței dintre fisuri este prevăzută indicația din actualele norme /108/, iar pentru coeficientul de conlucrare este prevăzută valoarea 0,8. De fapt aplicarea prevederilor CEB-FIP este problematică în cazul elementelor realizate cu toroane TBP și armătură complementară PC deoarece acestea sînt bare cu proprietăți diferite de aderență.

Este evident că prevederile din /108/ și /109/ sînt îndepărtate de realitate.

În baza cercetărilor efectuate în Catedra de Beton armat și clădiri din cadrul I.P. "T.Vuia" pe elemente parțial precomprimate realizate numai cu toroane TBP, incomplet pretensionate, s-au dedus relații pentru coeficientul β_f și pentru coeficientul de conlucrare ψ în funcție de gradul de precomprimare σ_{po}/R_p^n /8/, /75/, /98/.

În literatura de specialitate sînt prevăzute relații specifice betonului precomprimat parțial, pentru calculul deschiderii fisuri-

lor așa cum ar fi cele ale lui Lloyd-Rejali-Realer și Navy-Huang.

Pentru elementele prevăzute cu toroane TBP și bare PC nu există o relație de evaluare a coeficientului β_f pentru calculul distanței dintre fisuri și nici pentru coeficientul de conlucrare ψ în funcție de gradul de precomprimare k .

În practica realizării tablierelor de poduri se utilizează elemente precomprimate peste care se toarnă beton armat, rezultând în acest fel elementele compuse beton precomprimat - beton armat. În ultimul timp această soluție constructivă este folosită și în realizarea planșelor în construcțiile civile și industriale prin suprabetonarea elementelor de planșeu, care de regulă fac parte din clasa a II-a de fisurabilitate, elementele compuse fiind deci elemente cu precomprimare parțială.

Utilizarea elementelor compuse beton precomprimat - beton armat prezintă câteva avantaje din care se rețin următoarele:

- reducerea greutateii elementelor precomprimate și în consecință simplificarea problemelor legate de montajul acestora;
- reducerea consumului de ciment ca o consecință a reducerii volumului de beton de calitate superioară și a înlocuirii în zona comprimată a betonului de calitate superioară cu beton de calitate inferioară;
- crearea continuității pe reazem, cu toate avantajele ce decurg din această continuitate;
- crearea unei gaibe monolite.

Calculul elementelor compuse beton precomprimat - beton armat ridică numeroase probleme legate de calitatea diferită a celor două betoane și de diferența de contracție și curgere lentă, în literatura de specialitate existând puține informații referitoare la calculul acestor elemente. În această direcție se rețin următorii autori străini care s-au preocupat de calculul elementelor compuse: Branson /86/, Busmann /26/, Cestelli Guidi /28/, Ghiberman /46/ și Guyon /43/.

Lucrarea, care are la bază șase contracte de cercetare-proiectare desfășurate în perioada 1972-1983, a încercat să răspundă la unele din problemele enumerate mai sus și legate de elementele precomprimate cu armături preîntinse de tipul toroanelor TBP.

În capitolul 2 se analizează problema determinării efortului real de precomprimare, având în vedere pierderea de tensiune din scurtarea elastică a betonului, probleme deosebite apărând în cazul elementelor cu armătură preîntinsă. Se trec în revistă relațiile existente în bibliografie și se compară cu relația propusă. Se anali-

zează influența neluării în considerare a pierderii de tensiune din scurtarea elastică asupra verificărilor ce se fac în stadiul de exploatare. Capitolul se încheie cu recomandări practice privind luarea în considerare a acestei pierderi de tensiune.

Capitolul 3 tratează calculul în secțiuni normale a elementelor compuse beton precomprimat - beton armat. Se face o trecere în revistă a evaluării contracției și curgerii lente, având în vedere că aceste două fenomene influențează sensibil starea de eforturi unitare normale. Se prezintă procedeele existente pînă în prezent în privința calculului elementelor compuse.

Se propune o metodă de calcul a stării de decompresiune, bazată pe interacțiunea deformațiilor specifice, și se compară cu metoda asimilării cu secțiunile compuse oțel-beton /5/, făcîndu-se și recomandări privind utilizarea acestor două metode. Se propun procedee exacte și aproximative pentru calculul momentului încovoietor de fisurare și pentru calculul stării de eforturi unitare normale în secțiunile fisurate. Capitolul se încheie cu o analiză a influenței datei de realizare a porțiunii de beton armat asupra stării de eforturi unitare în secțiunile normale.

Capitolul 4 tratează probleme legate de precomprimarea parțială așa cum ar fi: gradul de precomprimare, factorii ce determină alegerea gradului de precomprimare, factorii ce influențează mărimea deschiderii fisurilor. La finalul capitolului se fac propuneri pentru relații de calcul pentru coeficienții β_f și ψ , a căror expresii vor fi deduse din prelucrarea statistică a datelor experimentale.

Capitolul 5 se referă la programul experimental, desfășurat în două etape. Etapa I se bazează pe încercările efectuate în Catedra de Beton armat și clădiri pe elemente cu precomprimare parțială și realizate numai cu toroane TBP. Această etapă s-a axat pe studiul apariției fisurilor și pe studiul influenței gradului de precomprimare k asupra deschiderii fisurilor. Etapa II se bazează pe încercările efectuate pe elemente cu precomprimare parțială, cu și fără supra-betonare, elemente realizate cu toroane TBP și bare PC 52. Etapa II a fost axată pe studiul apariției fisurilor, al distanței dintre fisuri și al deschiderii fisurilor. Capitolul se încheie cu prelucrarea statistică a datelor experimentale în urma cărora s-au dedus relațiile pentru coeficientul β_f și ψ . Relațiile deduse au fost verificate pe elementele experimentale din cele două etape, precum și pe elemente experimentale studiate de alți autori.

În ultimul capitol al lucrării se redau concluziile ce se

desprind din lucrare și recomandări de proiectare.

Lucrarea cuprinde o anexă în care sînt cuprinse programele întocmite pentru calculul secțiunilor compuse și pentru prelucrarea statistică a datelor experimentale.

2. CONSIDERAȚII PRIVIND DETERMINAREA EFORTULUI REAL DE PRECOMPRIMARE

2.1. Pierderi de tensiune. Pierderi de tensiune din scurtarea elastică a betonului

Precomprimarea are rolul de a crea o stare inițială de eforturi unitare, cu caracter permanent, care să anuleze starea de eforturi unitare produsă de încărcările exterioare. Precomprimarea creată de efortul de precomprimare, este variabilă în timp și spațiu din cauza unor factori specifici betonului precomprimat: pierderile de tensiune.

Din cauza apariției acestor pierderi de tensiune efortul de precomprimare scade de la valoarea maximă din faza inițială la o valoare minimă în faza finală (stadiul de exploatare). Această scădere a efortului de precomprimare este pusă față în față cu creșterea încărcărilor de la valoarea minimă, în faza inițială, la valoarea maximă, în faza finală (stadiu de exploatare). În acest fel elementul se găsește în faza finală, în stadiul de exploatare, într-o situație defavorabilă: precomprimare minimă și încărcare maximă (Fig.2.1). Efortul de precomprimare trebuie astfel evaluat încît să producă o precomprimare corespunzătoare în stadiul de exploatare, care să ducă, în special, la respectarea condițiilor privitoare la fisurare. Pentru respectarea acestor condiții este deci necesară, pe lângă alte condiții, și obținerea unui efort de precomprimare corespunzător.

Obținerea unui efort de precomprimare corespunzător este condiționată de realizarea efectivă a efortului unitar de control σ_{pk} și de estimarea corectă a pierderilor de tensiune.

Pierderile de tensiune se produc înaintea, în timpul și după efectuarea transferului. În tabelul 2.1 sînt prezentate cauzele și momentul producerii pierderilor de tensiune în conformitate cu normele românești /107/, /108/, /109/, /110/.

În conformitate cu normele românești în vigoare /107/, /108/, /110/, precum și în conformitate cu proiectul STAS 10107/0-83 /109/

FAZA INIȚIALĂ

FAZA FINALĂ

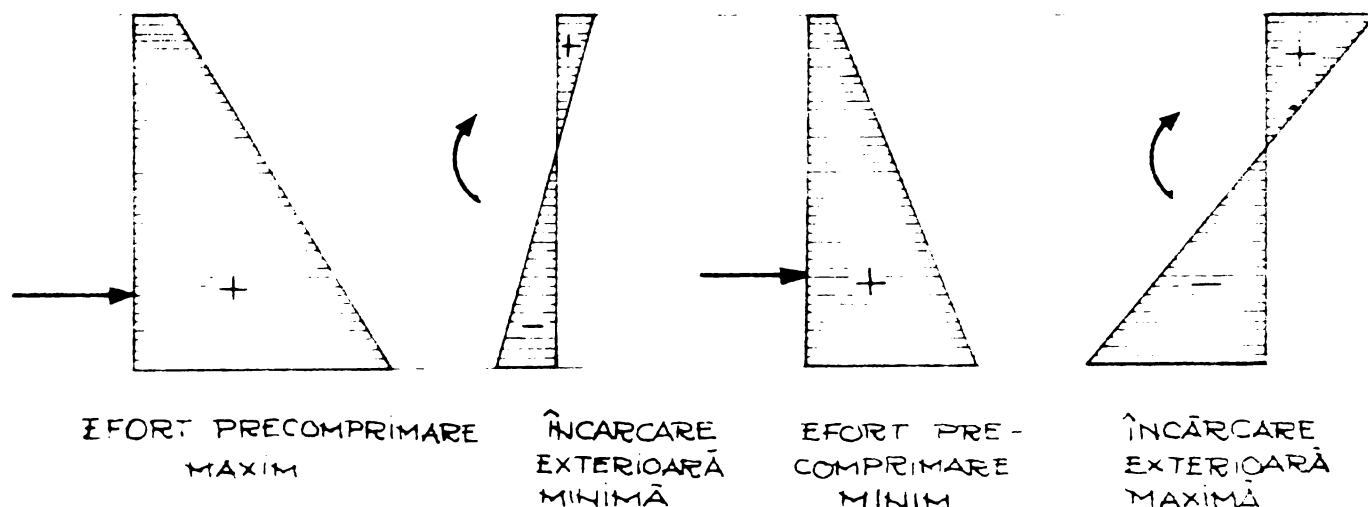


Fig. 2.1. DIAGrame DE EFORTURI UNITARE DIN PRECOMPRIARE
SI ÎNCĂRCĂRI EXTERIOARE

efortul de precomprimare se determină cu relațiile:

- în fază inițială: $N_0 = A_p \bar{\sigma}_{po} + A'_p \bar{\sigma}'_{po}$ (2.1)

- în fază finală: $\bar{N}_0 = A_p \bar{\sigma}_{po} + A'_p \bar{\sigma}'_{po} - A_a \Delta \bar{\sigma}_a - A'_a \Delta \bar{\sigma}'_a$ (2.2)

Efortul unitar de calcul din armătura pretensionată se ia în considerare cu următoarele valori, ținând cont de pierderile de tensiune:

armătura preîntinsă: - faza inițială:

$$\bar{\sigma}_{po} = \bar{\sigma}_{pk} - (\Delta \bar{\sigma}_\lambda + \Delta \bar{\sigma}_f + \Delta \bar{\sigma}_s + \Delta \bar{\sigma}_t + \Delta \bar{\sigma}_{ri})$$
 (2.3)

- faza finală:

$$\bar{\sigma}_{po} = \bar{\sigma}_{po} - [(\Delta \bar{\sigma}_r - \Delta \bar{\sigma}_{ri}) + \Delta \bar{\sigma}_\varphi]$$
 (2.4)

armătura postîntinsă: - faza inițială:

$$\bar{\sigma}_{po} = \bar{\sigma}_{pp} + n_p \bar{\sigma}_{bp}$$
 (2.5)

unde:

$$\bar{\sigma}_{pp} = \bar{\sigma}_{pk} - (\Delta \bar{\sigma}_\lambda + \Delta \bar{\sigma}_f + \Delta \bar{\sigma}_s + \Delta \bar{\sigma}_{str})$$
 (2.6)

- faza finală:

$$\bar{\sigma}_{po} = \bar{\sigma}_{po} - (\Delta \bar{\sigma}_r + \Delta \bar{\sigma}_\varphi)$$
 (2.7)

Din relațiile ce permit determinarea efortului unitar de calcul se constată că pierderea de tensiune din scurtarea elastică a betonului sub efectul efortului de precomprimare $\Delta \bar{\sigma}_e$ nu este luată în considerare la determinarea efortului de precomprimare.

Efectul scurtării elastice a betonului este pus în evidență numai în cazul armăturii postîntinse prin valoarea $\bar{\sigma}_{pp}$ din relația (2.6), dar, prin relația (2.5) acest efect este scos din discuție.

Neluarea în considerare a pierderii de tensiune $\Delta \bar{\sigma}_e$ conferă

Tabelul 2.1

Cauzele și momentul producerii pierderilor de tensiune

Cauzele pierderii de tensiune	Simbol	Momentul producerii pierderii de tensiune	
		Arm. preîntinsă	Arm. postîntinsă
Luncări și deformații în ancorele la blocare	$\Delta \sigma_{\lambda}$	Înainte de transferul	La blocare
Efectul tratamentului termic al betonului	$\Delta \sigma_t$	Înainte de transferul	-
Precarea armăturii pe traseu	$\Delta \sigma_f$	Înainte de transferul (numai pentru arm. deflektate)	În timpul transferului
Efectul întinderii succesive a armăturilor	$\Delta \sigma_s$	Înainte de transferul (numai în cazul utilizării tiparelor metalice autoportante).	În timpul transferului
Strivirea betonului sub armături înfășurate	$\Delta \sigma_{str}$	-	În timpul transferului
Scurtarea elastică a betonului sub efectul efortului de precomprimare	$\Delta \sigma_e$	În timpul transferului	În timpul transferului (se ia în considerare la $\Delta \sigma_s$)
Relaxarea armăturii	$\Delta \sigma_r$	În timp	În timp
Contractia și curgerea lentă a betonului	$\Delta \sigma_{\bar{\varphi}}$	În timp	În timp

efortului de precomprimare, definit conform (2.1) și (2.2), un evident caracter convențional.

Determinarea efortului de precomprimare cu relațiile (2.1 - 2.7) are drept consecință supraevaluarea acestuia. Această supraevaluare duce la un calcul descoperitor pentru verificările în stadiul de exploatare (în special verificarea la fisurare).

O altă consecință a utilizării relațiilor amintite constă în cunoașterea, doar aproximativă, a efortului unitar efectiv în armătura pretensionată.

În cazul elementelor cu armătură postîntinsă neutilizarea relației (2.5) soluționează problema.

În cazul elementelor cu armătură preîntinsă determinarea efortului unitar σ_{pp} din relația (2.5) ar conduce la un efort de precomprimare N'_p care trebuie considerat constant pe durata dezvoltării

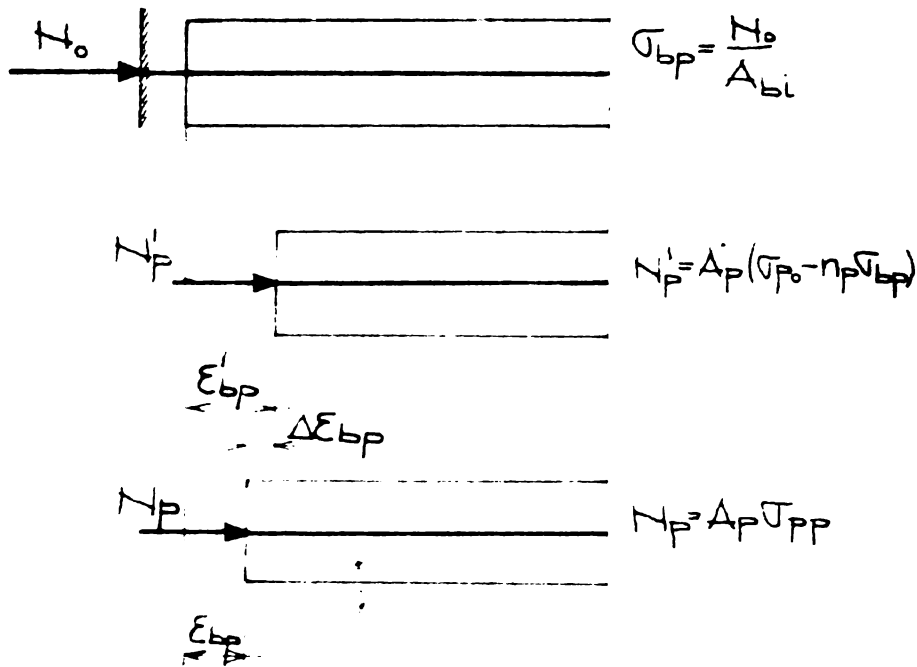


Fig 2 2 AUTOREDUCEREA DEFORMAȚIEI SPECIFICE ELASTICE

deformației specifice elastice ϵ'_{bp} . În realitate pe măsura dezvoltării deformațiilor specifice elastice efortul efectiv de precomprimare se diminuează astfel că deformația specifică elastică ϵ_{bp} va fi mai mică (Fig.2.2.b,c). Se produce o autoreducere a deformațiilor specifice și în consecință, și o autoreducere a pierderii de tensiune din scurtarea elastică.

În evaluarea corectă a pierderii de tensiune

din scurtarea elastică a betonului trebuie să se aibă în vedere și faptul că această pierdere de tensiune se produce, de regulă, atunci când betonul a atins numai 70% din marca prescrisă, deci și modulul de elasticitate este mai mic, betonul fiind mai deformabil.

Utilizarea relațiilor (2.1) și (2.3) conduce la un calcul acoperitor, pentru elementele cu armătură preintinsă, în faza inițială, când betonul nu și-a atins încă marca finală iar precomprimarea este preponderentă.

2.2. Relații și prevederi privind luarea în considerare a pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului

Pentru evaluarea pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului, în armătura preintinsă, Herberg /50/ recomandă relația:

$$\Delta \sigma_{eB} = n \sigma_{bv_a}(z) \tag{2.8}$$

unde: n este coeficientul de echivalență pentru armătura pretensionată;

$\sigma_{bv_a}(z)$ - efortul unitar în beton, în dreptul centrului de greutate al armăturii pretensionate, sub efectul forței inițiale de

precomprimare V_a .

După cum rezultă din relația (2.8) Herberg consideră că forța de precomprimare este constantă după efectuarea transferului și nu ține cont de autoreducerea pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului.

Pentru elementele cu armătura preîntinsă Ghibșman /46/ indică pentru calculul pierderii de tensiune din scurtarea elastică următoarea relație:

$$\sigma_{p1} = \left(\frac{\sum \sigma_{ti} F_{ti}}{F_{btr}} + \frac{\sum \sigma_{ti} F_{ti} e_i}{I_{btr}} y_i \right) \frac{E_t}{E_b} \quad (2.9)$$

unde:

F_{ti} este aria armăturii curente i ;

$\sigma_{ti} = \sigma_{tc} - \sigma_{p2} - \sigma_{p4}$;

σ_{tc} - efortul unitar de control;

σ_{p2} - pierderea de tensiune din relaxarea armăturii;

σ_{p4} - pierderea de tensiune din tratament termic;

F_{btr} - aria secțiunii ideale de beton;

I_{btr} - momentul de inerție al secțiunii ideale de beton;

y - distanța de la centrul de greutate al secțiunii ideale de beton la armătura considerată;

E_t - modulul de elasticitate al armăturii preîntinse;

E_b - modulul de elasticitate al betonului.

Relația (2.9) nu ține cont de pierderea de tensiune din luncarea în ancoraje și de autoreducerea pierderii de tensiune din scurtarea elastică.

Pentru determinarea pierderii de tensiune în armătura preîntinsă, din scurtarea elastică a betonului Branson /86/ propune valoarea:

$$n_{fci} \quad (2.10)$$

unde: n este coeficientul de echivalență al armăturii pretensionate;

$f_{ci} = \frac{P_0}{A_2} + \frac{P_0 e^2}{I_2} - \frac{M_2 e}{I_2}$ - efortul unitar în beton în dreptul armăturii pretensionate;

A_2 - aria secțiunii transversale a elementului;

I_2 - momentul de inerție al secțiunii transversale a elementului.

M_2 - momentul încovoietor din greutatea proprie;

e - distanța din centrul de greutate al secțiunii transversale până la armătura pretensionată

P_0 - forța de precomprimare după producerea scurtării elas-

tice a betonului și care este $P_0 = P_1 / (1 + 2 n_{ps} A_{ps} / A_2)$;

P_1 - forța la presa de pretensionare;

A_{ps} - aria armăturii pretensionate.

Valoarea obținută din expresia (2.10) este utilizată numai pentru a obține valoarea reală a efortului unitar în armătura pretensionară deoarece forța de precomprimare, după scurtarea elastică, este dată de mărimea P_0 .

Se constată că se urmărește a se ține cont de fenomenul de autoreducere, introducându-se însă și efectul din greutatea proprie a elementului, această încărcare producând de fapt o mărire a efortului unitar în armătură.

Kurt-Lartinek /53/ propun pentru armăturile prefintinse, relația:

$$\Delta \sigma_{zv} = n_{zv} \sigma_{bzv} \quad (2.11)$$

unde: n_{zv} este coeficientul de echivalență al armăturii pretensionate;

σ_{bzv} - efortul unitar în beton, în dreptul centrului de greutate al armăturii, produs de forța de precomprimare inițială.

Această relație este practic identică cu relația propusă de Herberg, situație în care se găsește și relația propusă de Leonhardt /56/.

Codul Model CEB-FIP /112/ recomandă luarea în considerare a scurtării elastice a betonului sub efectul forței de precomprimare atât în cazul elementelor cu armătură prefintinsă cât și în cazul elementelor cu armătură postfintinsă.

O serie de alți autori așa cum sînt Guyon /48/, Dreux /34/, Cestelli Guidi /28/, Lopatto /60/ nu iau în considerare scurtarea elastică a betonului decît în cazul elementelor cu armătură postfintinsă introducînd pierderea de tensiune din întindere succesivă a armăturilor și fără a mai efectua unele modificări în spiritul relației (2.5).

2.3. Determinarea efortului real de precomprimare cu luarea în considerare a scurtării elastice a betonului

2.3.1. Determinarea pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului în armăturile prefintinse

În cazul elementelor cu armătură postfintinsă efectul scurtării elastice a betonului este prins prin intermediul pierderii de

47304

tensiune din întindere succesivă. Din acest motiv pierderea de tensiune din scurtarea elastică a betonului $\Delta\sigma_e$ se calculează numai pentru elementele cu armătură preîntinsă.

Sub efectul efortului real de precomprimare N_p (Fig.2.3.b) betonul va avea în dreptul armăturii preîntinse deformațiile specifice ϵ_{bp} , respectiv ϵ'_{bp} .

Valorile acestor două deformații specifice sînt date de relațiile:

$$\epsilon_{bp} = \frac{\sigma_{bp}}{E_b} = \frac{N_p}{E_b} \left(\frac{1}{A_{bi}} + \frac{e_p y_p}{I_{bi}} \right) = \frac{N_{pi} + N_{ps}}{E_b A_{bi}} \left(1 + \frac{e_p y_p}{i^2} \right) \quad (2.12-2.13)$$

$$\epsilon'_{bp} = \frac{\sigma'_{bp}}{E_b} = \frac{N_p}{E_b} \left(\frac{1}{A_{bi}} - \frac{e_p y'_p}{I_{bi}} \right) = \frac{N_{pi} + N_{ps}}{E_b A_{bi}} \left(1 - \frac{e_p y'_p}{i^2} \right)$$

unde:

$$i^2 = \frac{I_{bi}}{A_{bi}}$$

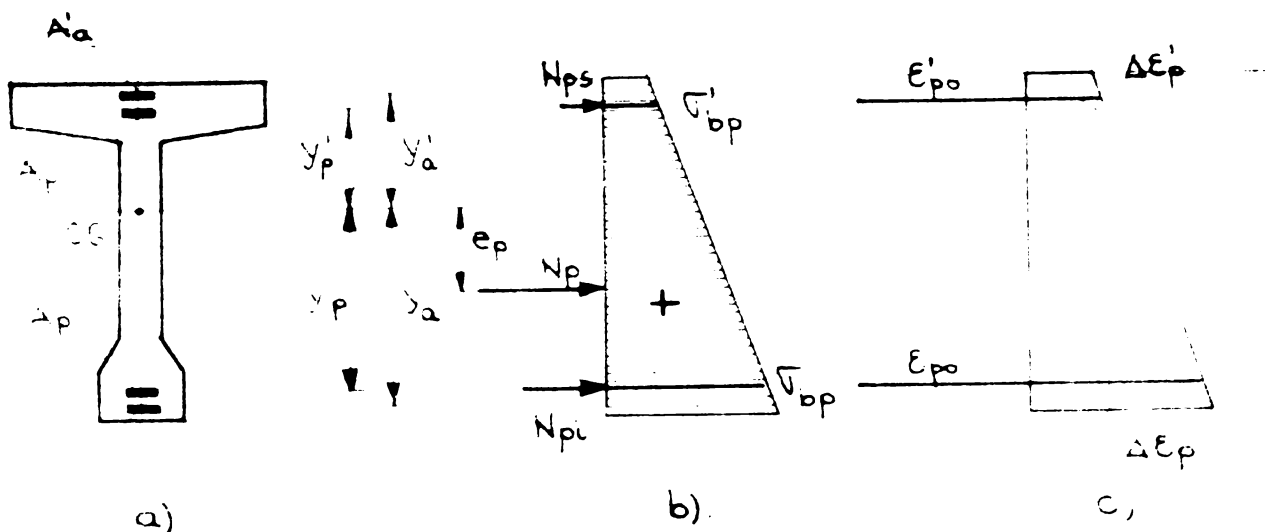


FIG.2.3. DETERMINAREA EFORTULUI REAL DE PRECOMPRIMARE

Utilizarea caracteristicilor geometrice ale secțiunii transversale ideale introduce și efectul scurtării elastice a armăturilor nepretensionate de rezistență.

Avînd în vedere relațiile (2.26) și (2.28), relațiile (2.12 - 2.13) devin:

$$\epsilon_{bp} = \frac{(\sigma_{poi} - \Delta\sigma_{ei})A_p + (\sigma_{pos} - \Delta\sigma_{es})A'_p}{E_b A_{bi}} \left(1 + \frac{e_p y_p}{i^2} \right) \quad (2-12'-2.13')$$

$$\epsilon'_{bp} = \frac{(\sigma_{poi} - \Delta\sigma_{ei})A_p + (\sigma_{pos} - \Delta\sigma_{es})A'_p}{E_b A_{bi}} \left(1 - \frac{e_p y'_p}{i^2} \right)$$

Din cauza scurtării elastice a betonului în armăturile pre-

intinse vor apare variații ale deformațiilor specifice $\Delta \varepsilon_p$, respectiv $\Delta \varepsilon'_p$ (Fig.2.3.c) corespunzătoare scăderii eforturilor N_{oi} și N_{os} la valorile N_{pi} și N_{ps} .

Valorile acestor două variații ale deformațiilor specifice sînt date de relațiile:

$$\Delta \varepsilon_p = \frac{N_{oi} - N_{pi}}{E_p A_p} = \frac{\Delta \sigma_{ei}}{E_p} \quad (2.14-2.15)$$

$$\Delta \varepsilon'_p = \frac{N_{os} - N_{ps}}{E_p A'_p} = \frac{\Delta \sigma_{es}}{E_p}$$

Valoarea pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului rezultă din egalarea, la nivelul armăturilor A_p și A'_p , a deformației specifice a betonului cu variația deformației specifice a armăturii, la care se asociază relația pentru stabilirea poziției efortului N_p . Sistemul de ecuații ce se formează este:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{bp} &= \Delta \varepsilon_p \\ \varepsilon'_{bp} &= \Delta \varepsilon'_p \end{aligned} \quad (2.16-2.18)$$

$$e_p = \frac{N_{pi} y_p - N_{ps} y'_p}{N_{pi} + N_{ps}}$$

In urma rezolvării sistemului de ecuații rezultă:

$$\Delta \sigma_{ei} = \sigma_{poi} - \frac{\omega_s \sigma_{poi} - \delta_i \sigma_{pos}}{\omega_i \omega_s - \delta_i \delta_s} \quad (2.19-2.20)$$

$$\Delta \sigma_{es} = \sigma_{pos} - \frac{\omega_i \sigma_{pos} - \delta_s \sigma_{poi}}{\omega_i \omega_s - \delta_i \delta_s}$$

unde:

$$\omega_i = n_p \frac{A_p}{A_{bi}} \left(1 + \frac{y_p^2}{i^2}\right) + 1$$

$$\omega_s = n_p \frac{A'_p}{A_{bi}} \left(1 + \frac{y_p'^2}{i^2}\right) + 1$$

$$\delta_i = n_p \frac{A_p}{A_{bi}} \left(1 - \frac{y_p y'_p}{i^2}\right) \quad (2.21-2.24)$$

$$\delta_s = n_p \frac{A'_p}{A_{bi}} \left(1 - \frac{y_p y'_p}{i^2}\right)$$

$$n_p = \frac{E_p}{E_b} \quad \text{- pentru momentul transferului}$$

Avînd în vedere că, de regulă, $\sigma_{poi} = \sigma_{pos} = \sigma_{po}$ rezultă:

$$\Delta \sigma_{oi} = \sigma_{po} \left(1 - \frac{\omega_i - \delta_i}{\omega_1 \omega_s - \delta_1 \delta_s} \right)$$

(2.19'-2.20')

$$\Delta \sigma_{os} = \sigma_{po} \left(1 - \frac{\omega_1 - \delta_s}{\omega_1 \omega_s - \delta_1 \delta_s} \right)$$

In cazul elementelor prevăzute numai cu armătură A_p pierderea de tensiune din scurtarea elastică devine:

$$\Delta \sigma_o = \sigma_{po} \left(1 - \frac{1}{\omega_1} \right)$$

(2.25)

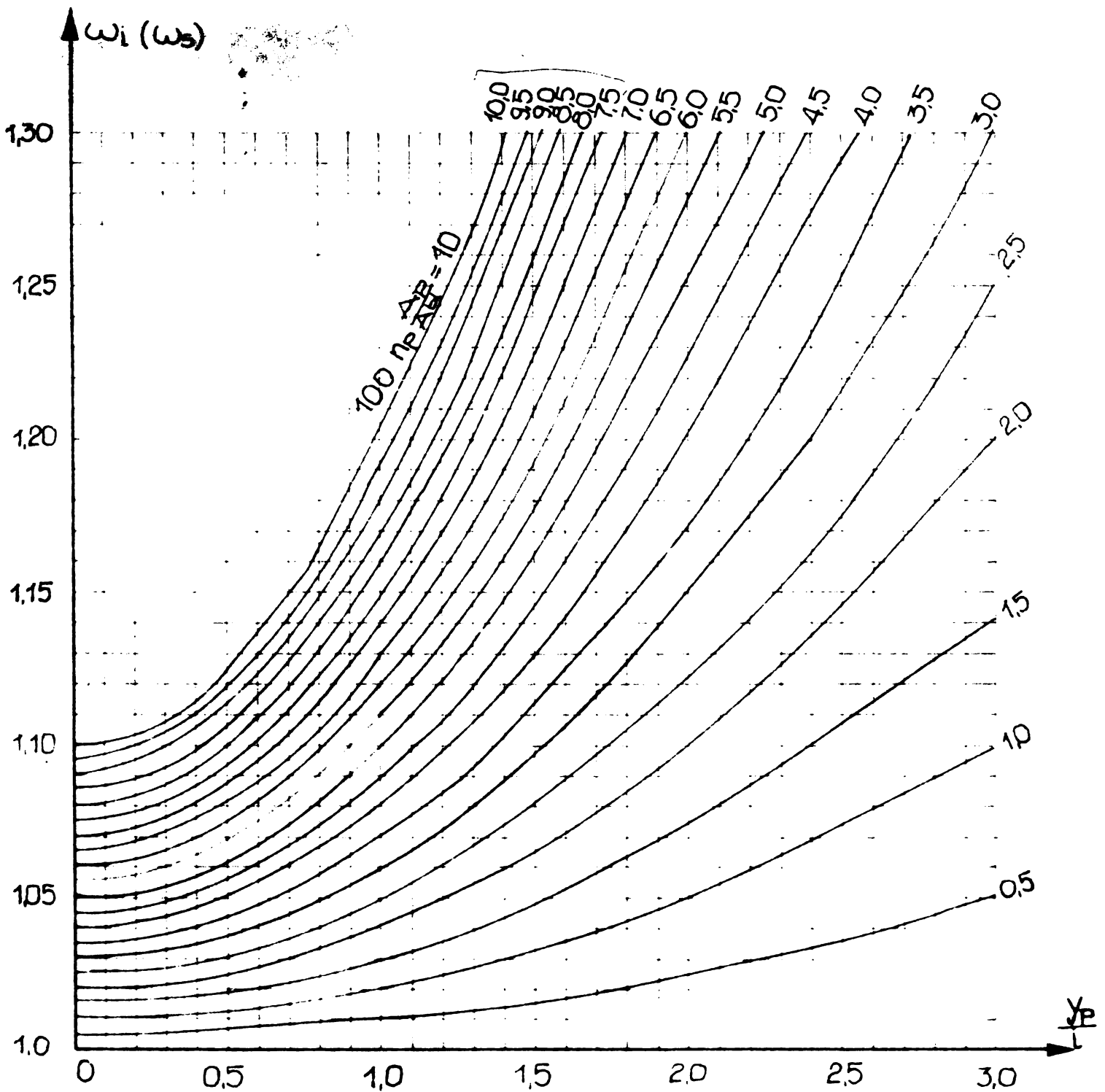


Fig. 2.4. DIAGRAMĂ PENTRU DETERMINAREA COEFICIENTILOR ω_i SI ω_s

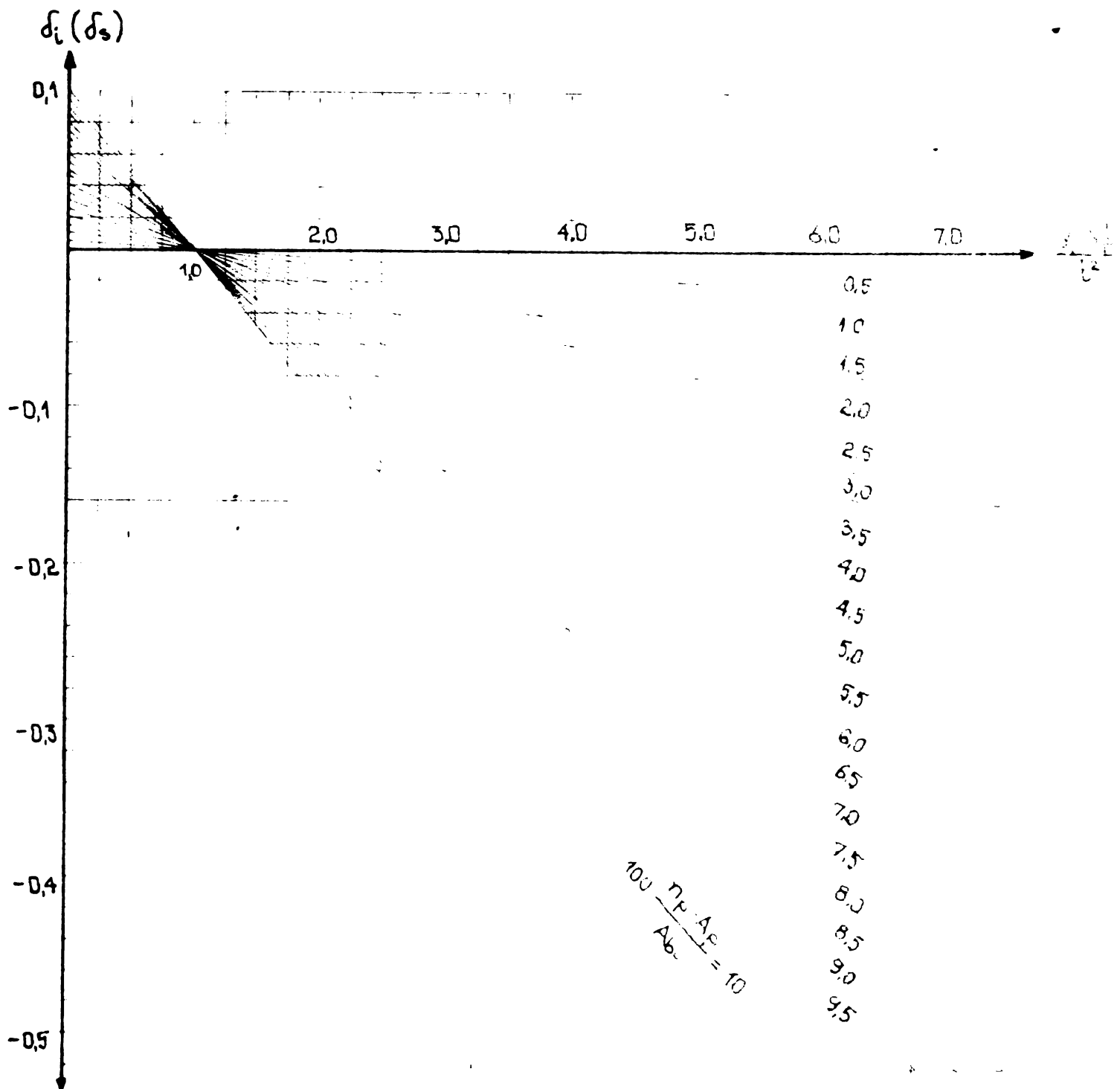


FIG.2.5. DIAGRAMA PENTRU DETERMINAREA COEFICIENTILOR δ_i ȘI δ_s

Coeficienții ω_1 și δ_1 se determină din figura 2.4 în funcție de y_p/i și $100 n_p A_p/A_{b1}$, respectiv din figura 2.5 în funcție de $y_p y_p'/i^2$ și $100 n_p A_p/A_{b1}$. Coeficienții ω_s și δ_s se determina în mod similar dar înlocuind pe y_p cu y_p' și pe A_p cu A_p'

Coeficienții ω_1 , ω_s , δ_1 și δ_s sînt funcție de:

- coeficientul de echivalență al armăturii preîntinse n_p ;
- raportul A_p/A_{b1} , respectiv A_p'/A_{b1} ;
- distanța y_p , respectiv y_p' din centrul de greutate al secțiunii transversale ideale pînă la armătura A_p , respectiv A_p' ;
- raza de inerție i .

In vederea stabilirii limitelor de variație ale variabilelor

de mai sus s-a efectuat o prelucrare statistică (Anexa 1) a acestor variabile pe un număr de 193 elemente precomprimate tipizate, prevăzute cu armătură numai la partea inferioară /119/. Rezultatele acestei prelucrări sînt prezentate în tabelul 2.2.

Din prelucrarea statistică a datelor se constată o mare împrăștiere pentru variabila $100 n_p A_p / A_{bi}$, în cazul grinzilor secundare și al elementelor de acoperiș. Acest lucru se datorește faptului că pe o gamă dimensională relativ redusă există o scară largă de valori pentru aria armăturii pretensionate.

În cazul elementelor de acoperiș și planșeu se constată valori ridicate pentru variabila $y_p/1$, datorită faptului că distanța de la partea inferioară a elementului pînă la centrul de greutate al secțiunii este mare, din cauza ponderii ridicate a tălpii în ansamblul elementului.

Avînd în vedere valorile obținute, limitele variabilelor din diagrame au fost stabilite astfel:

$$100 n_p \frac{A_p}{A_{bi}} = 0,5 \dots 10$$

$$\frac{y_p}{1} = 0 \dots 30 \quad \frac{y'_p}{1} = 0 \dots 3,0$$

$$\frac{y_p y'_p}{1^2} = 0 \dots 7,5$$

Față de valorile din tabelul 2.2 în stabilirea acestor limite s-a mai avut în vedere: - pentru grinzi unicat aria de armătură pretensionată poate să fie mai mare decît valorile curente prevăzute în elementele tip;

- luarea în considerare și a precomprimării centrice.

Coeficientul $\omega_1 (\omega_s)$ a fost reprezentat pînă la valoarea de 1,3, ceea ce în baza relației (3.28'') înseamnă că efortul real din armătură σ_{pp} este cu 30% mai mic decît efortul unitar de calcul σ_{po} .

2.3.2. Evaluarea efortului real de precomprimare

Efortul real de precomprimare se determină cu relațiile:

- în faza inițială:

$$N_p = A_p \sigma_{pp} + A'_p \sigma'_{pp} \quad (2.26)$$

- în faza finală:

$$\bar{N}_p = A_p \bar{\sigma}_{pp} + A'_p \bar{\sigma}'_{pp} - A_a \Delta \sigma_a - A'_a \Delta \sigma'_a \quad (2.27)$$

Tabelul 2.2

Rezultatul prelucrării variabilelor ce intervin în calculul lui ω_{gi}

Elemente	Variabila											
	y_p/h			i/h			y_p/i			$100 A_p/A_{bi}$		
	Lim. inf.	Val. medie	Cv (%)	Lim. inf.	Val. medie	Cv (%)	Lim. inf.	Val. medie	Cv (%)	Lim. inf.	Val. medie	Cv (%)
Grinzi	0,221	0,403	18,0	0,287	0,322	7,72	0,630	1,24	13,73	0,135	0,458	39,64
prino-	0,475			0,351			1,58			0,848		
longitu-												
dinale												
Grinzi	0,323	0,398	11,55	0,306	0,347	3,26	0,909	1,14	13,59	0,248	0,481	31,39
prino-	0,477			0,353			1,410			0,811		
trans-												
versale												
Grinzi	0,407	0,470	7,01	0,303	0,313	1,93	1,340	1,50	6,15	0,310	0,709	57,69
secun-	0,497			0,320			1,590			1,26		
dare												
Elemente	0,543	0,612	7,39	0,256	0,299	8,63	1,710	2,07	16,03	0,226	0,524	55,09
acoperii	0,688			0,333			2,680			1,172		
Elemente	0,514	0,398	5,71	0,306	0,349	2,30	1,578	1,14	7,19	0,235	0,566	22,34
plangeu	0,575			0,330			1,883			0,489		
Grinzi	0,367	0,552	4,54	0,329	0,322	2,86	1,034	1,721	6,31	0,372	0,401	18,53
de ru-	0,421			0,355			1,257			0,840		
lare												
Ansemb-												
lul de	0,221	0,431	19,81	0,256	0,335	6,95	0,680	1,302	25,54	0,135	0,186	37,99
elemente	0,688			0,359			2,68			1,26		
supuse												
prelu-												
ordrii												

Efortul unitar din armătura pretensionată se ia în considerare cu următoarele valori ținând cont de pierderile de tensiune:

armătura preîntinsă: - faza inițială:

$$\sigma_{pp} = \sigma_{po} - \Delta \sigma_e \quad (2.26)$$

cu σ_{po} definit conform relației (2.3):-

- faza finală

$$\bar{\sigma}_{pp} = \sigma_{pp} - [(\Delta \sigma_r - \Delta \sigma_{ri}) + \Delta \sigma_{\bar{p}}] \quad (2.29)$$

armătura postîntinsă: - faza inițială

$$\sigma_{pp} - \text{conform relației (2.6)}$$

- faza finală:

$$\bar{\sigma}_{pp} = \sigma_{pp} (\Delta \sigma_r + \Delta \sigma_{\bar{p}}) \quad (2.30)$$

Evaluarea pierderilor de tensiune $\Delta \sigma_{\lambda}$, $\Delta \sigma_t$, $\Delta \sigma_f$, $\Delta \sigma_s$, $\Delta \sigma_{str}$, $\Delta \sigma_r$, $\Delta \sigma_{\bar{p}}$ se face în conformitate cu normele în vigoare /103/, /110/ și /116/.

Având în vedere expresiile (2.19'-2.20') sau (2.25) de calcul a pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului, relația (2.28) de calcul a efortului unitar devine:

- în cazul dublei armări când $\sigma_{poi} = \sigma_{pos} = \sigma_{po}$

$$\sigma_{ppi} = \sigma_{po} \frac{\omega_s - \sigma_i}{\omega_1 \omega_s - \sigma_i \sigma_s}; \quad \sigma_{pps} = \sigma_{po} \frac{\omega_1 - \sigma_s}{\omega_i \omega_s - \sigma_i \sigma_s}; \quad (2.28' - 2.28'')$$

- în cazul simplei armări

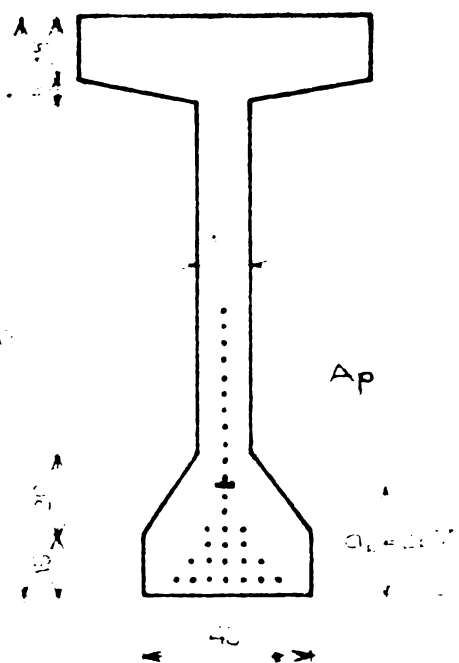
$$\sigma_{pp} = \frac{\sigma_{po}}{\omega_1} \quad (2.28''')$$

2.4. Calculare comparative privind consecințele neglijarii efortului real de precomprimare asupra siguranței elementelor precomprimate

2.4.1. Calculare comparative pe un exemplu de proiectare

În vederea comparării relațiilor propuse de diferși autori și procedeul propus la punctul 2.3.1, pentru evaluarea pierderii de tensiune din scurtarea elastică $\Delta \sigma_e$ și a efectului neglijarii efortului real de precomprimare se ia în discuție exemplul 12.2 de proiectare a unei grinzi din beton precomprinat cu secțiune variabilă, de 21,0 m deschidere cu armătură preîntinsă /35/.

Configurația secțiunii transversale periculoase, modul de dispunere al armăturilor și alte date inițiale sînt prezentate în figura 3.6.



ELEMENT DIN CLASA II DE FISURABILITATE

$A_p = 27,9 \text{ cm}^2$	$\gamma_p = e_p = 63,8$
$A_{b1} = 3836 \text{ cm}^2$	$I_{b1} = 14\,227\,500 \text{ cm}^4$
$n_p = 5,0$	$n_p = 5,8 \text{ (la transfer)}$
$\Delta\sigma_{\lambda} = 338 \text{ daN/cm}^2$	$\Delta\sigma_t = 200 \text{ daN/cm}^2$
$\Delta\sigma_s = 520 \text{ daN/cm}^2$	$\Delta\sigma_{ri} = 680 \text{ daN/cm}^2$
$\sigma_{po}^{\max} = 12\,480 \text{ daN/cm}^2$	$\sigma_{po}^{\min} = 11\,862 \text{ daN/cm}^2$
$\Delta\sigma_{\bar{p}} = 2060 \text{ daN/cm}^2$	$\Delta\sigma_r - \Delta\sigma_{ri} = 620 \text{ daN/cm}^2$
$\bar{\sigma}_{po}^{\min} = 9192 \text{ daN/cm}^2$	$\bar{\sigma}_{po}^{\max} = 10\,740 \text{ daN/cm}^2$
$M_{g(b)}^E = 44,24 \text{ tm}$	$M_{td}^E = 254,05 \text{ tm}$
$M^E = 290,8 \text{ tm}$	
$R_{bo}^n = 350 \text{ daN/cm}^2$	$R_{to}^n = 17,5 \text{ daN/cm}^2$
$\sigma_{to}^{\min} = 10 \text{ daN/cm}^2$	$R_t^n = 21 \text{ daN/cm}^2$

FIG. 2.6. DATELE PRINCIPALE ALE EXEMPLULUI DE PROIECTARE [35]

Comparații privind evaluarea pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului

Pentru a compara valorile ce se obțin se consideră că celelalte pierderi de tensiune se consumă integral, deci în evaluarea efortului de precomprimare se utilizează valoarea σ_{po}^{\min} .

Având în vedere relațiile de la punctul 2.2 și datele inițiale rezultă următoarele pierderi de tensiune:

Herberg	$\Delta\sigma_{e_{\lambda}} = 1083 \text{ daN/cm}^2$
Ghiberman	$\sigma_{p1} = 1161 \text{ daN/cm}^2$
Branson	$n_{fc1} = 1023 \text{ daN/cm}^2$
Kurt-Martinek	$\Delta\sigma_{zv} = 1083 \text{ daN/cm}^2$
Leonhardt	$n \sigma_{zv} = 1033 \text{ daN/cm}^2$

Pentru calculul pierderii de tensiune pe baza procedurii propus la punctul 2.3.1. se calculează următoarele valori:

$$i = \sqrt{\frac{I_{b1}}{A_{b1}}} = \sqrt{\frac{14227500}{3836}} = 60,9 \text{ cm}$$

$$\frac{\gamma_p}{i} = \frac{63,8}{60,9} = 1,08 \quad 100 \frac{n A_p}{A_{b1}} = 100 \frac{5 \times 27,9}{3836} = 4,2$$

Din figura 2.4 rezultă $\omega_1 = 1,09$

Deoarece armătura preîntinsă este dispusă numai la partea inferioară pierderea de tensiune din scurtarea elastică se calculează cu relația (2.25):

$$\Delta\sigma_e = \sigma_{po}^{\min} \left(1 - \frac{1}{\omega_1}\right) = 11862 \left(1 - \frac{1}{1,09}\right) = 979 \text{ daN/cm}^2$$

Luând ca bază relația (2.25), care ține cont de fenomenul de autoreducere al pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului, celelalte relații dau următoarele sporuri procentuale:

Herberg	10,4 %
Gibbsman	18,5 %
Branson	5,1 %
Kurt-Martinek	10,4%
Leonhardt	10,4 %

Valorile procentuale arată măsura în care se subestimează efectul fenomenului de autoreducere a pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului, cea mai apropiată de realitate fiind relația lui Branson.

Calculul privind influența neglijării pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului asupra verificărilor la fisurare

Calculul eforturilor unitare în secțiuni normale nefisurate.

Diagramele de eforturi unitare normale în faza inițială ($N_0 = 348000 \text{ daN}$) și în faza finală ($N_0 = 255000 \text{ daN}$), obținute pe baza efortului de precomprimare definit de relațiile (2.1) și (2.2) și întocmite pe baza exemplului de calcul discutat sînt prezentate în figura 2.7.a.

Recalcularea efortului real de precomprimare și a eforturilor unitare se face după cum urmează:

Calculul în fază inițială

$$\sigma_{pp}^{\max} = \frac{\sigma_{po}^{\max}}{\omega_i} = \frac{12430}{1,03} = 11556 \text{ daN/cm}^2$$

$$N_p^{\max} = A_p \sigma_{pp}^{\max} = 27,9 \cdot 11556 = 322412 \text{ daN}$$

Diagrama de eforturi unitare în faza inițială, obținută pe baza efortului de precomprimare N_p^{\max} și a momentului încovoietor $M_{E(b)}$ este prezentată în figura 2.7.b.

Calculul în fază finală

$$\sigma_{pp}^{\min} = \frac{\sigma_{po}^{\min}}{\omega_i} = \frac{11362}{1,09} = 10382 \text{ daN/cm}^2$$

$$N_p^{\min} = A_p \sigma_{pp}^{\min} = 27,9 \cdot 10382 = 303623 \text{ daN}$$

Pierderile de tensiune pentru faza finală devin:

$$\Delta \sigma_{\bar{p}} = 1783 \text{ daN/cm}^2 \quad \Delta \sigma_r - \Delta \sigma_{r1} = 660 \text{ daN/cm}^2$$

Efortul unitar în armătura preîntinsă și efortul real de precomprimare în faza finală sînt:

$$\bar{\sigma}_{pp} = \sigma_{pp}^{\min} - [(\Delta \sigma_r - \Delta \sigma_{r1}) + \Delta \sigma_{\bar{p}}] = 10382 - (660 + 1783) = 8439 \text{ daN/cm}^2$$

$$N_p = A_p \bar{\sigma}_{pp} = 27,9 \cdot 8439 = 235448 \text{ daN}$$

Diagrama de eforturi unitare în faza finală, obținută pe baza efortului de precomprimare N_p și a momentului încovoietor M_{1d}^E , este

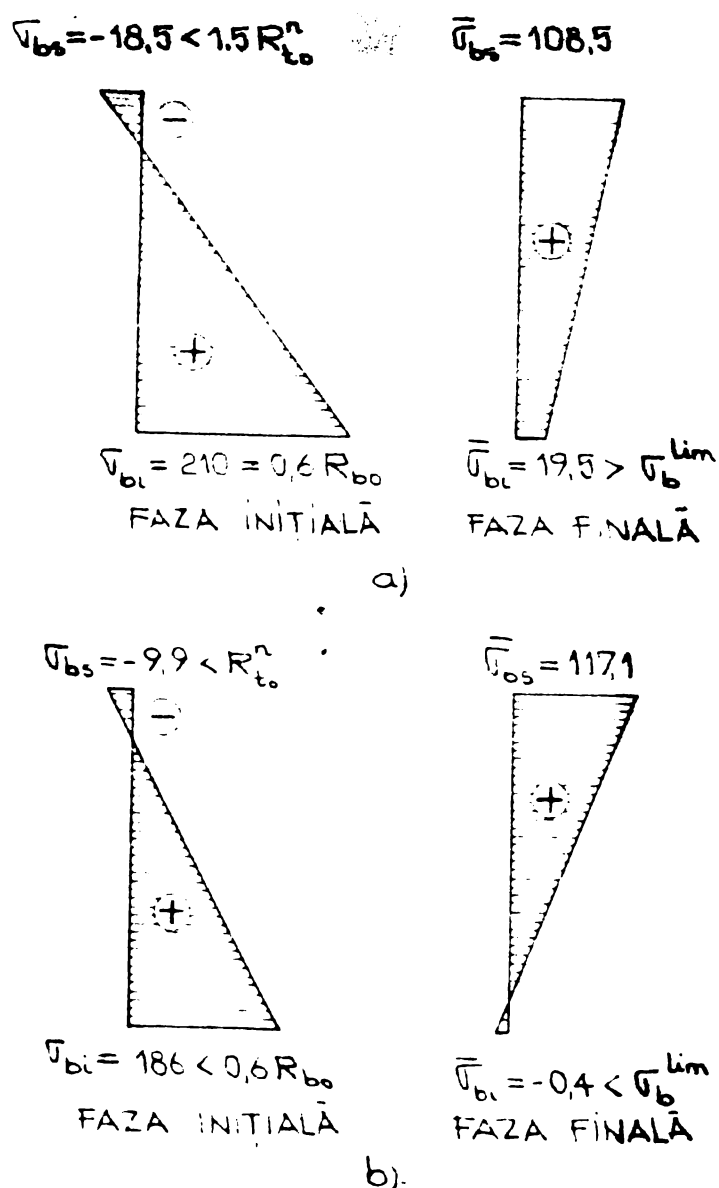


FIG 2.7. RESPECTAREA CONDIȚIILOR LA TRANSFER ȘI ÎN EXPLOATARE.

prezentată în figura 2.7.b.

Calculul eforturilor unitare principale în faza finală

Eforturile unitare principale în dreptul centrului de greutate a secțiunii ideale de calcul la reazem sînt:

$$\sigma_{b1} = -13 \text{ daN/cm}^2, \sigma_{b2} = 48 \text{ daN/cm}^2$$

În această secțiune efortul unitar de calcul în armătură preîntinsă este:

$$9192 \frac{57}{97,5} = 5374 \text{ daN/cm}^2,$$

efort unitar ce s-a luat în considerare la calculul eforturilor unitare principale.

În cazul luării în considerare a pierderii de tensiune $\Delta\sigma_e$ efortul unitar în armătura preîntinsă este:

$$8439 \frac{57}{97,5} = 4925 \text{ daN/cm}^2$$

Eforturile unitare principale sînt:

$$\sigma_{b1} = -13,6 \text{ daN/cm}^2, \sigma_{b2} = 46,0 \text{ daN/cm}^2$$

Calculul eforturilor unitare în secțiuni normale fisurate.

Diagrama de eforturi unitare, determinată pe baza efortului de precomprimare $N_0 = 255000 \text{ daN}$, este prezentată în figura 2.8.a iar cea determinată pe baza efortului real de precomprimare este prezentată în figura 2.8.b.

Verificarea apariției fisurilor longitudinale.

Utilizarea relației (2.1) pentru determinarea efortului de precomprimare conduce la un calcul acoperitor deoarece în realitate eforturile unitare în fibra inferioară sînt mai mici decît cele rezultate din calcul.

Verificarea închiderii fisurilor normale.

Utilizarea relației (2.2) pentru efortul de precomprimare duce la un calcul descoperitor deoarece în realitate efortul unitar în fibra inferioară este de întindere (Fig.2.7).

Verificarea deschiderii fisurilor înclinate.

Se constată că utilizarea efortului real de precomprimare influențează puțin valorile eforturilor unitare principale astfel ca se respectă

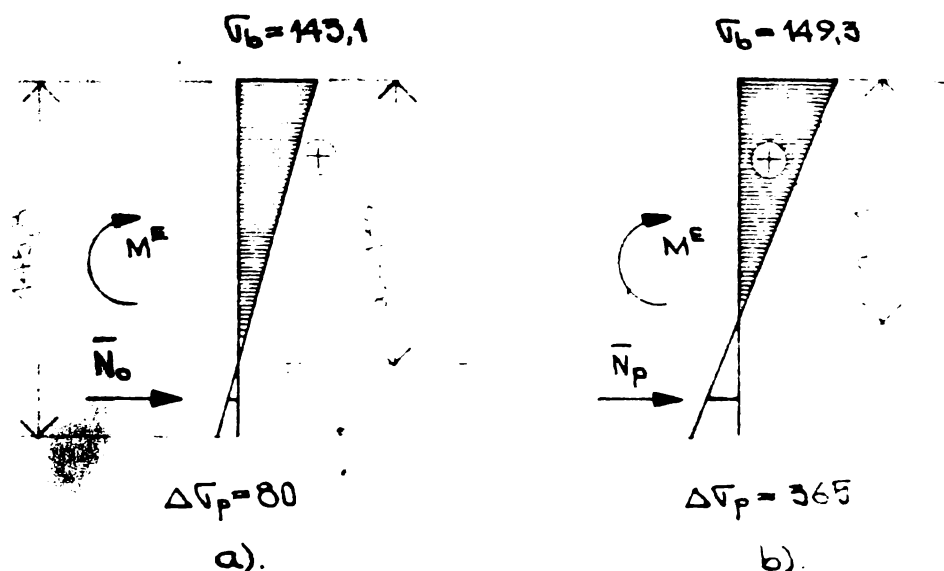


FIG.2.8. EFORTURI UNITARE NORMALE ÎN SECȚIUNI FISURATE

condiția de verificare, adică:

$$R_t^n \left(1 - \frac{\sigma_b}{R_c^n}\right) = 21 \left(1 - \frac{46}{290}\right) = 17,3 > 13,6 \text{ daN/cm}^2$$

Verificarea deschiderii fisurilor normale.

Condiția de verificare

$$\Delta \sigma_p < 1000 \text{ daN/cm}^2$$

este asigurată dar se constată o scădere a mărimii zonei comprimate cu 16%, un spor nesemnificativ al efortului unitar σ_b și un spor substanțial (4,5 ori) al efortului unitar $\Delta \sigma_p$.

Deși în acest caz condiția de verificare este îndeplinită, în alte situații se va ajunge la nerespectarea acestei condiții.

2.4.2. Calculul comparativ privind influența efortului de precomprimare asupra momentului încovoietor de fisurare

Apariția fisurilor nu este luată în considerare ca o stare limită, totuși ea prezintă interes pentru cercetare și omologarea elementelor din beton precomprimat.

Calculul momentului încovoietor de fisurare pentru exa-

plul de proiectare de la punctul 2.4.1.

Pentru calculul momentului încovoietor de fisurare se utilizează relația (3.43).

Valoarea momentului încovoietor de fisurare calculat pe baza efortului de precomprimare \bar{N}_0 este:

$$M_{f0}^s = 281,1 \text{ tm}$$

iar cea calculată cu luarea în considerare a efortului real de precomprimare \bar{N}_p este:

$$M_{fp}^s = 264,9 \text{ tm}$$

Se constată o supraevaluare cu 9,9% a valorii momentului încovoietor de fisurare în cazul neglijării pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului.

Calculul momentului încovoietor de fisurare pentru o serie de elemente precomprimate cu armătură postîntinsă

Pinglot-Pons efectuează în lucrarea /73/ și în studiu, cu suficiente date inițiale pentru a permite o abordare ulterioară, asupra momentului încovoietor de fisurare al unor elemente precomprimate cu armătură postîntinsă și armătură complementară (Fig.2.9) cu diferite grade de precomprimare. Drept grad de precomprimare autorii iau în considerare raportul dintre momentul încovoietor de rupere preluat numai de armătura pretensionată și momentul încovoietor de rupere preluat de ambele tipuri de armături, conform relației (4.2). În figura 2.9 se prezintă și gradele de precomprimare ale elementelor experimentale k stabilite în baza relației (4.4), deci ca raport între momentul încovoietor de decomprimare și momentul încovoietor de exploatare.

În evaluarea valorii efortului real de precomprimare \bar{N}_p autorii au plecat de la deformațiile specifice ale betonului, înregistrate pînă în momentul încercării, ținînd astfel cont de efectul contracției, curgerii lente, relaxării și al scurtării elastice în momentul transferului.

Calculul valorii teoretice a momentului încovoietor de fisurare a fost făcut de Pinglot-Pons admitînd ipoteza comportării elastice a betonului întins. Plecînd de la relația (2.5) s-a determinat valoarea efortului convențional de precomprimare \bar{N}_0 și apoi momentul încovoietor teoretic de fisurare, în aceeași ipoteză a comportării elastice a betonului întins.

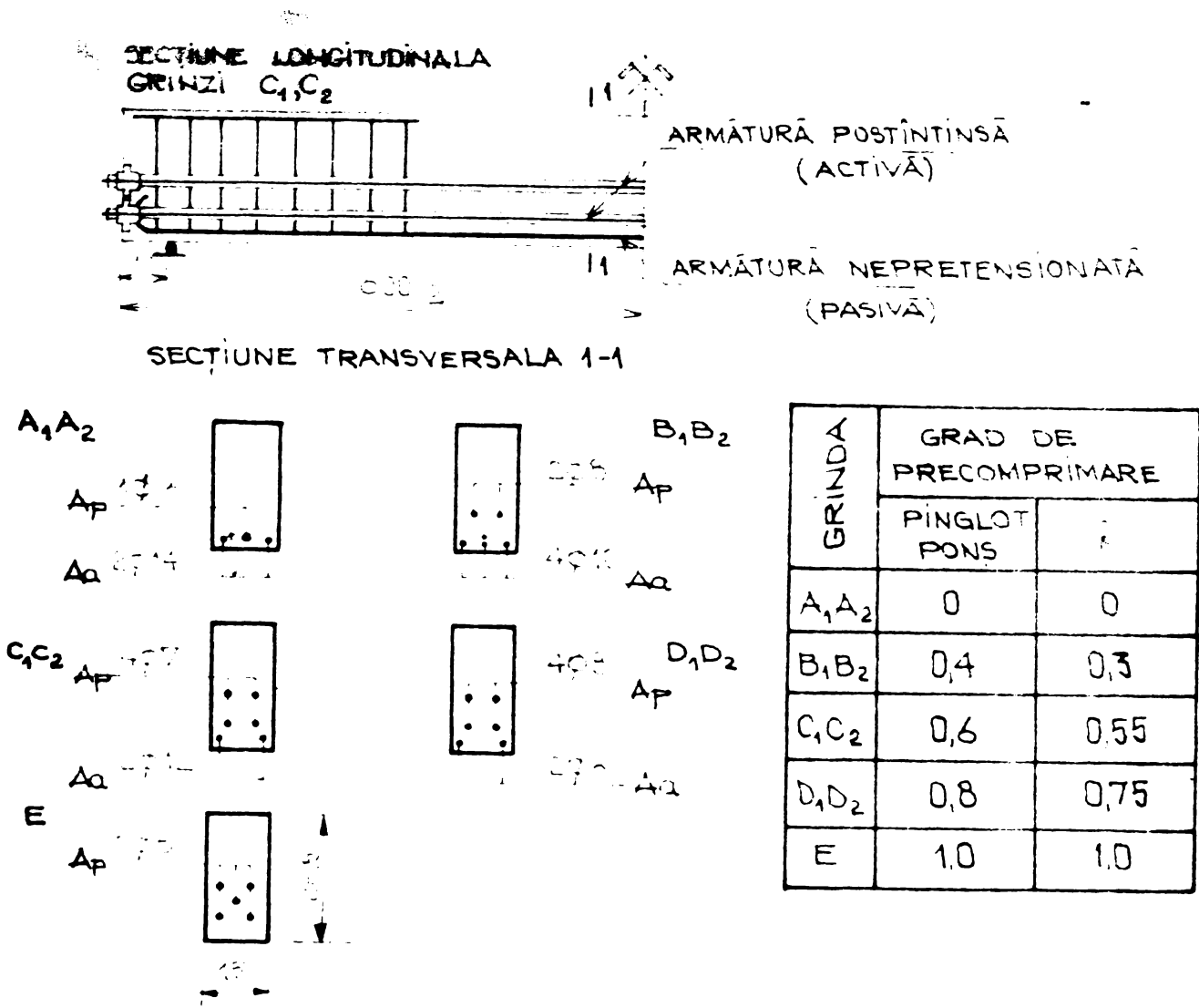


FIG. 2.9. ELEMENTE EXPERIMENTALE PINGLOT-PONS

In tabelul 2.3 sînt prezentate rezultatele calculelor, constatîndu-se următoarele:

- avînd în vedere ariile mici de armătură pretensionată supraevaluarea efortului convențional de precompresie σ_0 este mic, începînd să devină sensibil numai la grinda ...;
- la grinzi la care raportul dintre momentul încovoietor experimental de fisurare și cel teoretic este ≤ 1 , utilizarea efortului convențional de precompresie conduce la reducerea acestui raport;
- supraevaluarea valorii teoretice a momentului încovoietor de fisurare este nesemnificativă în cazul acestor grinzi din cauza cantităților reduse de armătură; corelînd rezultatele din tabelul 2.3 și rezultatul de la calculul momentului încovoietor de fisurare pentru exemplul de proiectare se constată că supraevaluarea crește cu creșterea cantității de armătură.

Compararea momentelor încovoietoare de fisurare

Grin- da armătură $\frac{A_p}{A_n}$	Efort unitar în arm. pretensio- nata ($\frac{dNm}{cm^2}$) σ_{pp}	Efort de precompri- mare ($\frac{dNm}{cm^2}$) σ_{p0}	Supra- evalua rea ef. conv. N de ef. real N _p (%)	Momente înc. de fiu- rare (dNm) expe- rin. M _f teoretic pe ba- za lui M _p pe za lui N _o	Valori relative	
					$\frac{M_f}{M_p}$	$\frac{M_f}{M_p}$
B ₁	12464	12651	1,5	1720	1730	0,994
B ₂	12487	12661	1,4	1850	1820	1,016
C ₁	12507	12768	2,1	2575	2400	1,073
C ₂	12448	12710	2,1	2560	2400	1,066
D ₁	12361	12734	3,0	2800	2900	0,966
D ₂	12294	12655	3,0	3075	3050	1,008
E	12185	12743	4,0	3455	3780	0,914

2.5. Concluzii privind luarea în considerare a pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului

Existența pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului $\Delta\sigma_e$ este un fapt care trebuie luat în considerare pentru realizarea siguranței elementului.

Pentru a aprofunda efectul pierderii de tensiune $\Delta\sigma_e$ asupra efortului real din armătura pretenționată în cadrul prelucrării statistice, prezentată la punctul 2.3.1, s-a calculat și valoarea coeficientului ω_1 pentru cele 193 de elemente tipizate prevăzute numai cu armătură preîntinsă la partea inferioară. În cazul elementelor cu armătură preîntinsă, prevăzută numai la partea inferioară, coeficientul ω_1 arată măsura în care efortul unitar real din armătura este mai mic decât efortul unitar de calcul (vezi relația 3.23''')

Valorile extreme, medii și coeficienții de variație obținuți, pe grupe de elemente și pe ansamblu sînt prezentate în tabelul 2.4.

Valorile coeficienților ω_1 formează o distribuție normală de valori, după cum rezultă din rețeaua de probabilitate (fig. 2.10). Pentru verificarea normalității distribuției s-a aplicat în prealabil criteriul Chauvenet de eliminare a rezultatelor extreme. În urma aplicării acestui criteriu au rămas 188 valori cuprinse în intervalul $/1,02; 1,20/$.

În cazul grinzilor secundare și al elementelor de acoperiș există o mai mare împrăștiere a valorilor coeficientului ω_1 .

Se constată că efortul unitar real este cu 2,1...23,7% mai mic decât efortul unitar de calcul care se ia în considerare la evaluarea efortului de precomprimare. Desigur că valorile inferioare nu vor avea efecte sensibile asupra stării de eforturi unitare din element.

În figura 2.11 se prezintă, pe categorii de elemente, zona de dispunere a coeficienților ω_1 . Se relevă, încă odată, împrăștierea valorilor pentru grinzile secundare și elementelor de acoperiș, în timp ce la toate categoriile de grinzi există o suprapunere, aproape perfectă, a zonelor de dispunere.

Tabelul 2.4

Rezumatul prelucrării coeficientului ω_1

Element	<u>limita inf.</u> <u>limita sup.</u>	Valoarea medie	Coeficientul de variație (%)
Grinzi principale longitudinale	<u>1,021</u> <u>1,113</u>	1,066	2,017
Grinzi principale transversale	<u>1,023</u> <u>1,116</u>	1,064	1,739
Grinzi secundare	<u>1,050</u> <u>1,232</u>	1,133	6,605
Elemente de acoperiș	<u>1,066</u> <u>1,287</u>	1,075	5,063
Elemente de planșeu	<u>1,062</u> <u>1,119</u>	1,092	1,523
Grinzi de rulare	<u>1,053</u> <u>1,100</u>	1,075	1,241
Ansamblul de elemente supuse prelucrării	<u>1,021</u> <u>1,287</u>	1,077	3,51

După cum s-a arătat mai înainte valorile mici ale coeficientului ω_1 nu vor influența în mod sensibil starea de eforturi unitare. Pentru a stabili o valoare a coeficientului ω_1 sub care să nu fie necesară introducerea în calcule a pierderii de tensiune din

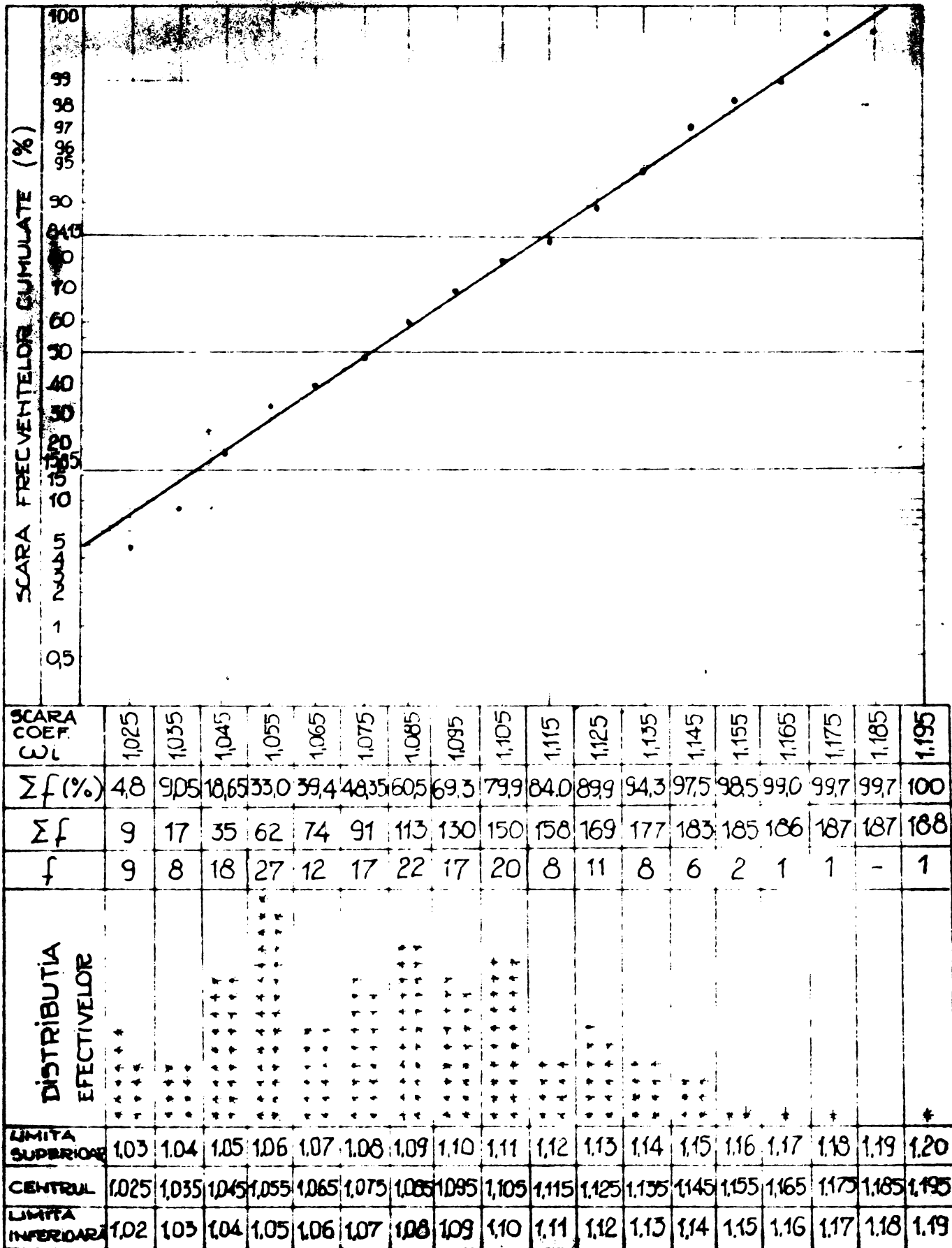


Fig. 2.10. VERIFICAREA NORMALITĂȚII DISTRIBUȚIEI COEFICIENTULUI ω_1

urtarea elastică a betonului s-a calculat procentul de elemente la re coeficientul ω_1 este mai mic decît 1,03, respectiv decît 1,05, tuția fiind următoarea:

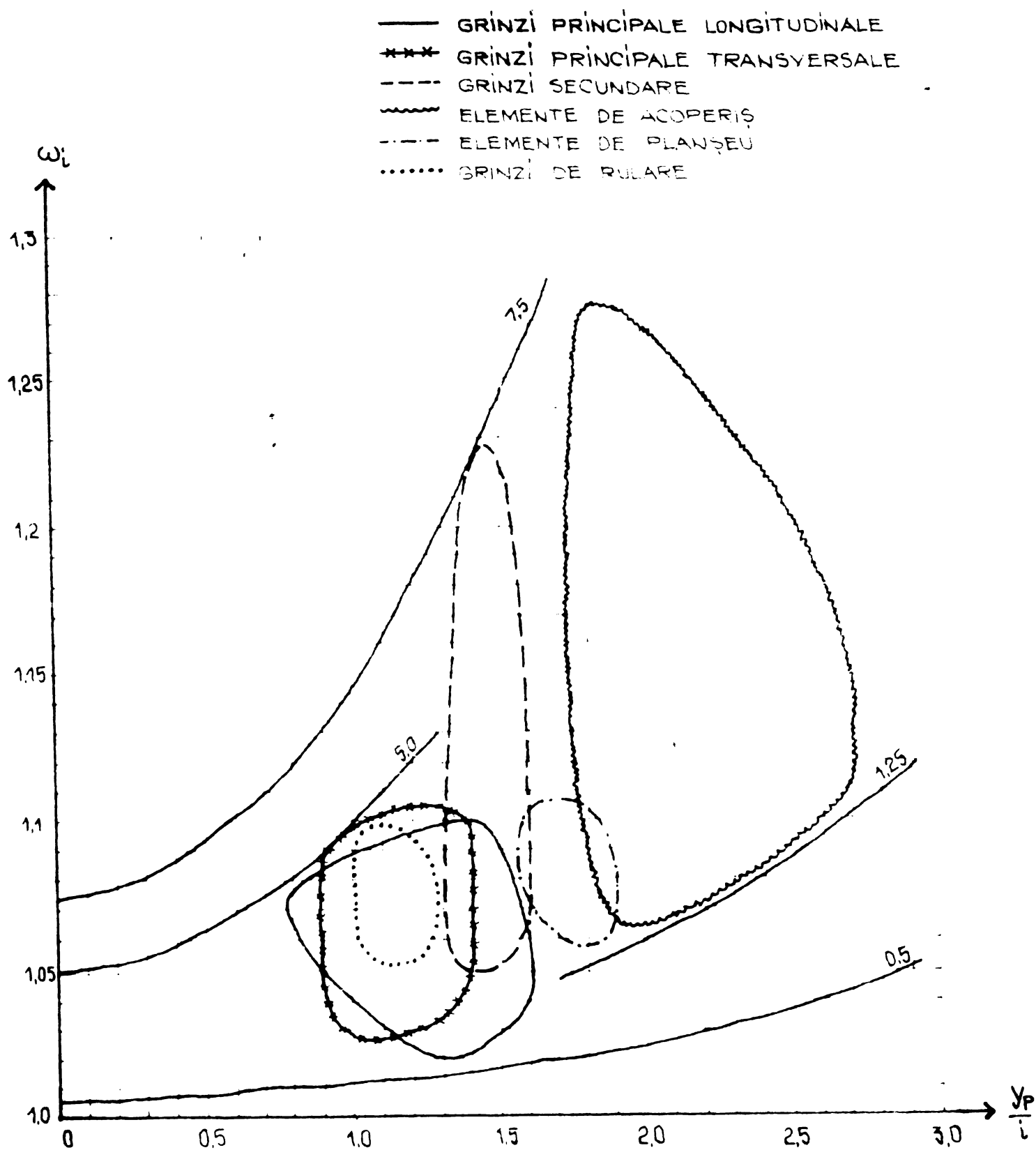


FIG 2.11. ZONELE DE DISPUNERE, PE CATEGORII DE ELEMENTE, A COEFICIENTULUI ω_i .

1,56 % din elemente au coeficientul ω_i sub 1,03

18,15% din elemente au coeficientul ω_i sub 1,05

Avînd în vedere că procentul de elemente la care coeficientul ω_i este sub 1,05 este ridicat se ia valoarea $\omega_i = 1,03$ ca limită sub care se poate neglija efectul pierderii de tensiune din scurtarea

elastica în cazul elementelor cu armătură preîntinsă.

Principalele concluzii, care se desprind din analiza efectuată, sînt următoarele:

- neluarea în considerare a pierderii de tensiune din scurtarea elastică conduce la un calcul acoperitor, în fază inițială, la elementele cu armătură preîntinsă;

- neluarea în considerare a acestei pierderi de tensiune conduce la un calcul descoperitor la verificarea la fisurare a elementelor precomprimate, cu armătură pre- și postîntinsă, în secțiuni normale în faza de exploatare;

- efortul unitar real din armătura preîntinsă este, în medie, cu 6,5...9,5 % mai mic decît efortul unitar de calcul care se ia în considerare la determinarea efortului de precomprimare;

- efectul pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului poate fi neglijat atunci cînd procentul de armare al armăturii preîntinse $p_p = 100 A_p/A_{bi}$ este situat sub valorile:

0,430 pentru B 500	cînd $y_p/i \leq 0,45$	0,259 pentru B 500	
0,463 pentru B 600		0,278 pentru B 600	cînd $y_p/i \leq 1,00$
0,345 pentru B 500		0,172 pentru B 500	
0,370 pentru B 600	cînd $y_p/i \leq 0,75$	0,185 pentru B 600	cînd $y_p/i \leq 1,75$

0,086 pentru B 500

0,093 pentru B 600 cînd $y_p/i \leq 2,25$

- faptul că elementele executate pînă în prezent lucrează în condiții corespunzătoare, deși efortul de precomprimare este supraevaluat, conduce la concluzia că încărcările efective de exploatare nu ating valorile prevăzute în norme, fiind deci posibil o reevaluare a acestora.

3. CALCULUL EFORTURILOR UNITARE ÎN SECȚIUNILE NORMALE ALE ELEMENTELOR COMPUSE BETON PRECOMPRIMAT - BETON ARMAT.

3.1. Aspecte generale

Materialele tradiționale de construcții betonul, oțelul, lemnul, prezintă fiecare în parte anumite avantaje și dezavantaje. Unele deficiențe pot fi înlăturate prin diferite procedee. De exemplu comportarea deficitară a betonului la întindere poate fi îmbunătățită prin armare dispersă cu fibre sau poate fi suplinită prin ar-

mare sau precomprimare, etc. Dezavantajele unui material nu trebuie să fie legate neapărat de proprietățile lui fizico-mecanice, dezavantajele putând să fie și de ordin economic, așa cum ar fi costul ridicat al materialului (oțelul), faptul de a fi energo-intensiv (oțelul, cimentul, granulitul) sau faptul de a fi material deficitar (oțelul, cimentul).

Pe lângă aceste aspecte mai pot apărea dificultăți tehnologice așa cum ar fi manipularea unor elemente grele sau probleme legate de funcționarea corespunzătoare în exploatare a structurilor prefabricate din beton armat sau precomprimat.

Pentru înlăturarea unor deficiențe tehnice și/sau economice pot fi găsite și alte soluții de realizare a elementelor de construcții așa cum ar fi de exemplu crearea de elemente compuse.

Efectul creerii de elemente compuse asupra greutateii și prețului de cost pentru podurile construite în Japonia până în anul 1962 este analizat de Iwamoto, fiind evident avantajul elementelor compuse (Tabelul 3.1).

Tabelul 3.1

Greutatea și costului unui pod de 3 x 32 m		
Tipul de element	Greutate	Cost
Necompus	100%	100%
Compus	87%	92%

puse (Fig.3.1).

Siess a analizat efectul utilizării secțiunilor compuse oțel-beton asupra greutateii unor poduri cu deschideri de 9...27 m și cu distanța interax grinzi de 1,5....2,2 m, avantajul fiind net în favoarea elementelor com-

Pe linia realizării de elemente compuse în intervalul 1929 - 1930 ing.E.Prager construiește pe Calea Victoriei un bloc de locuințe cu planșee ceramice cu grosime totală de 21 cm și deschiderea maximă de 6,5 m.

Preocupările în privința realizării de elemente compuse au existat încă din 1914 în Anglia, prin creerea de elemente compuse oțel-beton, aceste preocupări fiind sistematizate de Scott și Caughey în 1925. Gillspey se preocupă în 1923 de încercări pe elemente realizate din profile I înglobate în beton, încercări realizate în cadrul lui Canadian Dominion Bridge Company.

Incepând cu 1940 în Italia se trece pe scară largă la executarea de elemente compuse beton precomprimat - beton armat la realizarea podurilor.

Primele recomandări de proiectare a elementelor compuse pen-

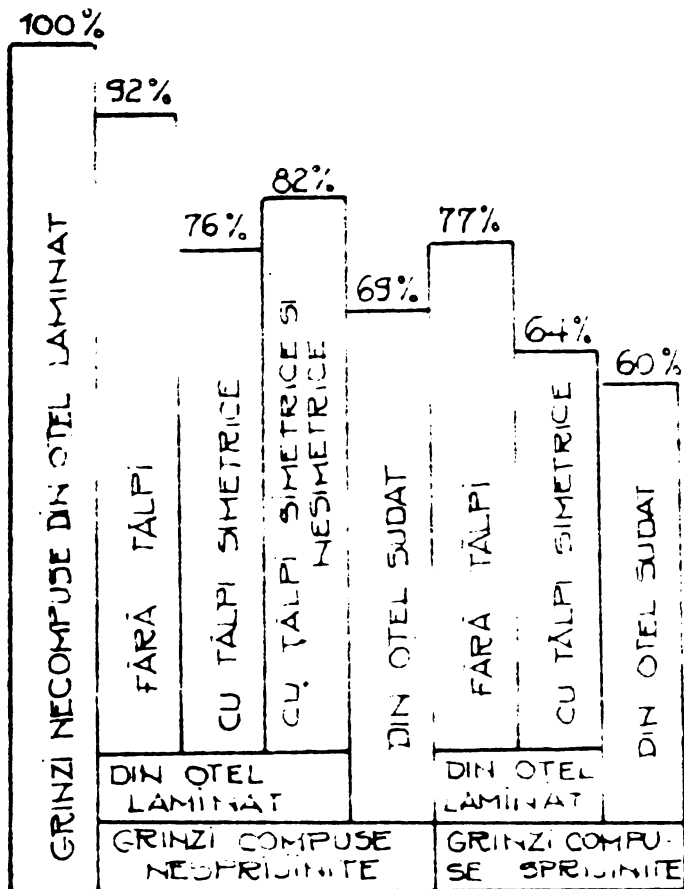


Fig.3.1 GREUTATEA RELATIVĂ A GRINZILOR DE POD SIMPLU REZEMATE

tru poduri au apărut în SUA în anul 1944 (AASHTO Codes) iar pentru clădiri în anul 1960 (ACI-ASCE Comitee 333), urmate fiind de normele germane în 1945.

Elementele compuse beton precomprimat - beton armat au în prezent o largă extindere atât în realizarea construcțiilor civile și industriale cât și în realizarea tablierelor de poduri.

În realizarea plăcilor de planșeu, ca elemente compuse, în construcții civile, industriale și poduri se pot utiliza dulapi precomprimați (Fig.3.2), fișii cu

goluri precomprimatate, etc. De asemenea în realizarea planșeelor construcțiilor civile și industriale pot fi folosite grinzi cu secțiune compusă. În figura 3.3. se prezintă o soluție curentă în țara noastră pentru realizarea planșeelor construcțiilor industriale prin utilizarea elementelor π_t precomprimatate cu suprabetonare. În figura 3.4. se prezintă secțiunea transversală printr-un planșeu compus cu nervuri dese.

Utilizarea elementelor compuse a luat o largă dezvoltare în realizarea dalilor pline de poduri (Fig.3.5) sau cu goluri (fig. 3.6), precum și în realizarea tablierelor pe grinzi cu dală turnată monolit (Fig.3.7).

Dintre avantajele elementelor compuse beton precomprimat-beton armat se rețin următoarele:
- reducerea greutății elementelor și implicit

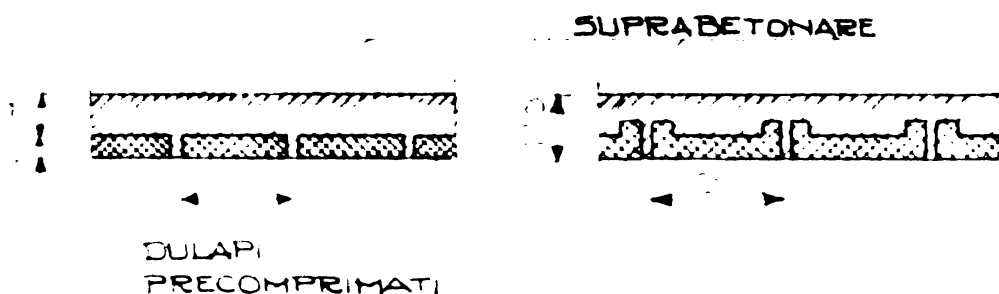


Fig.3.2. PLACI CU SECȚIUNE COMPUSĂ

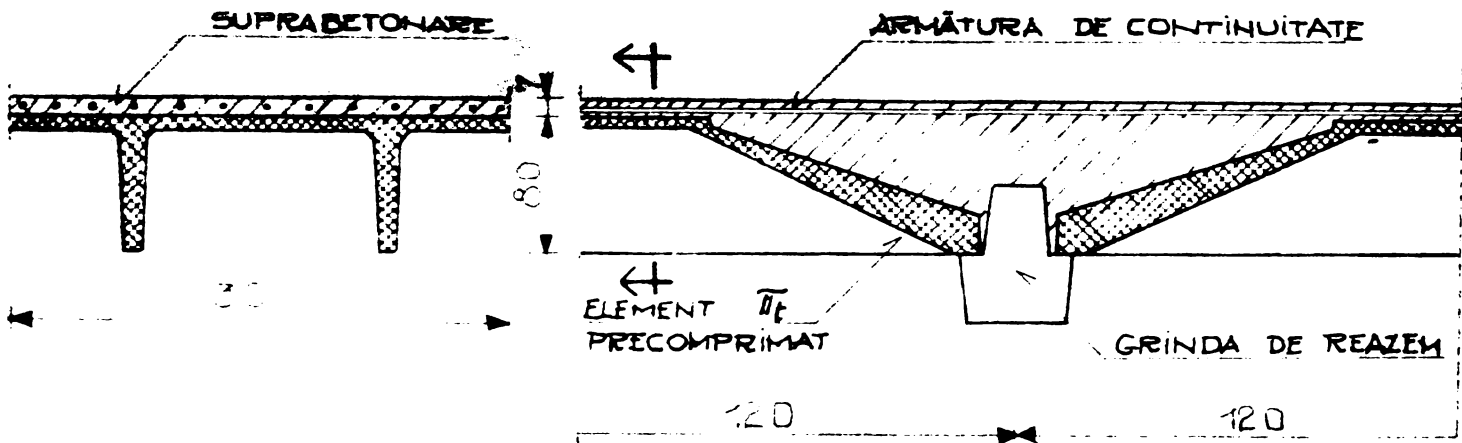


Fig. 3.3 REALIZAREA CONTINUITĂȚII PE REAZEM

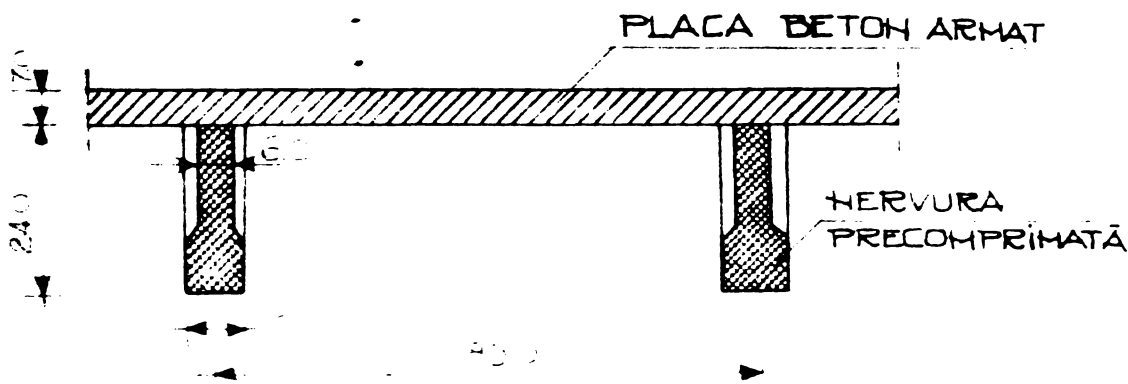


Fig. 3.4. PLANSEU CU SECȚIUNE COMPUSĂ (ANGLIA)

folosirea unor
utilaje ușoare
de transport
și montaj;
- zona de betor
armat, turnată
monolit, asigu-
ră structurii
toate avantaje-
le structurilor
monolite;
- eliminarea

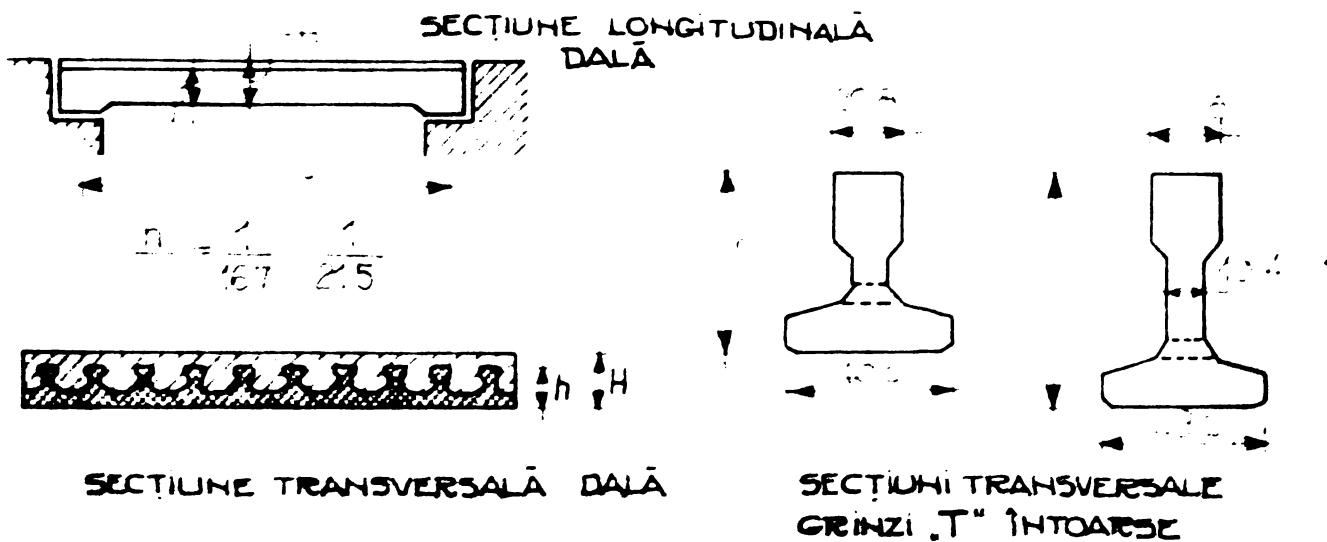


Fig. 3.5. DALĂ PLINĂ TIPIZATĂ (SUA)

parțială sau totală a cofrajelor (Fig. 3.5) și susținerile acestora;
- realizarea continuității pe reazeme (Fig. 3.3) cu toate
avantajele ce decurg de aici;

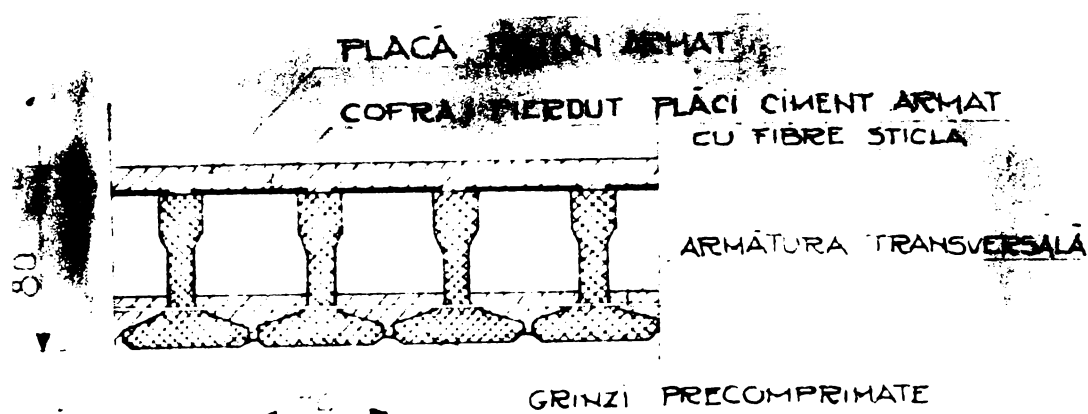


Fig. 3.6 DALĂ COMPUSĂ CU GOLURI

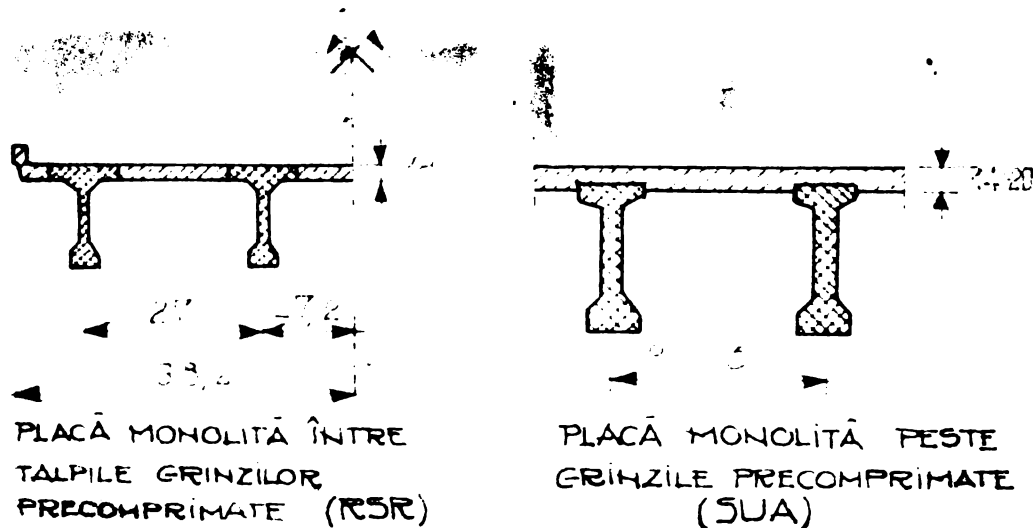


Fig. 3.7. TABLIER DE FOD PE GRINZI COMPUSE

- economii de oțel pentru armăturile pretensionate deoarece se precomprimă o secțiune mai mică;

- dispunerea materialelor în zonele în care fiecare lucrează în modul cel mai corespunzător (betonul armat în zona comprimată, betonul precomprimat în zona întinsă);

- economii de ciment deoarece o parte a secțiunii se execută dintr-un beton de calitate mai redusă,

Pe de altă parte este de subliniat faptul că

mecanismul de calcul al elementelor compuse beton precomprimat - beton armat este mai complicat, fiind deci necesar un timp mai mare pentru încheierea proiectării.

De asemenea există încă o serie de probleme, așa cum ar fi evaluarea corectă a eforturilor unitare în secțiunile normale ținând cont de efectul curgerii lente și al contracției care sînt diferite pentru cele două tipuri de beton. Cunoașterea exactă a stării de eforturi unitare este necesară pentru evaluarea corectă a siguranței elementului în funcție de clasă de fisurabilitate.

Pentru analiza stării de eforturi unitare se ia în considerare o precomprimare în etape, prima etapă realizîndu-se cu armătură preîntinsă iar etapa următoare, după montarea elementelor și aplicarea unor încărcări permanente, realizîndu-se cu ajutorul armăturii post-întinse.

Elementele compuse beton precomprimat - beton armat trec prin următoarele faze:

timpul t_1 - transferul armăturii prefintinse (toroane): faza inițială;

timpul t_2 - executarea porțiunii de beton armat;

timpul t_3 - realizarea conlucrării dintre cele două tipuri de beton, conlucrarea considerându-se efectivă atunci când betonul armat a atins 70...80% din marca prescrisă /19/, /86/; imediat înaintea realizării conlucrării: faza intermediară; în funcție de destinația elementului se pot aplica unele încărcări permanente și eventual se poate trece la pretensionarea armăturii postîntinse (fascicole): faza de postîntindere; în funcție de destinația elementului acesta poate fi dat în exploatare: faza de dare în exploatare.

timpul t_∞ - consumarea totală a pierderilor de tensiune și aplicarea tuturor încărcărilor pe element: faza finală.

Față de succesiunea acceptată pentru unele situații pot apare modificări, care însă nu schimbă esența fenomenelor ce se produc.

Analizînd succesiunea fazelor prin care trece un element compus se constată existența a două etape mari:

- etapa I durează pînă în momentul realizării secțiunii compuse (faza intermediară), fiind caracterizată prin consumarea parțială a contracției și curgerii lente a betonului precomprinat și prin consumarea parțială a contracției betonului armat;

- etapa II începe din momentul realizării secțiunii compuse și durează pînă la consumarea totală a deformațiilor din contracție și curgere lentă în ambele tipuri de beton.

Avînd în vedere faptul că cele două tipuri de beton au mărci diferite secțiunea transversală reală se transformă într-o secțiune de calcul. Această transformare se face prin înmulțirea lățimii porțiunii de beton armat (Fig.3.8) cu coeficientul de echivalență n_p al betonului armat.

Pentru transformarea secțiunii prefabricate/compuse într-o secțiune ideală ariile armăturilor prefintinse și postîntinse și ale armăturii nepretensionate de rezistență (complementară), dacă aceasta există, se înmulțesc cu următorii coeficienți de echivalență:

$$n_{p1} = \frac{E_{p1}}{E_{bp}} \quad n_{p2} = \frac{E_{p2}}{E_{bp}} \quad n_a = \frac{E_a}{E_{bp}}$$

unde: E_{bp} este modulul de elasticitate al betonului precomprinat;

E_{p1} - modulul de elasticitate al armăturii prefintinse;

E_{p2} - modulul de elasticitate al armăturii postîntinse;

E_a - modulul de elasticitate al armăturii complementare.

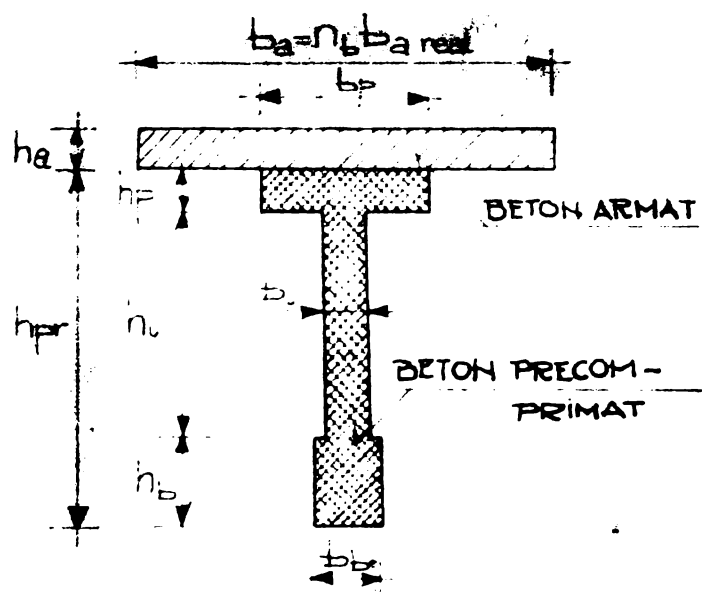


Fig. 3.8. SECȚIUNEA COMPUSĂ DE CALCUL

Pentru cazul curent al armăturii preîntinse realizată din toaroane și al armăturii postîntinse realizată din fascicole $E_{p1} = E_{p2}$. În cele ce urmează se va considera cazul general când $E_{p1} \neq E_{p2}$.

Coeficientul de echivalență al betonului depinde de faza de calcul și de stadiul de lucru al elementului (stadiul I sau II). Particularizarea acestui coeficient de echivalență se va face pentru fiecare situație în parte.

Pe de altă parte modulul de elasticitate al betonului precomprimat E_{bp} și cel al betonului ar-

mat E_{ba} sînt funcții de timp, deci și coeficienții de echivalență ai armăturilor vor depinde de faza de calcul și de stadiul de lucru al elementului.

3.2. Influența contracției și curgerii lente asupra stării de eforturi unitare normale din elementele compuse beton precomprimat - beton armat

Sub efectul încărcărilor exterioare betonul suferă deformații elastice, plastice și viscoase. Deformațiile plastice se datoresc microfisurilor ce se produc în masa betonului în timp ce deformațiile viscoase se datoresc viscozității gelurilor ce intră în componența pietrei de ciment.

Pe lângă aceste deformații betonul mai suferă fenomenul spontan al contracției.

Deformațiile din contracție și curgere lentă sînt fenomene covalente așa cum rezultă din cercetările lui L'Hermite (Fig.3.9)/6/.

Deformația totală din contracție și curgere lentă este proporțională cu efortul unitar, care produce curgerea lentă, atunci când aceste efort unitar este mare. În acest caz influența curgerii lente este hotărîtoare. Atunci când efortul unitar, care produce curgerea lentă, este mic această proporționalitate dispăre și contracția devine hotărîtoare.

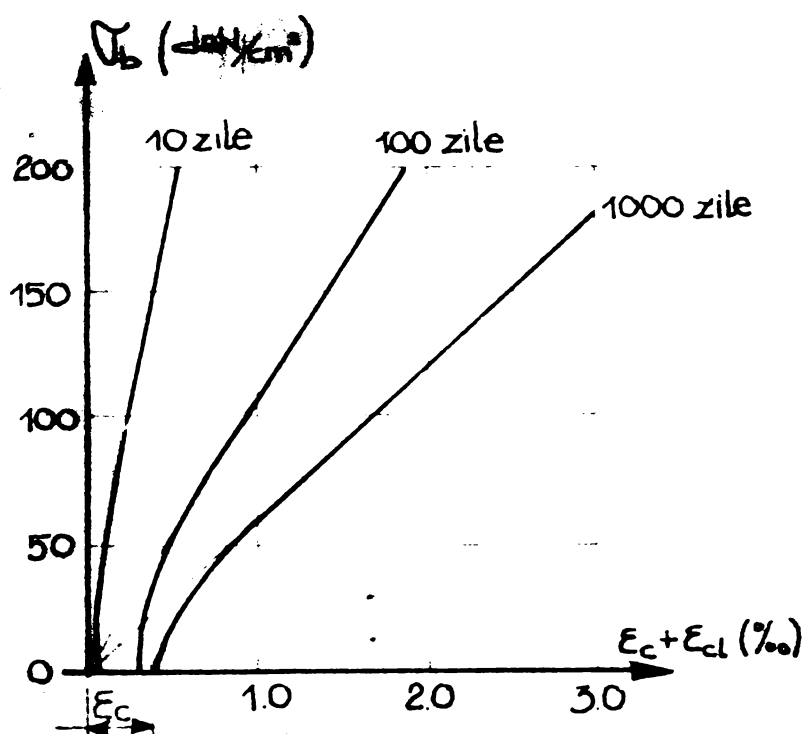


Fig.3.9. DEFORMAȚIA TOTALĂ DIN CONTRACȚIE ȘI CURGERE LENTĂ

Efectul contracției și curgerii lente asupra stării de eforturi unitare din elementele precomprimate se face resimțit prin intermediul indirect al pierderii de tensiune din contracție și curgere lentă $\Delta\sigma_p$.

Normele românești /107/, /108/ și /116/ pentru calculul elementelor precomprimate folosite în construcții civile și industriale țin cont de proporționalitatea ce există între efortul unitar din beton și deformația specifică totală din contracție și curgere

lentă în determinarea pierderii de tensiune $\Delta\sigma_p$.

Pentru cazurile speciale în /109/ se prevede și posibilitatea de a introduce în mod explicit și efectul contracției în determinarea pierderii de tensiune $\Delta\sigma_p$.

Această procedură este prevăzută de /110/ și /111/ pentru calculul pierderii de tensiune $\Delta\sigma_p$ la elementele precomprimate folosite la realizarea suprastructurilor de poduri.

În cazul elementelor compuse beton precomprimat - beton armat influența contracției și curgerii lente se resimte prin intermediul pierderii de tensiune $\Delta\sigma_p$ și prin introducerea unei stări suplimentare de eforturi unitare în etapa II, din cauza deformațiilor diferite din contracție și curgere lentă ale celor două tipuri de beton. Deformațiile din contracție și curgere lentă, în etapa II, sînt diferite la cele două tipuri de beton, ele depinzînd de:

- valorile finale diferite ale deformațiilor specifice din contracție și curgere lentă ale celor două tipuri de beton;
- valoarea timpului t_3 care stabilește începutul etapei II.

3.2.1. Dezvoltarea deformațiilor specifice din contracție și curgere lentă

3.2.1.1. Dezvoltarea deformațiilor specifice din contracție

Mărimea deformației din contracție depinde de numeroși fac-

tori: cantitatea și calitatea cimentului, raportul a/c, natura și granulozitatea agregatelor, modul de compactare, dimensiunile elementelor, condițiile de păstrare, timpul de la prepararea betonului etc.

Pentru valoarea finală a contracției Cestelli Guidi recomandă pentru climatul Italiei valori cuprinse în intervalul 0,3...0,5 , adoptând o variație exponențială funcție de timp /28/.

Ghibșman recomandă următoarele valori finale ale contracției /47/:

elemente în aer foarte umed deasupra apei	0,05...0,15
elemente în aer liber	0,15...0,20
elemente în aer uscat (spații închise)	0,20...0,30

Pentru a ține cont de existența armăturii, Ghibșman ia în considerare coeficientul de reducere a valorii finale η_{contr} propus de Ulițki, funcție de caracteristica finală a curgerii lente și de produsul $n\mu$.

În vederea determinării contracției la un timp t este utilizată relația:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{\text{fin}}(1 - e^{-pt}); \text{ cu } p = 1,5 \dots 2,0$$

Pentru evaluarea valorii finale a contracției Guyon utilizează relația /48/:

$$\eta_{\infty} = (1-p) \frac{0,5+0,3 e}{0,4 + e} \frac{E}{500} (1 + \frac{3}{C})$$

unde:

- p - este umiditatea relativă a mediului ambiant;
- e - dimensiunea cea mai mică a elementului (m);
- E - cantitatea de apă (l/m^3);
- C - dozajul de ciment (kg/m^3).

Pentru stabilirea contracției la un timp t (luni) Guyon recomandă utilizarea relației:

$$\eta_t = \eta_{\infty} \frac{(1,5 + t)t}{1 + 4t + t^2}$$

prevăzută în normele braziliene.

Cavalori de bază pentru mărimea finală a contracției, în condiții standard, Branson /86/ propune următoarele valori:

maximă $(\varepsilon_{sh})_u = 1,07$
medie $(\varepsilon_{sh})_u = 0,78$
minimă $(\varepsilon_{sh})_u = 0,415$

Condițiile standard sînt caracterizate prin:

- umiditatea relativă a mediului ambiant $\leq 40 \%$

- grosimea medie a elementului 15 cm.

Pentru umidități relative ale mediului ambiant $H > 40\%$ se introduce coeficientul de corecție:

$$(C.F.)_H = \begin{cases} 1,4 - 0,01 H \text{ cînd } 40\% < H \leq 80\% \\ 3,0 - 0,03 H \text{ cînd } 80\% < H \leq 100\% \end{cases}$$

Pentru elemente cu grosimi $T > 15$ cm se introduce coeficientul de corecție:

$$(C.F.)_T = 1,17 - 0,011 T$$

Pentru grosimi $T < 15$ cm se indică utilizarea coeficienților prevăzuți de recomandările CEB - FIP 1970.

Cînd dimensiunea elementului depășește 30...40 cm se recomandă să se țină cont și de volumul specific al acestuia V/S , atunci cînd $V/S \geq 3,8$ cm. Introducerea acestei influențe se face prin coeficientul de corecție:

$$(C.F.)_{V/S} = 1,14 - 0,035 V/S$$

Pentru stabilirea contracției la un timp t mai mare decît 7 zile, pentru betonul întărit în condiții normale, respectiv pentru t mai mare decît o zi, pentru betonul tratat termic, Branson recomandă:

$$(\epsilon_{sh})_t = \begin{cases} \frac{t}{35+t} (\epsilon_{sh})_u & \text{beton întărit în condiții normale} \\ \frac{t}{55+t} (\epsilon_{sh})_u & \text{beton tratat termic} \end{cases}$$

Această procedură de evaluare a mărimii contracției este acceptată și de ACI Committee 209.

Codul Model CEB-FIP /112/ prevede pentru calculul deformației specifice din contracție în intervalul de timp $t_0 \dots t$ relația:

$$\epsilon_s(t, t_0) = \epsilon_{s0} [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)] (\%) \quad (3.1)$$

unde: $\epsilon_{s0} = \epsilon_{s1} \cdot \epsilon_{s2}$ - coeficientul de bază al contracției

ϵ_{s1} - coeficient ce depinde de mediul ambiant și are valorile:

0,13 atmosferă foarte umedă (umiditate 90%)

0,32 mediu exterior, în general (umiditate 70%)

0,52 atmosferă foarte uscată (umiditate 40%)

ϵ_{s2} - coeficient ce depinde de grosimea fictivă a elementului h_0 și se determină din figura 3.10;

β_s - funcția de dezvoltare în timp a contracției și care depinde de grosimea fictivă h_0 (Fig.3.11);

Dacă temperatura mediului ambiant T , în care se produce întărirea betonului, diferă sensibil de 20°C , atunci vîrstele reale t și t_0 se corectează în funcție de numărul de zile în care temperatura a

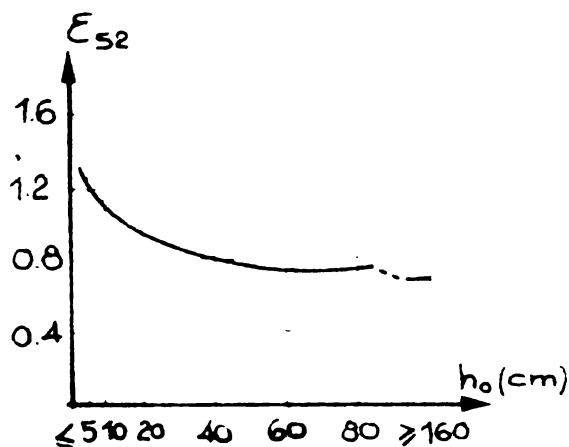


Fig. 3.10 INFLUENȚA GROSIMII FICTIVE ASUPRA CONTRACȚIEI

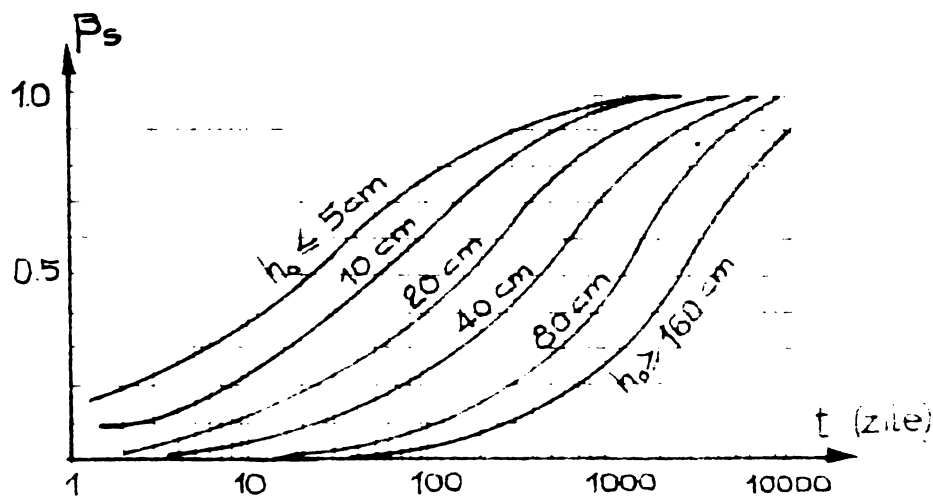


Fig. 3.11. DEZVOLTAREA CONTRACȚIEI ÎN TIMP

avut valoarea T .

Grosimea fictivă este dată de relația:

$$h_0 = \lambda \frac{2A_c}{u}$$

unde: A_c este aria secțiunii de beton;

u - perimetrul în contact cu atmosfera;

$\lambda = 5$ pentru atmosferă foarte umedă (umiditate 90%)

1,5 pentru mediu exterior, în general (umiditate 70%)

1,0 pentru atmosferă foarte uscată (umiditate 40%)

Valoarea finală a contracției se obține înlocuind în relația (3.1) $t_0 = 1$ zi și $t = t_\infty \geq 10000$ zile. Luând în considerare o grosime fictivă mai mare decât 10 cm (cazurile mai frecvente) relația (3.1) devine:

$$\epsilon_s(t_\infty, 1) = \epsilon_{s0} (\%) \quad (3.1')$$

Pentru cazurile când nu se cere o precizie deosebită Codul Model admite valorile finale $\epsilon_s(t_\infty, t_0)$ ale contracției, prezentate în tabelul 3.2.

Tabelul 3.2

Valorile finale ale contracției $\epsilon_s(t_\infty, t_0)$ (%)

Umiditatea relativă a mediului	75% atmosferă umedă, exterior		55% atmosferă uscată, interior	
	mică $h_0 < 20$ cm	mare $h_0 \geq 60$ cm	mică $h_0 < 20$ cm	mare $h_0 \geq 60$ cm
Grosimea fictivă a elementului				
Vîrsta betonului de la care se ia în considerare efectul contracției				
mică 1...7 zile	0,26	0,21	0,43	0,31
medie 7...60 zile	0,23	0,21	0,32	0,30
mare > 60 zile	0,16	0,20	0,19	0,28

Pentru calculul elementelor utilizate în construcții civile și industriale STAS 10107/0-76 prevede următoarea relație pentru evaluarea valorii finale a deformației specifice din contracție:

$$\bar{\epsilon}_0 = k_3 k_4 k_c \epsilon_0 \quad (3.2)$$

unde: ϵ_0 este valoarea de bază a contracției și are valorile:

0,25 % - pentru betoane obișnuite, netratate termic

0,20 % - pentru betoane obișnuite, tratate termic

0,50 % - pentru betoane ușoare, netratate termic

0,40 % - pentru betoane ușoare, tratate termic

k_3 - coeficient ce ține cont de influența umidității relative a mediului ambiant și are valorile:

1,3 - pentru umiditate relativă de 40%

1,0 - pentru umiditate relativă de 60%

0,5 - pentru umiditate relativă de 100%

k_4 - coeficient ce ține cont de dimensiunea minimă a elementului b și are valorile:

1,0 pentru $b \geq 30$ cm

1,3 - 0,01 b pentru $b < 30$ cm

k_c - coeficient ce ține cont de modul de realizare al elementului, fiind 0,8 pentru elementele precomprimate cu armătură preîntinsă și 0,6 pentru cele cu armătură postîntinsă.

Relația (3.2) este prevăzută și de proiectul de STAS 10107/0-83 ca procedeu simplificat.

Valoarea contracției la un timp t este:

$$\epsilon_{ot} = K_t \bar{\epsilon}_0 \quad (3.3)$$

utilizând pentru coeficientul K_t valorile din tabelul 3.3. /110/ în lipsa unor precizări în /108/ și /109/.

Pentru un calcul detaliat proiectul de STAS 10107/0-83 prevede relația (3.1), introducând numai modificări de notații.

Pentru calculul suprastructurilor de poduri STAS 10111/2-77 precum și revizuirea acestuia /111/ prevăd următoarea relație pentru evaluarea valorii finale a deformației specifice din contracție:

$$\bar{\epsilon}_c = K_b' K_p K_R \epsilon_\infty \quad (3.4)$$

unde: ϵ_∞ este deformația finală normată și are valorile:

0,10 (0,15) - pentru beton cu răspîndire maximă de 42(50) cm dispus în aer umed saturat, deasupra apei

0,25 (0,37) - pentru beton cu aceleași răspîndiri dispus în aer liber

0,40 (0,60) - pentru beton cu aceleași răspîndiri dispus în aer uscat, în spații închise.

K_b^* - coeficient care ține cont de dimensiunea minimă a elementului b și are valorile:

1,25 pentru $b \leq 20$ cm

1,0 pentru $21 < b \leq 75$ cm

0,75 pentru $b > 76$ cm

K_p - coeficient ce ține cont de tipul armăturii preten-sionate și anume: 1,0 pentru armături preîntinse și 0,6 pentru cele postîntinse;

K_R - coeficient avînd valoarea 1,0 pentru armături preîntin-se și conform tabelului 3.5 pentru armături postîntinse.

Valoarea contracției la un timp t este dată de relația (3.3), coeficientul K_t determinîndu-se din tabelul 3.3.

Tabelul 3.3.

Coeficientul K_t						Toate relațiile de calcul țin cont de influența principa-lilor factorii ce influențează contracția, existînd diferențe numai în modul de apreciere a ponderii și a felului în care se ține cont de influența acestor factori.
t (zile)	2	10	20	30	45	
K_t	0,0	0,20	0,25	0,30	0,35	
t (zile)	60	90	180	360	1000	
K_t	0,40	0,50	0,60	0,80	1,0	

Noile norme românești, pentru calculul elementelor de construcții civile și industriale, sînt aliniate la Recomandările C&B - FIP, care la ora actuală reflectă cel mai corect, din punct de vedere cantitativ, fenomenul contracției.

După cum s-a arătat la punctul 3.1, elementele compuse trec prin două etape, fiecare fiind caracterizată prin consumarea unei anumite părți din contracție.

Notînd în continuare cu $\bar{\epsilon}_{(cp)}$ valoarea finală a contracției betonului precomprimat și cu $\bar{\epsilon}_{(ca)}$ valoarea finală a contracției betonului armat, indiferent de modul de calcul a acestor valori, deformațiile specifice ce se consumă în cele două etape, indiferent de legea matematică de variație în timp, sînt (Fig.3.12):

- etapa I: în betonul precomprimat $\epsilon_{(op)}^I = \bar{\epsilon}_{(cp)}$

în betonul armat $\epsilon_{(ca)}^I = \bar{\epsilon}_{(ca)}$

- etapa II: în betonul precomprimat $\epsilon_{(op)}^{II} = \bar{\epsilon}_{(op)} - \bar{\epsilon}_{(cp)}$

în betonul armat $\epsilon_{(ca)}^{II} = \bar{\epsilon}_{(ca)} - \bar{\epsilon}_{(ca)}$

Deformația specifică $\epsilon_{(ca)}^I$ nu afectează starea de eforturi unitare deoarece încă nu s-a realizat secțiunea compusă.

În figura 3.24 c se prezintă deformațiile specifice $\epsilon_{(cp)}^{II}$

și $\epsilon_{(ca)}^{II}$, în ipoteza că ele se pot dezvolta liber. Inegalitatea acestor două deformații specifice va introduce starea suplimentară de eforturi unitare.

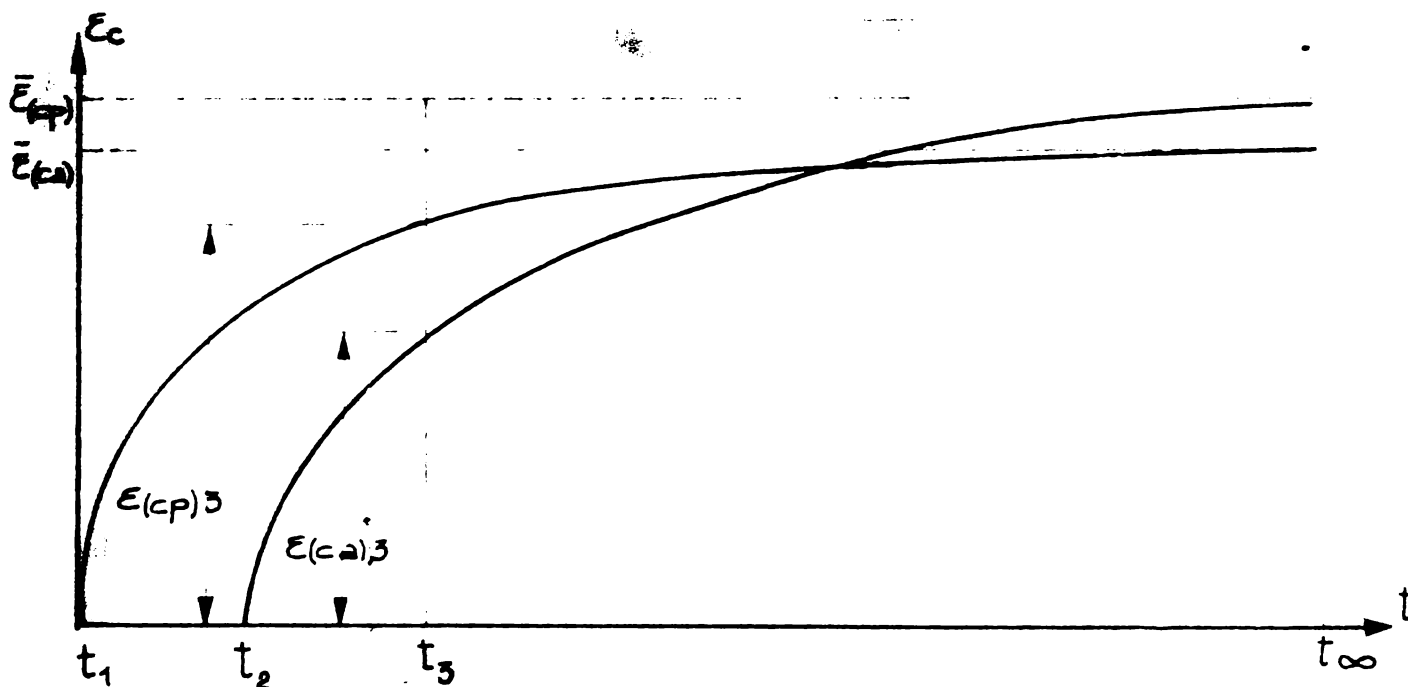


Fig. 3.12 DEZVOLTAREA DEFORMAȚIEI SPECIFICE DIN CONTRACȚIE

tor două deformații specifice va introduce starea suplimentară de eforturi unitare.

3.2.1.2. Dezvoltarea deformațiilor specifice din curgerea lentă

Mărimea deformației din curgere lentă depinde, în principiu, de aceeași factori ca și contracția. În plus ea mai depinde și de mărimea efortului unitar din beton precum și de vârsta betonului în momentul aplicării încărcării.

Efectul curgerii lente este prins în calcule prin caracteristica curgerii lente:

$$\varphi = \frac{\epsilon_{01}}{\epsilon_e}$$

unde: ϵ_e este deformația specifică elastică ce apare în momentul aplicării încărcării de lungă durată;

ϵ_{01} - deformația specifică de curgere lentă;

Pentru exprimarea variației în timp a curgerii lente există mai multe teorii dintre care se rețin: teoria îmbătrînirii, teoria eredității elastice și teoria mixtă.

Teoria îmbătrînirii se bazează pe ipoteza că prin creșterea vârstei betonului în momentul încărcării valoarea finală a curgerii lente scade. Whitney a constatat, pentru prima dată, para-

leliamul pe verticală a curbelor pentru încărcări egale aplicate la timpi diferiți (Fig.3.13 a).

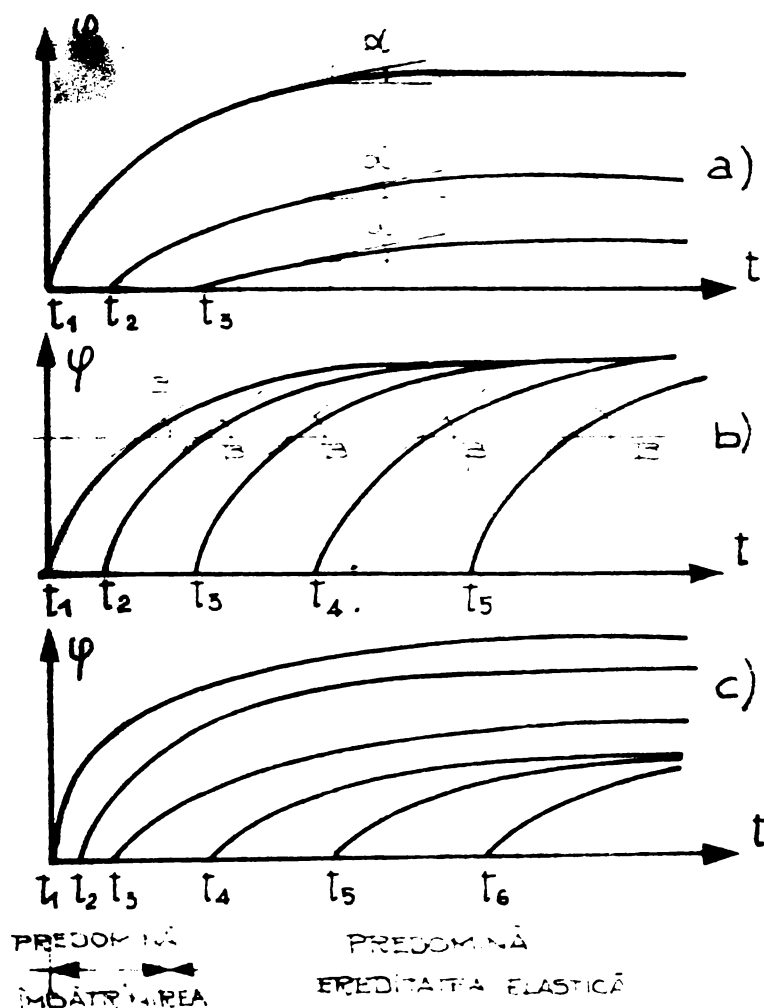


Fig.3.13 VARIATIA ÎN TIMP A CURGERII LENTE

cate la timpi diferiți (Fig.3.13.b).

In acest caz legea de variație pentru încărcarea aplicată la timpul τ_i este:

$$\varphi(t, \tau_i) = \varphi(t - \tau_i, \tau_1)$$

Teoria mixtă ține cont de îmbătrânirea mai pronunțată în primul interval de timp cât și de ereditatea elastică (Fig.3.13.c).

In acest caz funcția $\varphi(t, \tau_i)$ este complexă și nu se poate deduce din $\varphi(t, \tau_1)$.

S-a constatat experimental că teoria îmbătrînirii corespunde încărcărilor aplicate la vârste mici ale betonului pînă la maximum 60 zile /46/, așa cum se poate aprecia că se întîmplă în realitate, iar teoria eredității elastice corespunde încărcărilor aplicate betonelor bătrîne.

Teoria îmbătrînirii este acceptată în prezent în marea majoritate a relațiilor ce exprimă legea de variație a curgerii lente.

Variația în timp a curgerii lente este legată și de variația efortului unitar în beton. Pentru cazurile curente (curgere lentă

Cunoscînd curba principală a curgerii lente $\varphi(t, \tau_1)$, această ipoteză permite obținerea curbei pentru o încărcare aplicată la timpul τ_i cu relația:

$$\varphi(t, \tau_i) = \varphi(t, \tau_1) - \varphi(\tau_1, \tau_i)$$

unde: t este timpul cînd se dorește cunoașterea lui φ ;

τ_1 - timpul cînd s-a aplicat prima încărcare

τ_i - timpul cînd s-a aplicat încărcarea i .

Teoria eredității se bazează pe ipoteza că, independent de momentul încărcării, legea de dezvoltare a curgerii lente rămîne aceeași și valoarea finală rămîne constantă. Se constată o deplasare pe orizontală a curbelor pentru încărcări egale apli-

liniară) se admite principiul suprapunerii efectelor /49/, /112/ și pentru deformațiile din curgerea lentă a betonului.

Evaluarea caracteristicii curgerii lente

Pentru evaluarea caracteristicii finale a curgerii lente Cestelli Guidi recomandă procedura prevăzută de Recomandările CEB-FIP 1970, iar în lipsa unor date inițiale, care să permită utilizarea acestor recomandări, acceptă valoarea 2,0.

Pentru determinarea orientativă a caracteristicii finale a curgerii lente Ghibsman recomandă utilizarea nomogramei lui Ulițki /46/ (Fig.3.14).

Caracteristica curgerii lente la timpul t se determină cu relația:

$$\varphi_t = \varphi_{fin}(1 - e^{-\beta t})$$

cînd încărcarea se aplică la o vîrstă redusă, respectiv:

$$\varphi_t = 0,25 \varphi_{fin}(1 - e^{-\beta t})$$

cînd încărcarea se aplică la o vîrstă înaintată.

Pentru coeficientul β Dischinger recomandă, pentru scopuri practice, valoarea 1,0, iar Kiziria 1,5.

Ca valori de bază pentru caracteristica finală a curgerii lente, în condiții standard, Branson /86/ propune valoarea:

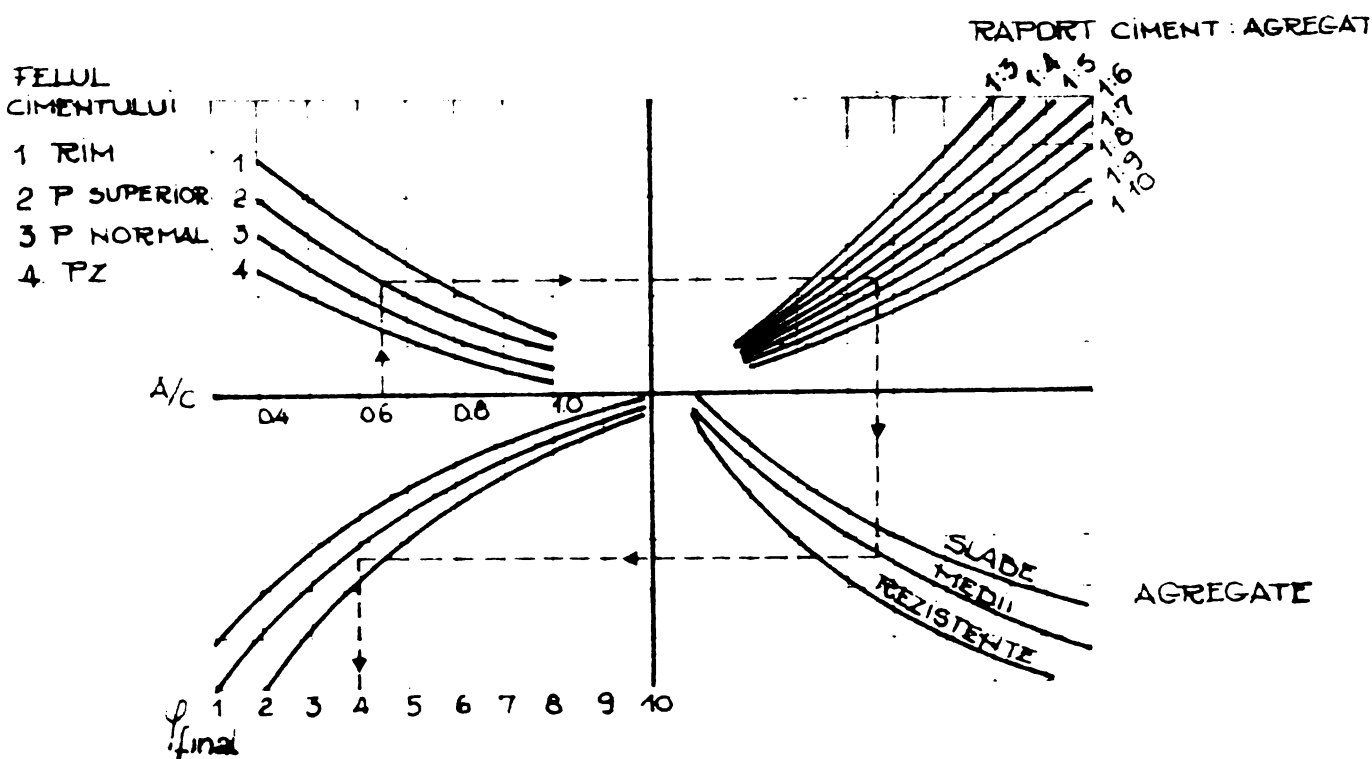


Fig. 3.14 NOMOGRAMĂ PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICII FINALE A CURGERII LENTE

maximă $C_u = 4,15$; medie $C_u = 2,35$; minimă $C_u = 1,30$.

Condițiile standard fiind aceleași ca la contracție.

Pentru umidități relative ale mediului ambiant $H > 40\%$ se introduce coeficientul de corecție:

$$(C.F.)_H = 1,27 - 0,0067 H$$

Pentru elemente cu grosimi $T > 15$ cm se introduce coeficientul de corecție:

$$(C.F.)_T = 1,1 - 0,007 T$$

Pentru grosimi $T < 15$ cm se indică utilizarea coeficienților prevăzuți de Recomandările CEB - FIP 1970.

Cînd grosimea elementului depășește 30...40 cm se recomandă să se țină cont și de volumul specific al acestuia V/S , atunci cînd $V/S \geq 3,8$ cm. Introducerea acestei influențe se face prin coeficientul de corecție:

$$(C.F.)_{V/S} = 1,12 - 0,031 V/S$$

Pentru stabilirea caracteristicii curgerii lente la un timp t mai mare decît 7 zile, pentru betonul întărit în condiții normale, respectiv pentru t mai mare decît o zi, pentru betonul tratat termic, se folosește relația:

$$C_t = \frac{t^{0,6}}{10 + t^{0,6}} C_u$$

Ca și în cazul contracției această procedură este acceptată de ACI Committee 209.

Codul Model CEB - FIP /112/ prevede pentru calculul caracteristicii curgerii lente relația:

$$\varphi(t, t_0) = \beta_a(t_0) + \varphi_d \beta_d(t - t_0) + \varphi_f [\beta_f(t) - \beta_f(t_0)] \quad (3.5)$$

unde: t este vîrsta betonului în momentul considerat;

t_0 - vîrsta betonului în momentul aplicării încălzirii;

β_a - funcție ce ține cont de raportul dintre rezistența la compresiune pe cub la t_0 și rezistența finală (Fig.3.15);

φ_d - coeficient al componentei reversibile egal cu 0,4;

$\varphi_f = \varphi_{f1} \cdot \varphi_{f2}$ - coeficient al componentei ireversibile;

φ_{f1} - coeficient ce depinde de mediul ambiant și are valorile: 1,0 atmosferă foarte umedă (umiditate 90%); 2,0 mediu exterior, în general (umiditate 70%); 3,0 atmosferă foarte uscată (umiditate 40%).

φ_{f2} - coeficient ce depinde de grosimea fictivă h_0 a elementului (Fig.3.16).

β_d - funcție ce corespunde dezvoltării în timp a componentei reversibile a curgerii lente (Fig.3.17).

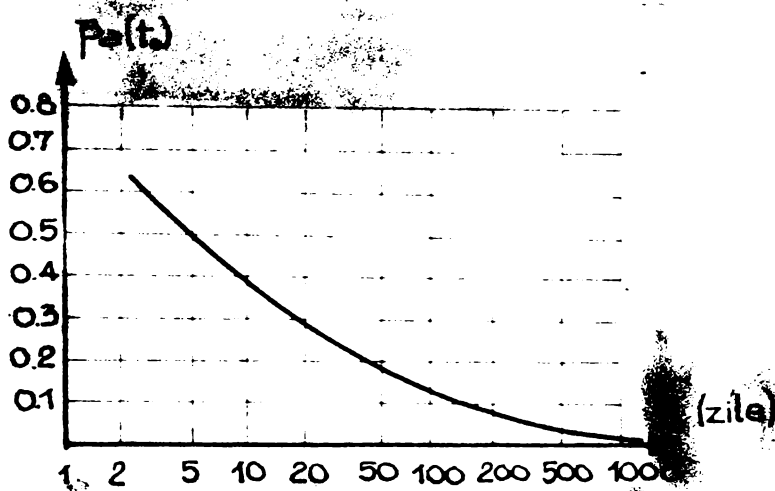


Fig. 3.15 VARIATIA COEFICIENTULUI $\beta_a(t)$

β_f - funcție ce corespunde dezvoltării în timp a componentei ireversibile a curgerii lente și care depinde de grosimea fictivă h_0 (Fig. 3.18).

Valorile t și t_0 se vor corecta dacă este necesar ca și în cazul contracției.

Valoarea finală a caracteristicii curgerii lente,

pentru încărcările aplicate la timpul t_0 , se obține luând $t = t_\infty \geq 10000$ zile și acceptînd, pentru cazurile curente, $t - t_0 = t_\infty - t_0 \geq 10000$ zile:

$$\varphi(t_\infty, t_0) = 0,4 + \beta_a(t_0) + \varphi_f [1 - \beta_f(t_0)] \quad (3.5')$$

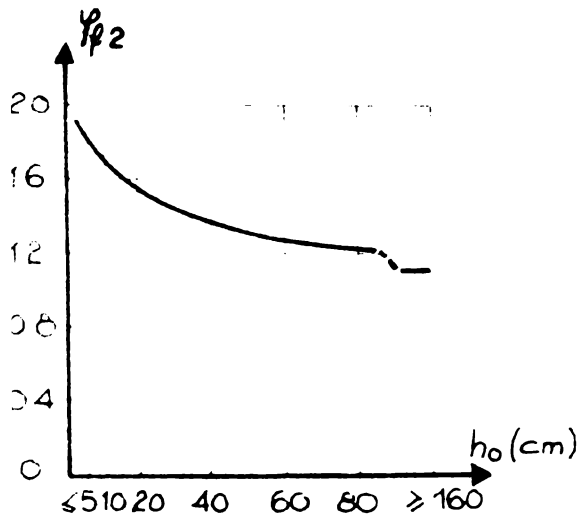


Fig. 3.16. INFLUENȚA GROSIMII FICTIVE AȘUPRA CURGERII LENTE

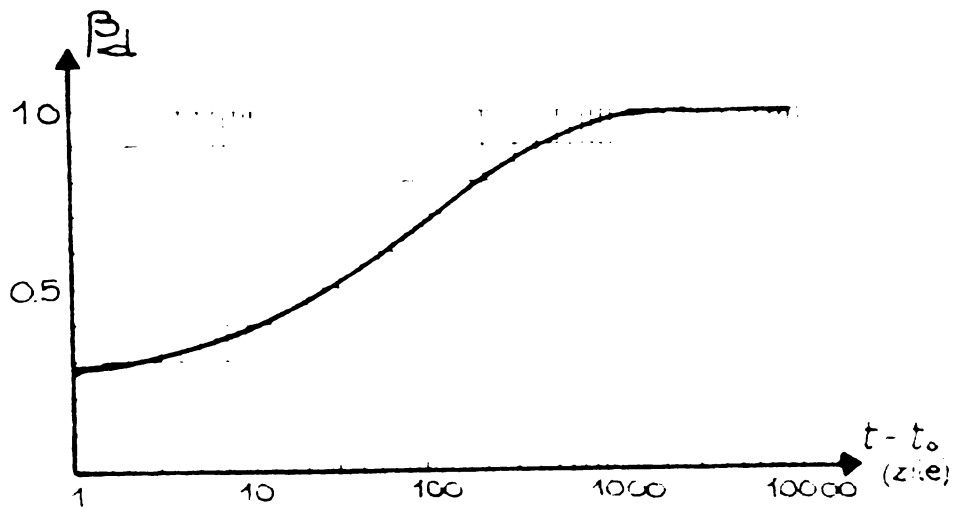


Fig. 3.17. DEZVOLTAREA ÎN TIMP A COMPONENTEI REVERSIBILE A CURGERII LENTE

Pentru cazurile cînd nu se cere o precizie deosebită Codul Model admite valorile finale $\varphi(t_\infty, t_0)$ ale caracteristicii curgerii lente prezentate în tabelul 3.4.

Pentru calculul elementelor utilizate în construcții civile și industriale STAS 10107/0-76 prevede următoarea relație pentru evaluarea caracteristicii finale a curgerii lente:

$$\bar{\varphi} = k_1 k_2 k_3 \varphi_0 \quad (3.6)$$

unde: φ_0 este caracteristica de bază a curgerii lente ea avînd, pentru betoanele utilizate în mod curent la realizarea elementelor compuse, următoarele valori: 2,8 pentru B 300; 2,7 pentru B 400; 2,6 pentru

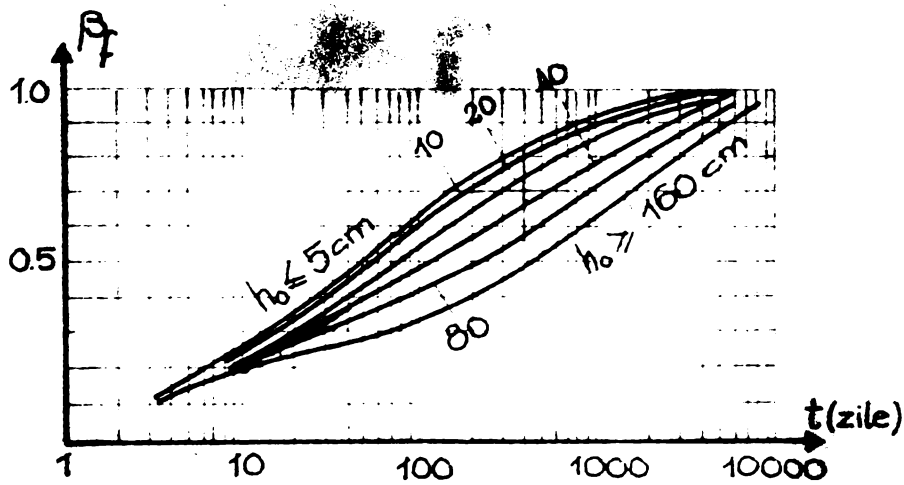


Fig. 3.15. DEZYONAREA ÎN TIMP A COMPONENTEI IREVERSIBILE A CURGERII LENTE

B 500; 2,5 pentru B 600;
 k_1 - coeficient de maturitate al betonului (Tabelul 3.5);
 k_2 - coeficient pentru gradul de solicitare al betonului și este egal cu:

$$\begin{cases} 1,0 & \text{pentru } \sigma_b/R_{bo} \leq 0,5 \\ 2\sigma_b/R_{bo} & \text{pentru } \sigma_b/R_{bo} > 0,5 \end{cases}$$

 k_3 - are aceeași semnificație și aceleași valori ca în cazul contracției.

Tabelul 3.4

Valorile finale ale caracteristicii curgerii lente (t_∞, t_0)

Umiditatea relativă a mediului	75% atmosferă umedă, exterior		55% atmosferă uscată, interior		
	mică $h_0 \leq 20$ cm	mare $h_0 > 60$ cm	mică $h_0 \leq 20$ cm	mare $h_0 > 60$ cm	
Vârsta t_0 a betonului când se aplică încărcarea	mică 3..7 zile	2.7	2.1	3.8	2.9
	medie 7..6 zile	2.2	1.9	3.0	2.5
	mare > 60 zile	1.4	1.7	1.7	2.0

Relația (3.6) este prevăzută și de proiectul de STAS 10107/0-83 ca procedeu simplificat.

Valoarea caracteristicii curgerii lente la un timp t este:

$$\varphi_t = k_{\bar{\varphi}} \bar{\varphi} \quad (3.7)$$

utilizând pentru coeficientul $k_{\bar{\varphi}}$ valorile din tabelul 3.6.

Pentru un calcul detaliat al caracteristicii curgerii lente proiectul de STAS 10107/0-83 prevede relația (3.5) introducând numai modificări de notații.

Pentru calculul suprastructurilor de poduri STAS 10111/2-77 precum și revizuirea acestuia prevăd următoarea relație pentru evaluarea caracteristicii finale a curgerii lente:

Tabelul 3.5

Coefficientul de maturitate al betonului

Durata în zile de la turnarea betonului pînă la aplicarea în- cărcărilor	$\frac{R_{b0}}{R_b}$	Coefficienții de maturitate	
		pentru construcții civile și indus- triale k_1	pentru suprastruc- turi de poduri K_R
1....28	0,6	1,3	1,5
	0,7	interpolare liniară	1,4
	0,8		1,25
	0,9		1,15
	1,0	1,0	1,0
28		1,0	1,0
45			0,9
60		0,7	0,85
90		0,6	0,75
120		0,55	
180		0,5	0,65
360		0,5	0,6

Tabelul 3.6

Coefficientul $k_{\bar{\varphi}}$

Durata în zile de la aplicarea încărcării	2	10	20	30	45
$k_{\bar{\varphi}}$	0,10	0,33	0,37	0,40	0,43
Durata în zile de la aplicarea încărcării	60	90	180	360	1080
$k_{\bar{\varphi}}$	0,46	0,50	0,60	0,80	1,0

$$\bar{\varphi} = K_b K_R \varphi_{\infty} \quad (3.3)$$

unde: φ_{∞} este caracteristica normată a curgerii lente finale și are valorile:

1,5 (2,2) pentru beton cu răspîndire maximă de 42 (50) cm dispus în aer umed saturat, deasupra apei

2,0 (3,0) pentru beton cu răspîndire maximă de 42 (50) cm dispus în aer liber

3,0 (4,5) pentru beton cu răspîndire maximă de 42 (50) cm dispus în aer uscat, în spații închise

K_b - coeficient care ține cont de dimensiunea minimă a elementului b și are valorile:

1,0 pentru $b \leq 75$ cm

0,9 pentru $76 \leq b \leq 150$ cm

0,8 pentru $b > 151$ cm

K_R - coeficient care ține cont de maturitatea betonului (Tabelul 3.5).

Valoarea curgerii lente la un timp t este:

$$\varphi_t = K_t \bar{\varphi} \quad (3,9)$$

utilizând pentru K_t valorile din tabelul 3.3.

Relațiile pentru evaluarea caracteristicii finale a curgerii lente țin cont de principalii factori ce influențează curgerea lentă a betonului.

Procedura cea mai completă este cea propusă de Recomandările CEB - FIP, la care este aliniat și proiectul de standard pentru calculul elementelor de construcții civile și industriale.

Evaluarea deformației specifice din curgerea lentă

Pentru cazul când caracteristica curgerii lente se determină cu relația (3.5) Codul Model CEB-FIP prevede următoarea relație pentru calculul deformației specifice de curgere lentă:

$$\epsilon_{oc}(t, t_0) = \frac{\sigma(t) + \sigma(t_0)}{2E_{c28}} \varphi(t, t_0) \quad (3.10)$$

unde: $\sigma(t)$ și $\sigma(t_0)$ sînt eforturile unitare în beton la timpul t și t_0 ;

E_{c28} - modulul de elasticitate al betonului la 28 zile.

Relația (3.10) este acceptată, cu alte notații, și de proiectul de STAS 10107/0-83.

În cazul în care efortul unitar în beton nu variază decît puțin (pierderi de tensiune pentru elementele prevăzute cu armături reduse) Codul Model, ca de altfel și alți autori, acceptă următoarea relație de calcul a deformațiilor specifice din curgerea lentă la timpul t :

$$\epsilon_{clt} = \frac{\sigma_b}{E_b} \varphi_t \quad (3.11)$$

respectiv, pentru valoarea finală:

$$\bar{\epsilon}_{cl} = \frac{\sigma_b}{E_b} \bar{\varphi} \quad (3.12)$$

unde: σ_b este efortul unitar în beton produs de încărcările exterioare;

E_b = modulul de elasticitate al betonului, considerat constant în timp cu valoarea sa de la 28 zile.

În vederea evaluării deformațiilor specifice din curgere lentă în etapa I și II se acceptă pentru simplitate, forma (3.11) principiul suprapunerii efectelor și următoarele notații, indiferent de modul de calcul;

$\bar{\varphi}_{p1}$ - caracteristica finală a curgerii lente a betonului precomprimat pentru încărcările aplicate la timpul t_1 ;

$\varphi_{p1,j}$ - caracteristica curgerii lente a betonului precomprimat la timpul t_j , pentru încărcările aplicate la timpul t_1 ;

$\bar{\varphi}_a$ - caracteristica finală a curgerii lente a betonului armat (avînd în vedere faptul că în succesiunea fazelor prezentată la punctul 3.1 încărcările permanente ce pot produce curgerea lentă a betonului armat se aplică o singură dată nu s-a prevăzut indice de timp caracteristicii finale a betonului armat).

Deformațiile specifice din curgere lentă ce se consumă în cele două etape, indiferent de legea matematică de variație în timp, sînt (Fig.3.19):

- etapa I: în betonul precomprimat:

$$\varepsilon_{(clp)}^I = \frac{1}{E_{bp}} \left[\varphi_{p1,3} \sigma_{(bp)t1} + \varphi_{p2,3} \sigma_{(bp)t2} \right]$$

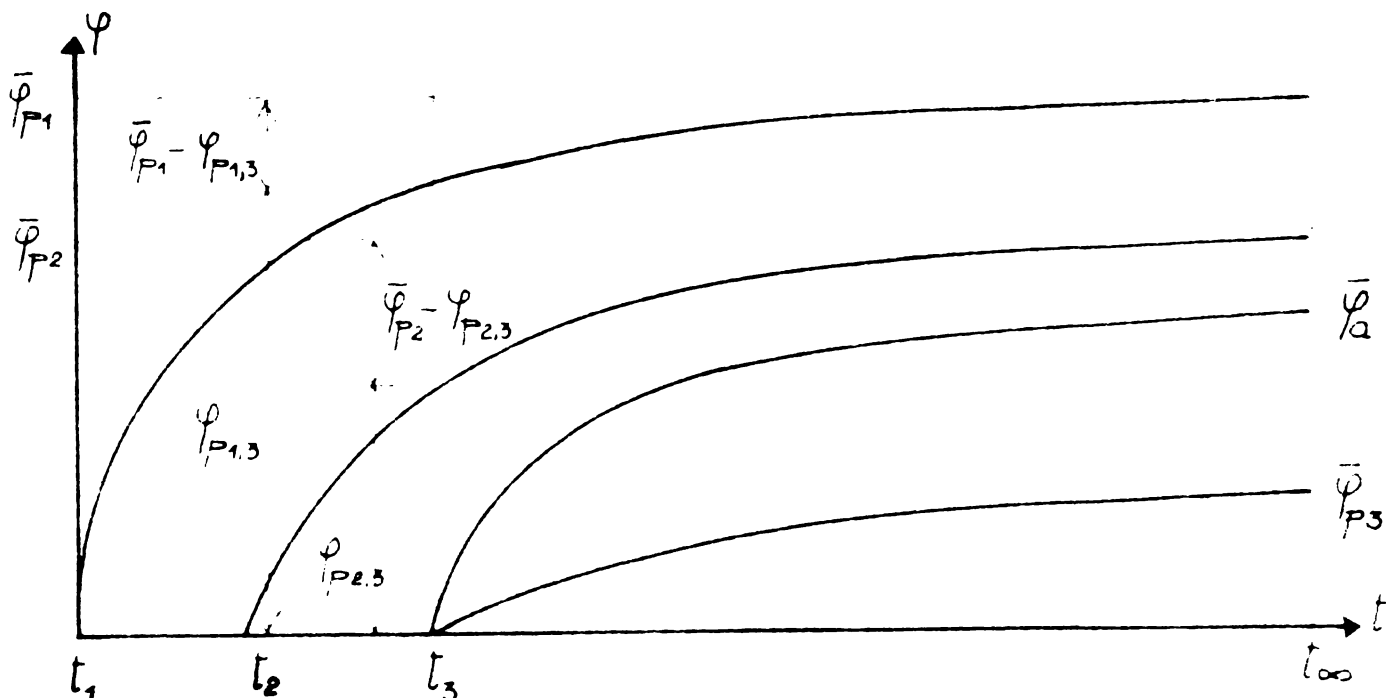


Fig 3.19 DEZVOLTAREA CURGERII LENTE

- în etapa II: în betonul precomprinat:

$$\varepsilon_{(clp)}^{II} = \frac{1}{E_{bp}} \left[(\bar{\varphi}_{p1} - \varphi_{p1,3}) \sigma_{(bp)t1} + (\bar{\varphi}_{p2} - \varphi_{p2,3}) \sigma_{(bp)t2} + \bar{\varphi}_{p3} \sigma_{(bp)t3} \right]$$

în betonul armat:

$$\varepsilon_{(cla)}^{II} = \frac{1}{E_{bp}} \bar{\varphi}_a \sigma_{(ba)t3}$$

unde: $\sigma_{(bp)t1}$, $\sigma_{(bp)t2}$ sînt eforturile unitare în betonul precomprinat, calculate pe secțiunea prefabricatului, sub încărcările aplicate la timpul t_1 , respectiv la timpul t_2 ;

$\sigma_{(bp)t3}$, $\sigma_{(ba)t3}$ - efortul unitar în betonul precomprinat, respectiv armat, calculat pe secțiunea compusă, sub încărcările aplicate la timpul t_3 ;

În figura 3.24 b. se prezintă deformațiile specifice $\varepsilon_{(clp)}^{II}$ și $\varepsilon_{(cla)}^{II}$, în ipoteza că ele se pot dezvolta liber. Inegalitatea celor două deformații specifice, la nivelul de contact dintre cele două tipuri de beton, va introduce starea suplimentară de eforturi unitare.

3.2.2. Metode pentru determinarea eforturilor unitare suplimentare din contracție și curgere lentă.

Codul Model CEB-FIP 1978 recomandă ca în cazul elementelor realizate din betoane cu calități diferite să se țină cont de diferențele ce există între deformațiile specifice de contracție și curgere lentă a betoanelor ce formează elementul și la evaluarea stării de eforturi unitare normale să se țină cont de eforturile suplimentare ce apar din cauza acestor diferențe.

Determinarea acestei stări suplimentare de eforturi unitare este laborioasă pentru motivele arătate la începutul punctului 3.2. O rezolvare relativ ușoară se poate face prin adaptarea metodei fibrelor conjugate a lui Busemann. O procedură mai condensată, demnită interacțiunea deformațiilor specifice, are la bază teoria eforturilor unitare inițiale.

3.2.2.1. Metoda fibrelor conjugate

Principiul metodei fibrelor conjugate

Metoda fibrelor conjugate, propusă de Busemann /26/, constă în înlocuirea secțiunii transversale reale cu două fibre fictive, de o anumită arie, dispuse la anumite distanțe față de centrul de greu-

tate al secțiunii. Pozițiile celor două fibre fictive, denumite fibre conjugate, se determină în așa fel încât deformațiile pe care le are una din fibre să nu se transmită și la cealaltă.

Dacă se cunosc deformațiile specifice și eforturile unitare în cele două fibre, pe baza ipotezei secțiunilor plane, se pot determina deformațiile specifice și eforturile unitare la orice nivel al secțiunii transversale (Fig.3.20).

Poziția celor două fibre conjugate k_1 și k_2 rezultă din condiția ca o forță axială aplicată la una din ele (de exemplu $N_{k_1}=1$) să nu producă efort unitar în cealaltă fibră. Ecuația care permite stabilirea acestei condiții este:

$$\frac{1}{A_b} - \frac{1 \cdot z_1 \cdot z_2}{I_b} = 0$$

pusă sub forma:

$$z_1 z_2 = \frac{I_b}{A_b} = i_b^2 \quad (3.13)$$

În mod similar se obține pentru armătura:

$$z_1' z_2' = \frac{I_a}{A_a} = i_a^2$$

De asemenea trebuie respectate condițiile geometrice:

$$z_1 + z_2 = z_1' + z_2'$$

$$z_2 - z_2' = y_{ba}$$

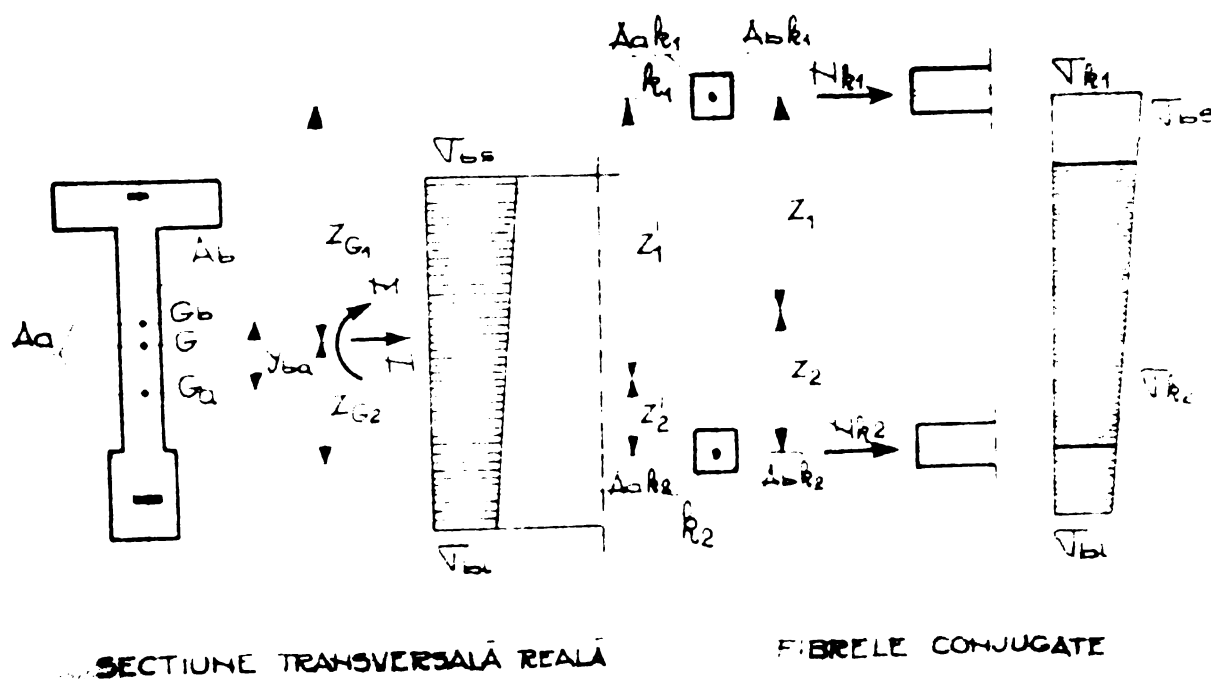


Fig. 3.20 POZIȚIA FIBRELOR CONJUGATE LA O SECȚIUNE DE BETON ARMAT

In final rezultă:

$$z_2 = \left[\pm (y_{ba}^2 - i_b^2 + i_a^2) + \sqrt{(y_{ba}^2 - i_b^2 + i_a^2)^2 + 4y_{ba}^2 i_b^2} \right] / 2y_{ba} \quad (3.14)$$

$$z_1 = \frac{i_b^2}{z_2} \quad (3.15)$$

In relația (3.14) se va lua semnul plus cînd G_b este situat mai sus decît G_a și invers.

Ariile fibrelor conjugate de beton se obțin din condiția ca efortul unitar din fibre conjugată, sub efectul forței axiale din fibra respectivă, determinat cu caracteristicile reale ale secțiunii transversale să fie egal cu efortul unitar determinat cu aria fibrei conjugate. Exprimînd această condiție pentru cele două fibre, se obține:

$$\frac{1}{A_b} + \frac{1 \cdot z_1^2}{I_b} = \frac{1}{A_{bk1}}$$

$$\frac{1}{A_b} + \frac{1 \cdot z_2^2}{I_b} = \frac{1}{A_{bk2}}$$

Luînd în considerare și relația (3.13), rezultă:

$$A_{bk1} = \frac{z_2}{z_1 + z_2} A_b$$

$$A_{bk2} = \frac{z_1}{z_1 + z_2} A_b$$

In mod analog se obține aria armăturii pentru cele două fibre conjugate:

$$A_{ak1} = \frac{z_2'}{z_1' + z_2'} A_a$$

$$A_{ak2} = \frac{z_1'}{z_1' + z_2'} A_a$$

Pentru o secțiune compusă beton precomprinat-beton armat, ca cea din figura 3.22, se obține:

$$A_{bpk1} = \frac{z_{p2}}{z_{p1} + z_{p2}} A_{bp}$$

$$A_{bpk2} = \frac{z_{p1}}{z_{p1} + z_{p2}} A_{bp}$$

$$A_{bak1} = \frac{z_{a2}}{z_{a1} + z_{a2}} A_{ba}$$

$$A_{bak2} = \frac{z_{a1}}{z_{a1} + z_{a2}} A_{ba}$$

unde: $A_{ba} = b_a h_a = n_b b_{real} h_a$ (vezi Fig.3.8)

In acest fel secțiunea compusă se transformă în două fibre compuse, cu cele două tipuri de beton dispuse coaxial, încărcate centric.

Eforturile care solicită secțiunea, momentul încovoietor M și forța axială N aplicată în centru de greutate al secțiunii G , se înlocuiesc cu forțele N_{k1} și N_{k2} aplicate în fibrele k_1 și k_2 (Fig. 3.20):

$$N_{k1} = \frac{NZ_{G2} + M}{Z_{G1} + Z_{G2}}$$

$$N_{k2} = \frac{NZ_{G1} - M}{Z_{G1} + Z_{G2}}$$

Modificarea eforturilor unitare datorită contracției și curgerii lente într-un element compus încărcat centric

Prin intermediul metodei fibrelor conjugate secțiunea compusă s-a transformat în două elemente compuse încărcate centric (Fig. 3.21).

Elementul compus beton precomprimat-beton armat este încărcat centric la timpul t_1 , cu forțe N ce acționează numai asupra betonului ^{pre}comprimat, producând în acest beton efortul unitar

$\sigma_{(bp)} = N/A_{bpk}$. In momentul realizării conlucrării t_3 în betonul armat efortul unitar este $\sigma_{(ba)} = 0$.

Sub acțiunea contracției și curgerii lente, în intervalul de timp dt , forța axială N se va modifica cu $-dN_{c1}$, iar în betonul armat va apare forța $+dN_{c1}$.

Deformațiile specifice ale celor două tipuri de beton, datorate contracției și curgerii lente, vor fi:

- pentru betonul precomprimat:

$$\epsilon_{(bp)} = \frac{N}{E_{bp} A_{bpk}} d\varphi_{pi,t} + d\epsilon_{(cp)t} - \frac{dN_{c1}}{E_{bp} A_{bpk}} - \frac{N_{c1}}{E_{bp} A_{bpk}} d\varphi_{pi,t}$$

- pentru betonul armat:

$$\epsilon_{(ba)} = \frac{dN_{c1}}{E_{ba} A_{bak}} + \frac{N_{c1}}{E_{ba} A_{bak}} d\varphi_{a,t-t_3} + d\epsilon_{(ca)t}$$

Datorită conlucrării dintre cele două tipuri de beton, conlucrare realizată la timpul t_3 , cele două deformații specifice trebuie să fie egale. Din această egalare rezultă ecuația diferențială:

$$\frac{dN_{cl}}{dt} + \left[B \frac{d\varphi_{pi,t}}{dt} + (1-B) \frac{d\varphi_{a,t-t_3}}{dt} \right] N_{cl} + E_{bp} A_{bpk} B \left(\frac{d\varepsilon_{(cp)t}}{dt} - \frac{d\varepsilon_{(ca)t}}{dt} \right) - B \left(\frac{dN_{cl}}{dt} + N_{cl} \frac{d\varphi_{pi,t}}{dt} \right) = 0$$

Rezolvarea acestei ecuații pentru $t = t_3$ conduce la relația:

$$N_{cl} = NB \exp \left[-B\varphi_{pi,t} + (1-B)\varphi_{a,t-t_3} \right] \int_{t_3}^t \frac{d\varphi_{pi,t}}{dt} \exp \left[B\varphi_{pi,t} + (1-B)\varphi_{a,t-t_3} \right] dt + E_{bp} A_{bpk} \exp \left[-B\varphi_{pi,t} - (1-B)\varphi_{a,t-t_3} \right] \int_{t_3}^t \left(\frac{d\varepsilon_{(cp)t}}{dt} - \frac{d\varepsilon_{(ca)t}}{dt} \right) \cdot \exp \left[B\varphi_{pi,t} + (1-B)\varphi_{a,t-t_3} \right] dt \quad (3.16)$$

unde:

$$B = \frac{1}{1 + \frac{1}{n_b \mu_{bk}}}$$

$$\mu_{bk} = \frac{A_{bak}}{A_{bpk}}$$

Modificarea eforturilor unitare din efectul curgerii lente

Pentru luarea în considerare numai a efectului curgerii lente în relația (3.16) se admite:

$$\frac{d\varepsilon_{(cp)t}}{dt} - \frac{d\varepsilon_{(ca)t}}{dt} = 0$$

iar relația (3.16) devine:

$$N_{cl} = NB \exp \left[-B\varphi_{pi,t} - (1-B)\varphi_{a,t-t_3} \right] \int_{t_3}^t \frac{d\varphi_{pi,t}}{dt} \exp \left[B\varphi_{pi,t} + (1-B)\varphi_{a,t-t_3} \right] dt \quad (3.17)$$

Pentru $t = t_\infty$ ecuația (3.17) devine:

$$\Pi_{cl} = \frac{\Pi}{1 + \frac{\bar{\varphi}_a}{\bar{\varphi}_{pi}} \frac{\lambda}{n_b/\mu_{bk}}} \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{\bar{\varphi}_{pi}}{1 + \frac{\lambda}{n_b/\mu_{bk}}} \left(1 + \frac{\bar{\varphi}_a}{\bar{\varphi}_{pi}} \frac{\lambda}{n_b/\mu_{bk}} \right) \right] \right\} \quad (3.17')$$

sau:

$$\Pi_{cl} = \Pi \bar{\theta} \quad (3.17'')$$

coeficientul $\bar{\theta}$ fiind intabulat in functie de $\bar{\varphi}_{pi}$, $\bar{\varphi}_a$ si n_b/μ_{bk} in /5/ si /46/.

Stinoscind valoarea Π_{cl} ce produce modificarea fortei Π , deci a eforturilor unitare, se pot calcula eforturile unitare ce rezultă in urma consumării curgerii lente. Acestea sînt:

- in betonul precomprinat:

$$\sigma_{(bp)}^{cl} = \frac{\Pi_{cl}}{A_{bpk}} = \sigma_{(bp)}^{(1-\bar{\theta})} \quad (3.18)$$

- in betonul arant

$$\sigma_{(ba)}^{cl} = \frac{\Pi_{cl}}{A_{bak}} = \frac{\Pi_{cl}}{A_{bpk}} \frac{A_{bpk}}{A_{bak}} = \frac{\sigma_{(bp)}}{\mu_{bk}} \bar{\theta} \quad (3.19)$$

Modificarea eforturilor unitare din efectul contractiei

Pentru luarea in considerare numai a efectului contractiei in relatie (3.16) se admite:

$$\dot{\Pi} = \frac{d\Pi}{dt} = 0$$

iar relatie (3.16) devine:

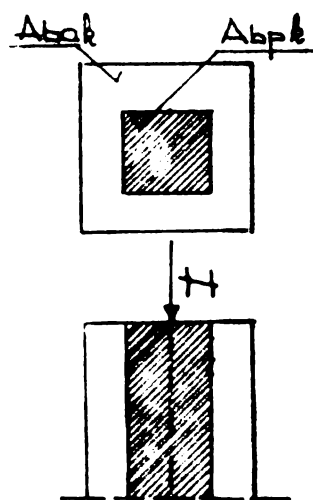


Fig. 3.21. ELEM. COMPUS ÎNCĂRCAT CENTRIC

$$\Pi_c = E_s \frac{A_{bpk}}{A_{bak}} \exp \left[-\beta \varphi_{pi,t} - (1-\beta) \varphi_{a,t-t_3} \right] \int_{t_3}^t \left(\frac{d\varepsilon_{(op)}'}{dt} - \frac{d\varepsilon_{(ba)}'}{dt} \right) dt \cdot \exp \left[\beta \varphi_{pi,t} + (1-\beta) \varphi_{a,t-t_3} \right] dt \quad (3.20)$$

Pentru $t = t_\infty$ ecuația (3.20) se poate scrie sub forma:

$$\Pi_c = \varepsilon_{(op)}^{II} E_s \frac{A_{bpk}}{A_{bak}} \bar{\theta}'_0 - \varepsilon_{(ba)}^{II} E_s \frac{A_{bak}}{A_{bak}} \bar{\theta}'_0 \quad (3.21)$$

coeficienții $\bar{\theta}'_0$ și $\bar{\theta}'_0$ fiind intabulați in functie de n_b , μ_{bk} și $\bar{\varphi}_{conv} = \bar{\varphi}_{pi} + \bar{\varphi}_a/n_b/\mu_{bk}$ și de raportul dintre viteza de dezvoltare in timp a con-

tracției și aceea a curgerii lente.

Eforturile unitare ce apar din efectul contracției sînt:

- în betonul precomprinat:

$$\sigma_{(bp)}^c = - \varepsilon_{(cp)}^{II} E_{bp} \left(\bar{\theta}_c - \frac{\varepsilon_{(ca)}^{II}}{\varepsilon_{(cp)}^{II}} \bar{\theta}'_c \right) \quad (3.22)$$

- în betonul armat:

$$\sigma_{(ba)}^c = \frac{\varepsilon_{(cp)}^{II} E_{bp}}{\mu_{bk}} \left(\bar{\theta}_c - \frac{\varepsilon_{(ca)}^{II}}{\varepsilon_{(cp)}^{II}} \bar{\theta}'_c \right) \quad (3.23)$$

Modificarea eforturilor unitare datorită curgerii lente într-un element compus încovoiat

După cum se constată din figura 3.19 încărcările care produc curgerea lentă se aplică:

- la timpul t_1 și t_2 producînd curgerea lentă a betonului precomprinat;

- la timpul t_3 producînd curgere lentă atît în betonul precomprinat cît și în cel armat.

Modificarea eforturilor unitare din curgerea lentă se va face pentru fiecare $t_i (i=1...3)$ în parte și apoi se va face însumarea rezultatelor.

Efectul curgerii lente produse de încărcările aplicate la timpul t_1

Eforturile care se aplică la timpul t_1 sînt efortul de precomprimare din toroane N_{p1} și momentul încovoietor din greutatea proprie a elementului M_1 . Aceste solicitări se reduc în centrul de greutate al secțiunii precomprinate, apoi se repartizează celor două fibre conjugate și se determină starea de eforturi unitare (Fig.3.22):

$$\sigma_{(bp)k1} = \frac{N_{k1}}{A_{bpk1}} \quad \sigma_{(bp)k2} = \frac{M_{k2}}{A_{bpk2}}$$

Eforturile unitare, în centrele de greutate ale fibrelor conjugate, cu luarea în considerare a deformațiilor de curgere lentă sînt (Fig.3.22)

- în fibre k_1

- în betonul precomprinat $\sigma_{(bp)k1}^{cl} = (1 - \bar{\theta}_{k1}) \sigma_{(bp)k1}$

- în betonul armat $\sigma_{(ba)k1}^{cl} = \frac{\sigma_{(ba)k1}}{\mu_1} \theta_{k1}$

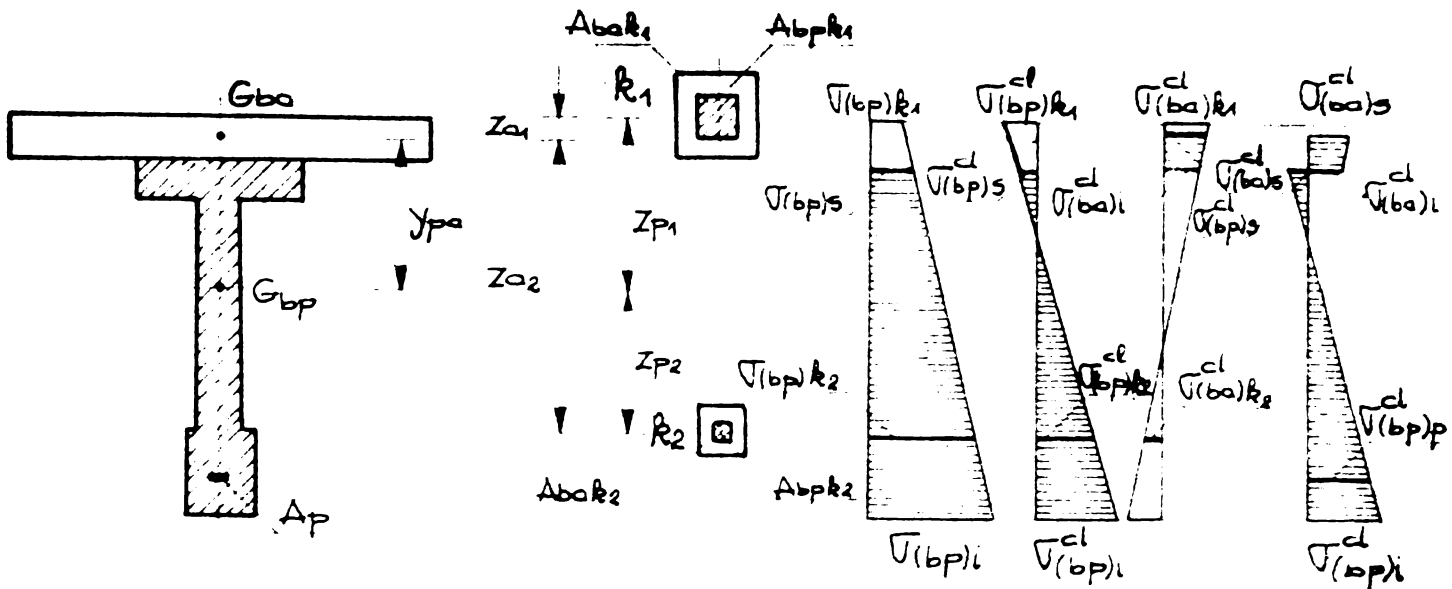


Fig. 3.22. INFLUENȚA CURGERII LENTE ASUPRA EFORTURILOR UNITARE APĂRUTE ÎNAINTE DE REALIZAREA CONLUCRĂRII

- în fibra k_2

- în betonul precomprimat $\sigma_{(bp)k_2}^{cl} = (1 - \bar{\theta}_{k_2}) \sigma_{(bp)k_2}$

- în betonul armat $\sigma_{(ba)k_2}^{cl} = \frac{\sigma_{(ba)k_2}}{\mu_2} \bar{\theta}_{k_2}$

unde: $\bar{\theta}_{k_1}, \bar{\theta}_{k_2}$ este coeficientul $\bar{\theta}$ din relația (3.17") calculat pentru cele două fibre conjugate;

$$\mu_1 = \mu_b \left(1 - \frac{y_{pa}}{z_{p2}} \right)$$

$$\mu_2 = \mu_b \left(1 + \frac{y_{pa}}{z_{p1}} \right)$$

Efectul curgerii lente produse de încărcările aplicate la timpul t_2 .

Eforturile unitare, ce produc curgerea lentă începînd cu timpul t_2 , sînt generate de momentul încovoietor din greutatea betonului armat. Procedura este identică ca și în cazul încărcărilor aplicate la timpul t_1

Efectul curgerii lente produse de încărcările aplicate la timpul t_3 .

Eforturile ce acționează la timpul t_3 sînt efortul de pre-comprimare din fasciolele N_{p2} (dacă se efectuează precomprimare în etape) și momentul încovoietor M_3 din diferite încărcări permanente,

aplicate după realizarea conlucrării. Aceste eforturi acționează pe secțiunea compusă. După reducerea lor în centrul de greutate al secțiunii compuse ele se repartizează celor două fibre conjugate.

Eforturile unitare, în fibrele conjugate sînt:

- în fibra k_1

$$\sigma_{(bp)k1} = \frac{M_{k1}}{A_{bpk1} + A_{bak1}}$$

$$\sigma_{(ba)k1} = n_b \sigma_{(bp)k1}$$

- în fibra k_2

$$\sigma_{(bp)k2} = \frac{M_{k2}}{A_{bpk2} + A_{bak2}}$$

$$\sigma_{(ba)k2} = n_b \sigma_{(bp)k2}$$

Se efectuează calculul considerînd încărcat numai betonul precomprimat cu $\sigma_{(bp)k1}$ și $\sigma_{(bp)k2}$ rezultînd $\sigma_{(bp)k1}^{cl'}$, $\sigma_{(bp)k2}^{cl'}$, $\sigma_{(ba)k1}^{cl'}$ și $\sigma_{(ba)k2}^{cl'}$ și se stabilește diagrama de eforturi unitare pe secțiunea transversală caracterizată prin $\sigma_{(bp)i}^{cl'}$, $\sigma_{(bp)s}^{cl'}$, $\sigma_{(ba)i}^{cl'}$ și $\sigma_{(ba)s}^{cl'}$.

Se efectuează calculul considerînd încărcat numai betonul armat cu $\sigma_{(ba)k1}$ și $\sigma_{(ba)k2}$ rezultînd $\sigma_{(bp)k1}^{cl''}$, $\sigma_{(bp)k2}^{cl''}$, $\sigma_{(ba)k1}^{cl''}$ și $\sigma_{(ba)k2}^{cl''}$ și se stabilește diagrama de eforturi unitare pe secțiunea transversală caracterizată prin eforturile unitare $\sigma_{(bp)i}^{cl''}$, $\sigma_{(bp)s}^{cl''}$, $\sigma_{(ba)i}^{cl''}$ și $\sigma_{(ba)s}^{cl''}$.

Diagrama de eforturi unitare pentru încărcările aplicate la timpul t_3 este caracterizată de:

$$\sigma_{(bp)i}^{cl} = \sigma_{(bp)i}^{cl'} + \sigma_{(bp)i}^{cl''} \quad \sigma_{(bp)s}^{cl} = \sigma_{(bp)s}^{cl'} + \sigma_{(bp)s}^{cl''}$$

$$\sigma_{(ba)i}^{cl} = \sigma_{(ba)i}^{cl'} + \sigma_{(bp)i}^{cl''} \quad \sigma_{(ba)s}^{cl} = \sigma_{(ba)s}^{cl'} + \sigma_{(ba)s}^{cl''}$$

Eforturi unitare datorită contracției într-un element omnis încovoiat

În vederea determinării eforturilor unitare din efectul contracției se utilizează relația (3.22) pentru calculul lui $\sigma_{(bp)k1}^c$ și $\sigma_{(bp)k2}^c$ precum și relația (3.23) pentru determinarea lui $\sigma_{(ba)k1}^c$ și $\sigma_{(ba)k2}^c$.

Cu ajutorul acestor valori se stabilește diagrama de eforturi unitare pe înălțimea secțiunii transversale (Fig. 3.23).

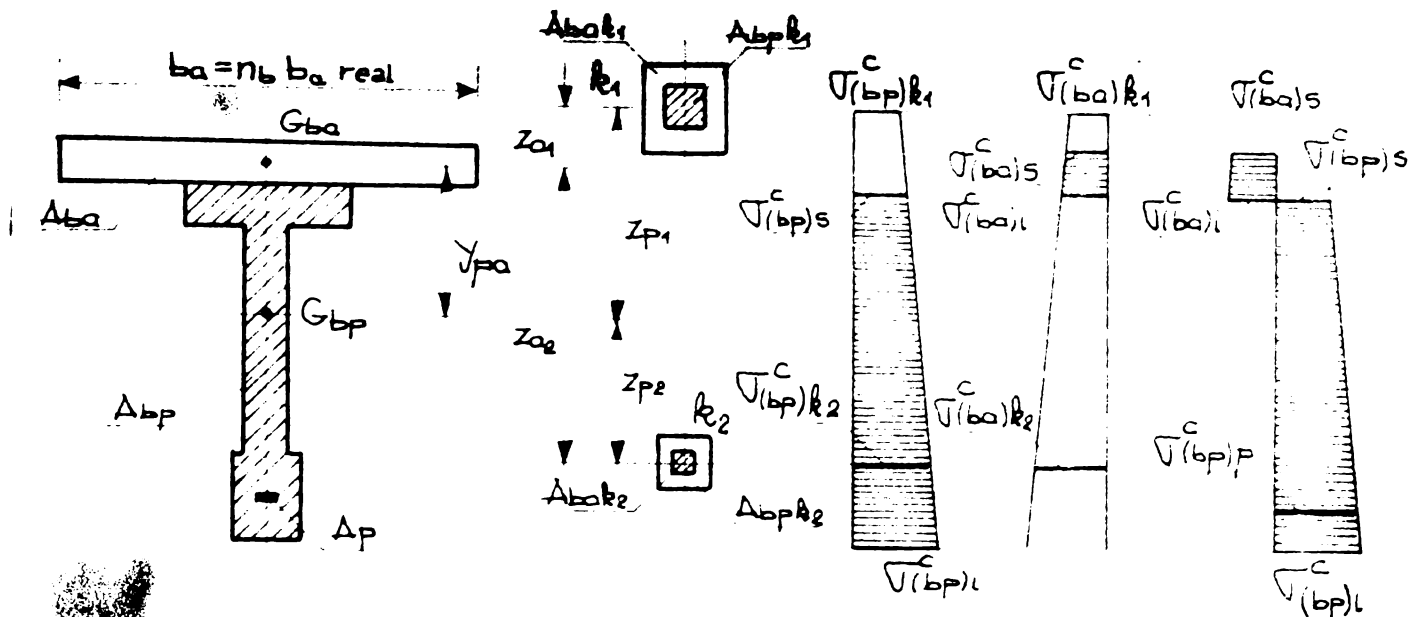


Fig. 3.23. EFORTURI UNITARE, DIN CONTRACȚIE, PE SECȚIUNEA COMPUSĂ

3.2.2.2. Metoda interacțiunii deformațiilor specifice.

Principiul teoriei eforturilor unitare inițiale

Teoria eforturilor unitare inițiale se poate aplica oricăror tipuri de deformații specifice inițiale (contractie, temperatură, precomprimare, etc) existente într-o secțiune de beton /4/.

Eforturile unitare inițiale apar deoarece fiecare fibră, paralelă cu axa barei, tinde să-și ia o deformație specifică proprie, diferită în fiecare punct al secțiunii.

Deformația specifică, inițială ϵ , numită și deformație liberă, este deformația care ar putea să se dezvolte liber. Secțiunile rămânând plane și după deformație, deformațiile specifice inițiale nu se pot dezvolta liber, deoarece fibrele sînt legate între ele, rezultînd astfel eforturile unitare inițiale σ^{INT} .

Eforturile unitare inițiale ^{produse} de deformațiile specifice inițiale, sînt în echilibru pe secțiunea transversală. Condițiile de echilibru sînt:

$$\int \sigma^{INT} dA = 0 \quad \int \sigma^{INT} y dA = 0 \quad (3.24-3.25)$$

Poziția centrului de greutate este dată de relația:

$$\int E y dA = 0 \quad (3.26)$$

Deformația unei fibre de lungime dl , aflată la distanța y de centrul de greutate al secțiunii, este ϵdl . Efortul unitar inițial modifică deformația fibrei cu $\sigma^{INT} dl/E$, astfel că deformația totală a fibrei va fi:

$$\Delta dl = (\varepsilon + \sigma^{INT}/E)dl \quad (3.27)$$

Secțiunea transversală suferă, prin deformare o translație ε_0 și o rotație $d\varphi$. Admițând ipoteza secțiunilor plane deformația totală a fibrei este:

$$\Delta dl = \varepsilon_0 dl + y d\varphi = (\varepsilon_0 + y\omega)dl \quad (3.28)$$

unde: ε_0 este deformația specifică în axa barei după deformare;

$\omega = d\varphi/dl$ - rotația specifică.

Egalând (3.27) cu (3.28) rezultă:

$$\sigma^{INT} = E(\varepsilon_0 + y\omega - \varepsilon) = E \varepsilon^{INT} \quad (3.29)$$

unde: $\varepsilon^{INT} = \varepsilon_0 + y\omega - \varepsilon$ este deformația specifică care generează eforturile σ^{INT} .

Deformația specifică care respectă ipoteza secțiunilor plane este: $\varepsilon^{plan} = \varepsilon_0 + y\omega$

Valorile ε_0 și ω se obțin înlocuind pe (3.29) în (3.24-3.25) și având în vedere (3.26) rezultă:

$$\varepsilon_0 = (\int \varepsilon E dA) / (\int E dA) \quad \omega = (\int \varepsilon E y dA) / (\int E y^2 dA) \quad (3.30-3.31)$$

sau:

$$\varepsilon_0 = N/E_{bp} A_{bi} \quad \omega = M/E_{bp} I_{bi} \quad (3.30'-3.31')$$

unde: $N = \int \varepsilon E dA$ este forța axială fictivă corespunzătoare deformațiilor specifice libere;

$M = \int \varepsilon E y dA$ - momentul forței N în raport cu centrul de greutate al secțiunii ideale.

Determinarea eforturilor unitare din interacțiunea deformațiilor specifice din curgerea lentă.

Deformațiile specifice din curgere lentă, ce vor produce interacțiunea, sînt cele care se dezvoltă în etapa II și anume $\varepsilon^{II}(clp)$ și $\varepsilon^{II}(cla)$. Rezultatul interacțiunii este prezentat în figura 3.24 b, eforturile unitare de interacțiune $\sigma_{(bp)}^{INTcl}$ și $\sigma_{(ba)}^{INTcl}$ se calculează cu relația (3.29).

Determinarea eforturilor unitare din interacțiunea deformațiilor specifice din contracție.

Deformațiile specifice din contracție, ce vor produce interacțiunea, sînt cele care se dezvoltă în etapa II și anume $\varepsilon^{II}(cp)$ și $\varepsilon^{II}(ca)$. Rezultatul interacțiunii este prezentat în figura 3.24 c., eforturile unitare de interacțiune $\sigma_{(bp)}^{INTc}$ și $\sigma_{(ba)}^{INTc}$ se calculează cu relația (3.29).

Comparînd metoda interacțiunii deformațiilor specifice cu

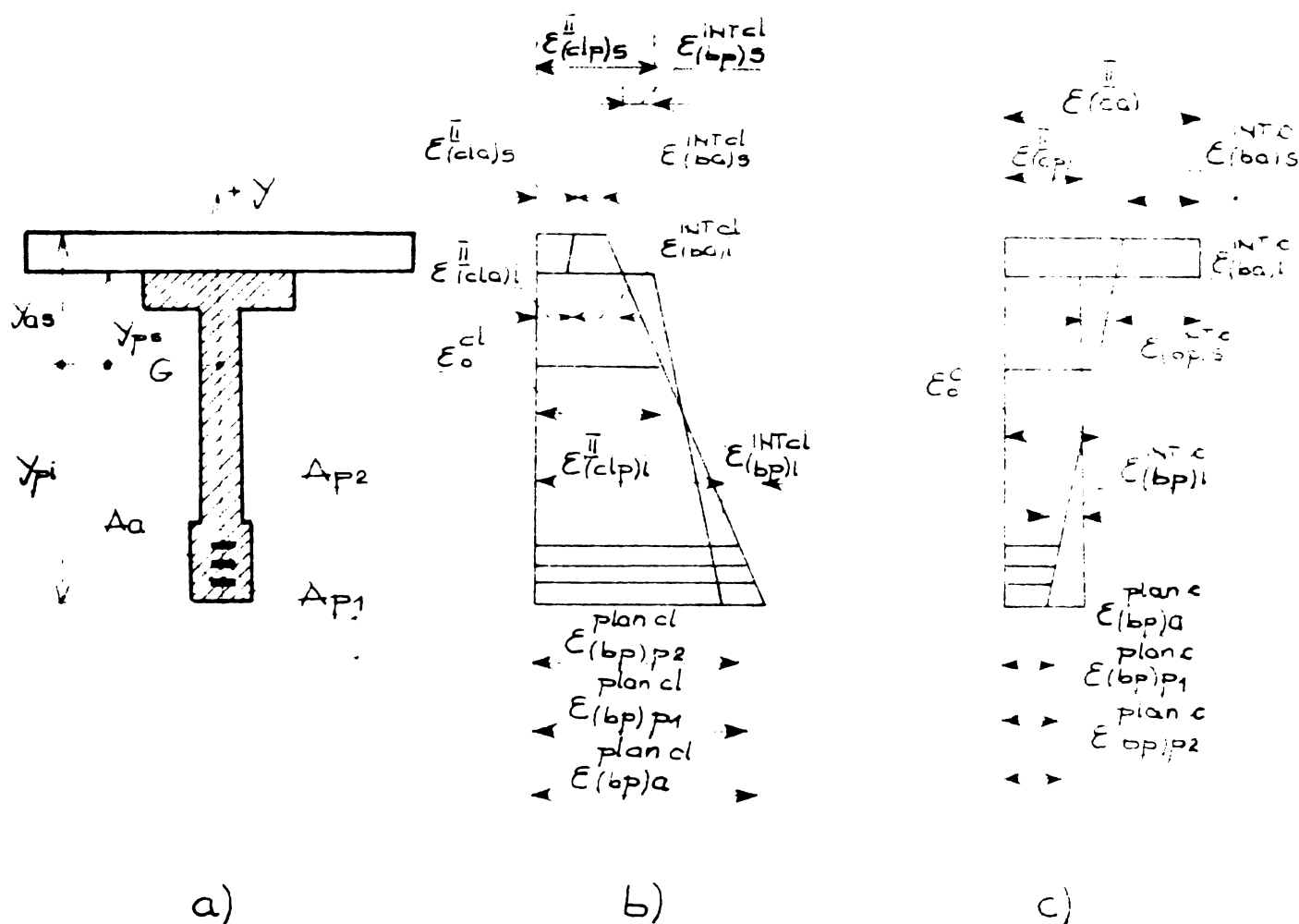


Fig. 3.24. INTERACȚIUNEA DEFORMĂȚILOR SPECIFICE DIN CONTRACȚIE ȘI CURGERE LENTĂ

metoda fibrelor conjugate se constată că dacă la ultima metodă calculele trebuiesc reluate de mai multe ori, în cazul primei metode calculele se efectuează o singură dată.

În cazul metodei interacțiunii deformațiilor specifice nu este necesar să se facă o corecție asupra contracției și curgerii lente, corecție necesară din cauza prezenței armăturii, deoarece de prezența acestei se ține cont, direct, în calcule.

3.3. Relatii și prevederi privind calculul elementelor compuse beton precomprinat - beton armat în stadiul de exploatare.

Determinarea eforturilor unitare, în stadiul de exploatare, în elementele compuse este dificilă din cauzele arătate la punctul 3.2. Dacă pentru determinarea eforturilor unitare în stadiul nefisurat există diferite procedee propuse, atunci pentru calculul eforturilor unitare în stadiul fisurat nu se fac nici un fel de aprecieri, deși la ora actuală se admite funcționarea cu zona întinsă fisurată.

Strelețki admite, pentru prinderea efectului contracției asupra stării de eforturi unitare, că betonul armat mai are de consumat

valoarea $\bar{\epsilon}_{bc} [1 - \exp(-\zeta t_0)]$, $\bar{\epsilon}_{bc}$ fiind valoarea finală a contracției betonului armat. Restul de contracție produce o forță de compresiune excentrică asupra secțiunii compuse.

Pentru calculul elementelor compuse Cestelli Guidi ia în considerare ipoteza că cele două tipuri de beton au proprietăți reologice identice /28/.

Pentru determinarea diagramei de eforturi unitare Cestelli Guidi determină eforturile unitare din pierderile de forță de precomprimare. Aceste eforturi unitare se scad din cele produse de încărcările exterioare și de efortul de precomprimare. Pierderile de efort de precomprimare (Fig.3.25) se calculează în funcție de pretensionarea în etape.

Pierderile de efort de precomprimare se calculează după cum urmează (Fig.3.25): ΔN_I din momentul primei precomprimări până în momentul realizării secțiunii compuse; acționează pe secțiunea elementului precomprimat; $\Delta N_I'$ are în vedere scurtarea elastică a betonului produsă de eventualele pretensionări ulterioare pe secțiunea compusă; acționează pe secțiunea compusă; ΔN_{II} din momentul realizării secțiunii compuse, avînd în vedere și eventuala precomprimare în etape.

Pentru luarea în considerare a efectului contracției betonului armat secțiunea compusă se încarcă cu o forță excentrică F_r , plasată în centrul de greutate al betonului armat, care are valoarea: $F_r = E_s B_s \eta$, η fiind diferența dintre contracțiile celor două betoane. Deoarece contracția betonului armat este împiedecată de betonul precomprimat, în betonul armat vor apărea întinderi (Fig.3.25).

Principala constatare care se poate face este faptul că nu

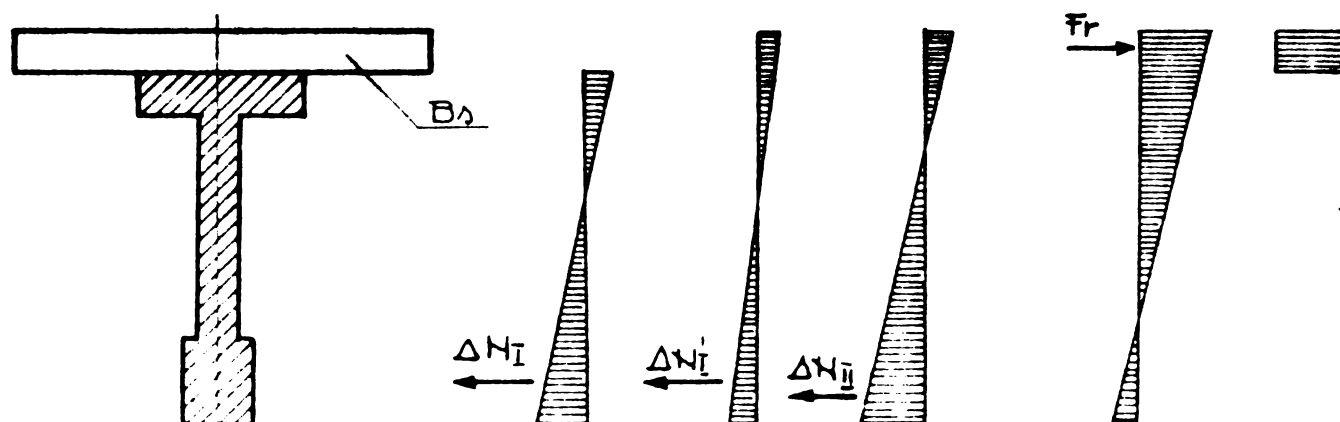


Fig. 3.25. EFORTURI UNITARE DIN PIERDERI DE FORȚĂ DE PRECOMPRIMARE

se ține cont de proprietățile reologice diferite ale celor două tipuri de beton, lucru important în evaluarea corectă a pierderilor de efort de precomprimare.

Pentru luarea în considerare a influenței curgerii lente a betonului asupra stării de eforturi unitare, cu luarea în considerare și a efectului armăturii, Ghibșman /46/ apelează la introducerea unui coeficient de corecție η_{cl} , care ține cont de influența armăturii asupra curgerii lente. Dacă centrul de greutate al armăturii coincide cu centrul de greutate al betonului, în care este înglobată, coeficientul de corecție se calculează cu relația:

$$\eta_{cl} = \theta_a / n_p \mu_p \bar{p} p_i$$

unde: θ_a este un coeficient intabulat în /62/;

$$\mu_p = A_p / A_{bp}$$

Dacă centrul de greutate al armăturii nu coincide cu centrul de greutate al betonului se folosește pentru calcul metoda fibrelor conjugate. Se determină coeficientul de corecție în dreptul fiecărei fibre conjugate apoi în dreptul centrului de greutate al secțiunii compuse ideale (Fig.3.26). Aria de armătură luată în considerare va cuprinde și armătura nepretensionată afectată de raportul E_a/E_p .

În continuare calculul se efectuează conform punctului

3.2.2.1. afectînd caracteristica curgerii lente cu coeficientul η_{cl} .

Pierderea de tensiune în armătura pretensionată se determină cu relația: $\Delta \sigma_{cl} = n_p \sigma_{(bp)p}^{cl}$ (pentru $\sigma_{(bp)p}^{cl}$ vezi figura 3.22). În mod similar se procedează pentru determinarea variației efortului în

armătura nepretensionată.

Pentru a ține cont de influența armăturii asupra contracției Ghibșman introduce un coeficient de corecție η_{contr} care se găsește intabulat /62/. Cu acest coeficient se afectează valorile $\epsilon_{(cp)}^{II}$ și $\epsilon_{(ca)}^{II}$ ce se introduc în

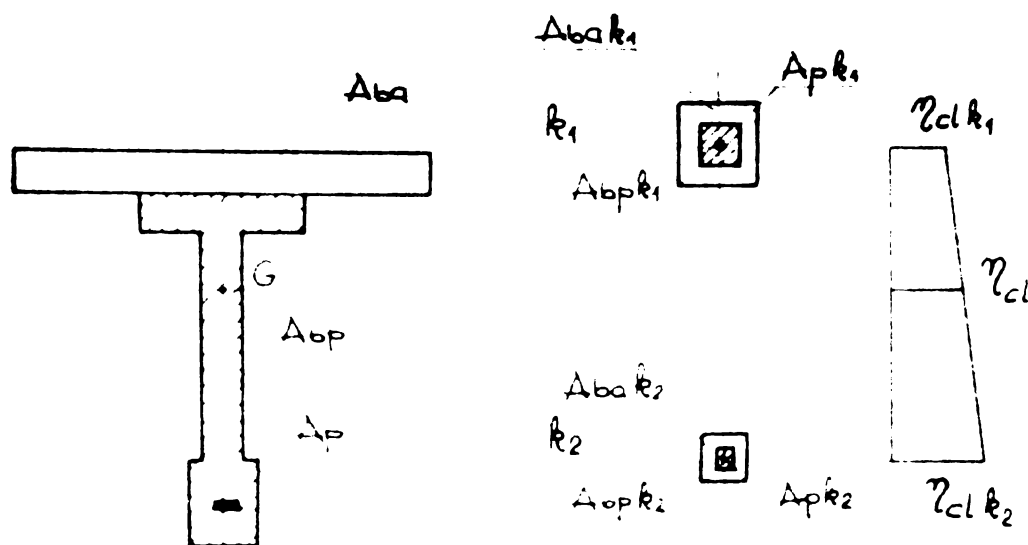


Fig. 3.26. DETERMINAREA COEFICIENTULUI η_{cl} LA SECȚIUNILE COMPUSE

relațiile (3.22 - 3.23).

Pierderea de tensiune în armătura pretensionată se determină cu relația (Fig.3.23): $\Delta \sigma_c = n_p \sigma_c^c (dp)_p$. În mod similar se procedează dacă în secțiune există armătură nepretensionată.

Metoda propusă de Ghibșman pentru luarea în considerare a influenței armăturii asupra curgerii lente și contracției, deși este aproximativă, primește efectele tuturor factorilor ce apar.

Pentru luarea în considerare a efectului contracției și curgerii lente Guyon /48/ ia în considerare deformațiile specifice ce apar ulterior realizării secțiunii compuse și anume (Fig.3.27):

- ε_1 și ε_1' - contracția și curgerea lentă în betonul pre-comprimat

- ε_2 - contracția betonului armat.

Elementul precomprimat primește o curbură suplimentară:

$$\rho = - \frac{\varepsilon_1' - \varepsilon_1}{h_1} = \left[\varphi(t+t_3) - \varphi(t_3) \right] \frac{M_0}{E_1 I_1}$$

unde: M_0 este momentul încovoietor produs de efortul inițial de pre-comprimare;

Pentru restabilirea coincidenței între cele două tipuri de beton, pe linia de contact, se introduc necunoscutele F și M . Ecuațiile de echilibru, în cazul grinzilor precomprimate cu placă din beton armat la partea superioară, sînt:

$$F \left[\frac{1}{E_1 S_1} \left(1 + \frac{v_1^2}{r_1^2} \right) + \frac{1}{E_2 S_2} \left(1 + \frac{v_2^2}{r_2^2} \right) \right] + M \left(\frac{v_1}{E_1 I_1} - \frac{v_2}{E_2 I_2} \right) = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \quad (3.32)$$

$$M \left(\frac{1}{E_1 I_1} + \frac{1}{E_2 I_2} \right) = \frac{\varepsilon_1' - \varepsilon_1}{h_1} \quad (3.33)$$

În urma unor simplificări rezultă $F = E_2 S_2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) / 4$, valoare ce permite determinarea eforturilor unitare în cele două elemente componente ale secțiunii compuse.

În luarea în considerare a influenței contracției și curgerii lente, asupra stării de eforturi unitare, Guyon nu ține cont de curgerea lentă a betonului armat. Evident procedeul descris poate fi aplicat și altor tipuri de secțiuni, unde simplificările anterioare nu pot fi admise, precum și cazurile cînd încărcările, care produc curgerea lentă, se aplică la diferiți timpi.

Branson /86/ ține cont de efectul contracției și curgerii

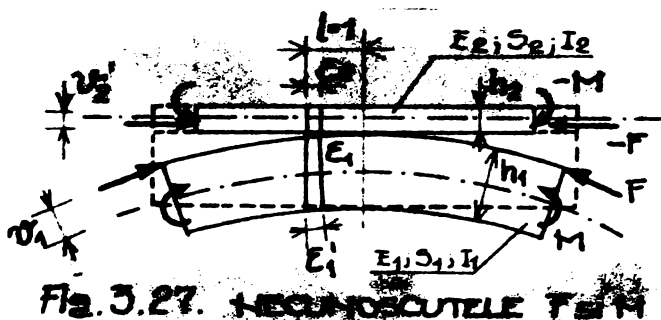


Fig. 3.27. TEHNOCUTELE F și M

lente pe două căi și anume:

- prin pierderea de tensiune din cauza diferenței de contracție și curgere lentă egală cu 1,5 % din efortul unitar de control;
- prin luarea în considerare a unei stări de eforturi unitare pro-

pusă de o forță plasată în centrul de greutate al betonului monolit; forța este produsă de diferența de deformații specifice (din contracție și curgere lentă) dintre cele două betoane (Fig.3.28); forța Q exercită o compresiune excentrică asupra secțiunii compuse și o întindere centrică asupra betonului armat.

Branson ia în considerare pentru ambele tipuri de betoane efectul contracției și curgerii lente însă consideră că aceste deformații specifice sînt uniform distribuite pe secțiunea transversală, a betonului precomprimat, respectiv armat, ceea ce nu corespunde realității.

Normele românești pentru calculul elementelor de construcții civile și industriale /108/, /109/, precum și cele pentru calculul suprastructurilor de poduri /110/, /111/ nu fac precizări privind calculul eforturilor unitare, în astfel de elemente, în stadiul de exploatare.

Indrumătorul tehnic departamental /117/, elaborat de IPTANA, introduce efectul contracției betonului armat asupra stării de eforturi unitare, prin intermediul unei forțe excentrice, pe secțiunea

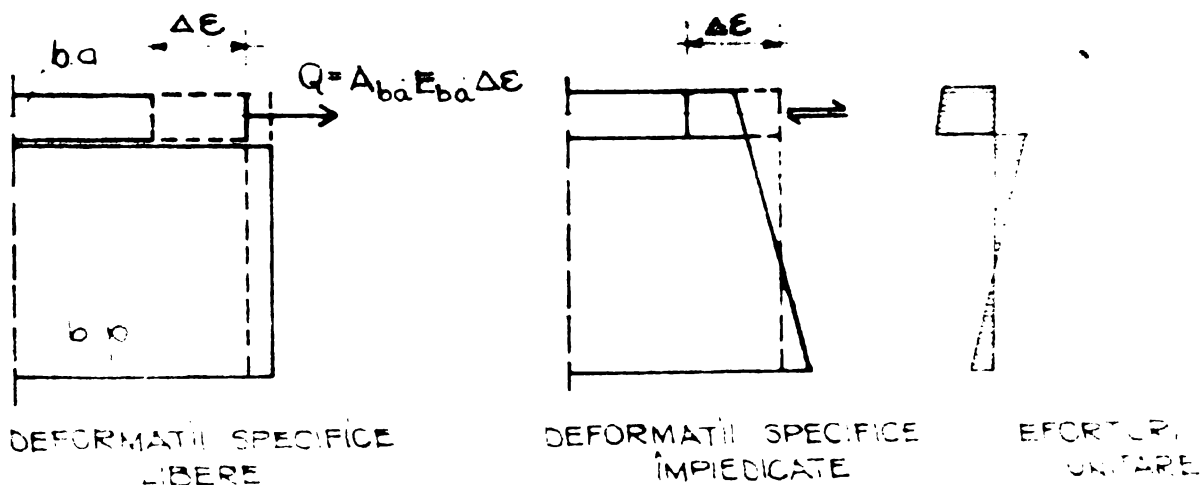


FIG 3.28. EFORTURI UNITARE PRODUSE DE DIFERENȚA DE DEFORMAȚII SPECIFICE DIN CONTRACȚIE ȘI CURGERE LENTĂ

compusă. Valoarea acestei forțe, ce acționează în centrul de greutate al betonului armat, este:

$$N_{cp} = \Delta c / \left(\frac{1}{E_{bp} A_{bp}} + \frac{1}{E_{ba} A_{ba}} + \frac{d^2}{E_{bp} I_{bp} + E_{ba} I_{ba}} \right)$$

unde: d este distanța de la centrul de greutate al betonului armat pînă la centrul de greutate al secțiunii compuse;

Δc efectul contracției asimilat cu o scădere de temperatură.

Din forța N_{cp} se calculează eforturile unitare numai în betonul precomprimat. Nu se ține cont de faptul că în betonul armat apar întinderi.

3.4. Calculul eforturilor unitare în secțiunile normale nefisurate ale elementelor compuse

Calculul în fază inițială se face avînd în vedere efortul real de precomprimare (pct.2.3).

3.4.1. Calculul în fază intermediară

Faza intermediară este identică cu sfîrșitul etapei de dezvoltare a deformațiilor specifice de contracție și curgere lentă.

Pierderea de tensiune din contracție și curgere lentă în armătura preîntinsă (toroane) este generată de deformațiile specifice ce se dezvoltă în această etapă și se evaluează cu relația:

$$\Delta \sigma_{pl}^I = \left(\varepsilon_{(cp)pl}^I + \varepsilon_{(clp)pl}^I \right) E_{pl} \quad (3.34)$$

iar efortul unitar în armătura nepretensionată de rezistență (complementară) este:

$$\Delta \sigma_{ap}^I = \left(\varepsilon_{(cp)a}^I + \varepsilon_{(clp)a}^I \right) E_a \quad (3.35)$$

Expresiile (3.34) și (3.35) pot fi aduse la forme prevăzute de /108/ și /110/. Dacă elementele sînt prevăzute cu armături complementare se vor introduce și coeficienții de corecție prevăzuți de /116/, coeficienți cuprinși și în noua redactare a STAS 10107/0-83.

În această fază efortul unitar în toroane este:

$$\sigma_{ppl}^{int} = \sigma_{ppl} - \left[\Delta \sigma_{pl}^I + (\Delta \sigma_{plr3} - \Delta \sigma_{plr1}) \right]$$

iar efortul real de precomprimare este: $N_{pl}^{int} = A_{pl} \sigma_{ppl}^{int} - A_a \Delta \sigma_{ap}^I$

unde: $\Delta \sigma_{plr3}$ este pierderea de tensiune, din relaxarea toroanelor, la timpul t_3 ;

$\Delta \sigma_{plr1}$ - pierderea de tensiune, din relaxarea toroanelor, în fază inițială.

Diagrama de eforturi unitare în beton este reprezentată de diagrama D_1 din figurile 3.29....3.31 și rezultă din efortul real de precomprimare N_{pl}^{int} și momentul încovoietor M_{1+2} produs de încărcările permanente aplicate la timpul t_1 și t_2 .

Efortul unitar în armătura complementară este:

$$\sigma_a^{int} = -n_a \sigma_{(bp)a}^{int} - \Delta \sigma_{aI}^I$$

Faza intermediară este origine pentru calculul eforturilor unitare în celelalte faze.

3.4.2. Calculul în faza de dare în exploatare

Faza de dare în exploatare este precedată de faza de postîntindere, dacă există fascicole pentru precomprimare în etape.

În aceste faze este realizată secțiunea compusă, coeficienții de echivalență n_p , n_{p1} , n_{p2} și n_a evaluându-se în funcție de mărcile realizate de cele două tipuri de beton. La fel se procedează și cu caracteristicile geometrice ale secțiunii compuse ideale.

Pierderile de tensiune în fascicole se determină în conformitate cu /108/, /110/ și /116/, iar efortul real de precomprimare în conformitate cu punctul 2.3.

În toroane va apare o pierdere de tensiune din cauza întinderii ulterioare a fascicolelor, egală cu (Fig.3.29):

$$\Delta \sigma_{pls} = n_{p1} \sigma_{(bp)pl}^{p2}$$

Din cauza realizării secțiunii compuse această pierdere de tensiune va provoca o pierdere de efort de precomprimare în toroane, care acționează pe secțiunea compusă. Valoarea acestei pierderi de efort de precomprimare este:

$$\Delta N_{pl} = A_{pl} \Delta \sigma_{pls}$$

Valorile eforturilor unitare în cele două tipuri de beton rezultă, în faza de postîntindere, din însumarea diagramelor $D_1...D_4$ (Fig.3.29), iar în faza de dare în exploatare din însumarea diagramelor $D_1...D_5$.

Eforturile unitare în toroane, fascicole și armătura pasivă în faza de postîntindere sînt (Fig.3.29):

$$\sigma_{ppl}^{post} = \sigma_{ppl}^{int} - \Delta \sigma_{pls} + n_{p1} \sigma_{(bp)pl}^3; \quad \sigma_{pp2}^{post} = \sigma_{pk2} - \sum \Delta \sigma_{p2}$$

$$\sigma_a^{post} = \sigma_a^{int} + n_a \left(\sigma_{(bp)a}^3 + \sigma_{(bp)a}^\Delta - \sigma_{(bp)a}^{p2} \right)$$

iar în faza de dare în exploatare sînt:

$$\sigma_{ppl}^{de} = \sigma_{ppl}^{post} + n_{p1} \sigma_{(bp)p1}^u; \quad \sigma_{pp2}^{de} = \sigma_{pp2}^{post} + n_{p2} \sigma_{(bp)p2}^u$$

$$\sigma_a^{de} = \sigma_a^{post} + n_a \sigma_{(bp)a}^u$$

unde: σ_{pk2} este efortul unitar de control în fascicole;

$\sum \Delta \sigma_{p2}$ - suma pierderilor de tensiune ce apar la pretensionarea fascicolelor.

3.4.3. Calculul în fază finală

Determinarea eforturilor unitare, în fază finală, se poate face prin asimilarea cu secțiunile compuse oțel-beton /5/ sau pe baza metodei interacțiunii deformațiilor specifice.

În această etapă coeficienții de echivalență n_p , n_{p1} , n_{p2} , n_a se stabilesc în funcție de valorile finale ale modulilor de elasticitate ale celor două tipuri de betoane. Caracteristicile geometrice ale secțiunii compuse ideale se calculează în consecință.

3.4.3.1. Calculul prin asimilarea cu secțiunile compuse oțel-beton

După depășirea fazei intermediare are loc o dezvoltare paralelă, dar cu viteze diferite, a deformațiilor specifice ale betonului precomprimat, $\epsilon_{(cp)}^{II}$ și $\epsilon_{(clp)}^{II}$, și ale betonului armat, $\epsilon_{(ca)}^{II}$ și $\epsilon_{(cla)}^{II}$. La un moment dat deformațiile specifice, din contracție și curgere lentă, ale betonului precomprimat se epuizează rămînînd să se dezvolte restul de deformații specifice ale betonului armat. Se face asimilarea cu secțiunile compuse oțel-beton, deoarece betonul precomprimat și-a epuizat deformațiile specifice, din contracție și curgere lentă, și se găsește în aceeași situație ca și oțelul dintr-o secțiune compusă oțel-beton.

Față de procedura inițială a asimilării cu secțiunile compuse oțel-beton /5/, se are în vedere aplicarea unei precomprimări în etape și luarea în considerare a caracteristicii curgerii lente a betonului precomprimat pentru fiecare timp de aplicare a încărcărilor.

Restul de deformații specifice ale betonului armat, din curgere lentă, vor produce o modificare a modulului de elasticitate al betonului armat:

$$E_{ba\varphi} = E_{ba} / (1 + \Delta \bar{\varphi})$$

unde: $\Delta \bar{\varphi} = \bar{\varphi}_a - \varphi_{pm}$

$\varphi_{pm} = \varepsilon_{(cp)}^{II} / (\sigma_{(bp)t1} + \sigma_{(bp)t2} + \sigma_{(bp)t3})$ - caracteristica medie a curgerii lente a betonului precomprimat, în etapa II, determinată în centrul de greutate al întregii armături pretensionate.

În acest caz coeficientul de echivalență al betonului armat, pentru încărcările de lungă durată, este:

$$n_{b\varphi} = E_{ba\varphi} / E_{bp} = n_b / (1 + \Delta \bar{\varphi})$$

Cu ajutorul acestui coeficient se calculează caracteristicile geometrice, $A_{b1\varphi}$ și $I_{b1\varphi}$, ale secțiunii compuse ideale pentru încărcările de lungă durată.

Efectul restului de contracție a betonului armat se ia în considerare printr-o forță excentrică de compresiune asupra secțiunii compuse. Valoarea acestei forțe este: $N_c = (\varepsilon_{(ca)}^{II} - \varepsilon_{(cp)}^{II}) E_{bp} b_a \rho_a$.

Deoarece betonul precomprimat și-a epuizat contracția el va împiedeca betonul armat să se contracte, cu cantitatea $\varepsilon_{(ca)}^{II} - \varepsilon_{(cp)}^{II}$, astfel că în acest beton vor apărea întinderi.

Pierderile de tensiune din contracție și curgere lentă, în toroane și fascicole sînt:

$$\Delta \sigma_{p1\varphi}^{II} = (\varepsilon_{(cp)}^{II} p1 + \varepsilon_{(clp)}^{II} p1) E_{p1}; \quad \Delta \sigma_{p2\varphi}^{II} = (\varepsilon_{(cp)}^{II} p2 + \varepsilon_{(clp)}^{II} p2) E_{p2}; \quad (3.36-3.37)$$

iar efortul unitar în armătura complementară este:

$$\Delta \sigma_{a\varphi}^{II} = (\varepsilon_{(cp)}^{II} a + \varepsilon_{(clp)}^{II} a) E_a \quad (3.38)$$

Relațiile (3.36 - 3.38) pot fi aduse la forme prevăzute în /108/, /110/ și /116/.

Pierderea de efort de precomprimare, în toroane, se calculează cu relația:

$$\Delta \bar{N}_{p1} = A_{p1} \left[\Delta \sigma_{p1s} + \Delta \sigma_{p1\varphi}^{II} + (\Delta \sigma_{p1r} - \Delta \sigma_{p1r3}) \right] + A_a \Delta \sigma_{a\varphi}^{II} \quad (3.39)$$

Efortul real de precomprimare din fascicole se determină conform punctului 2.3.

Valorile eforturilor unitare în cele două tipuri de beton rezultă din însumarea diagramei din figura 3.30.

Eforturile unitare în toroane, fascicole și armătura complementară sînt (Fig.3.30):

$$\bar{\sigma}_{pp1} = \sigma_{pp1}^{int} - \left[\Delta \sigma_{p1s} + \Delta \sigma_{p1\varphi}^{II} + (\Delta \sigma_{p1r} - \Delta \sigma_{p1r3}) \right] + n_{p1} (\sigma_{(bp)p1}^3 + \sigma_{(bp)p1}^c + \sigma_{(bp)p1}^{uld} + \sigma_{(bp)p1}^{usd})$$

$$\bar{\sigma}_{pp2} = \sigma_{pp2}^{post} - (\Delta \sigma_{p2\varphi}^{II} + \Delta \sigma_{p2r}) + n_{p2} (\sigma_{(bp)p2}^o + \sigma_{(bp)p2}^{uld} + \sigma_{(bp)p2}^{usd})$$

$$\bar{\sigma}_a = \int_a^{\text{int}} n_a (\sigma_{(bp)a}^3 + \sigma_{(bp)a}^{\Delta} - \sigma_{(bp)a}^{p2} + \sigma_{(bp)a}^0 + \sigma_{(bp)a}^{\text{uld}} + \sigma_{(bp)a}^{\text{usd}}) - \Delta \sigma_{ap}^{\text{II}}$$

unde: $\Delta \sigma_{p2r}$ este pierderea de tensiune din relaxarea fasciculelor.

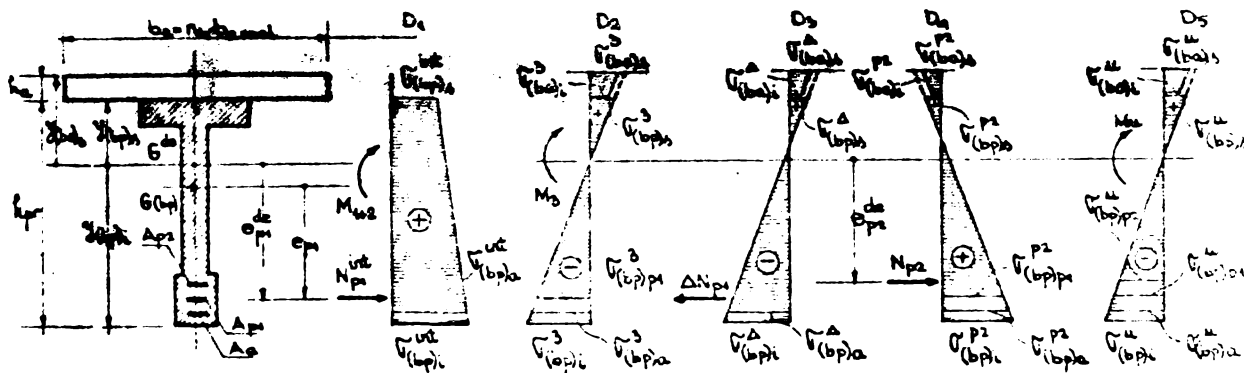


FIG. 3.29. DIAGrame DE EFORTURI UNITARE ÎN FAZA DE POSTÎNTINDERE ȘI DARE ÎN EXPLOATARE.

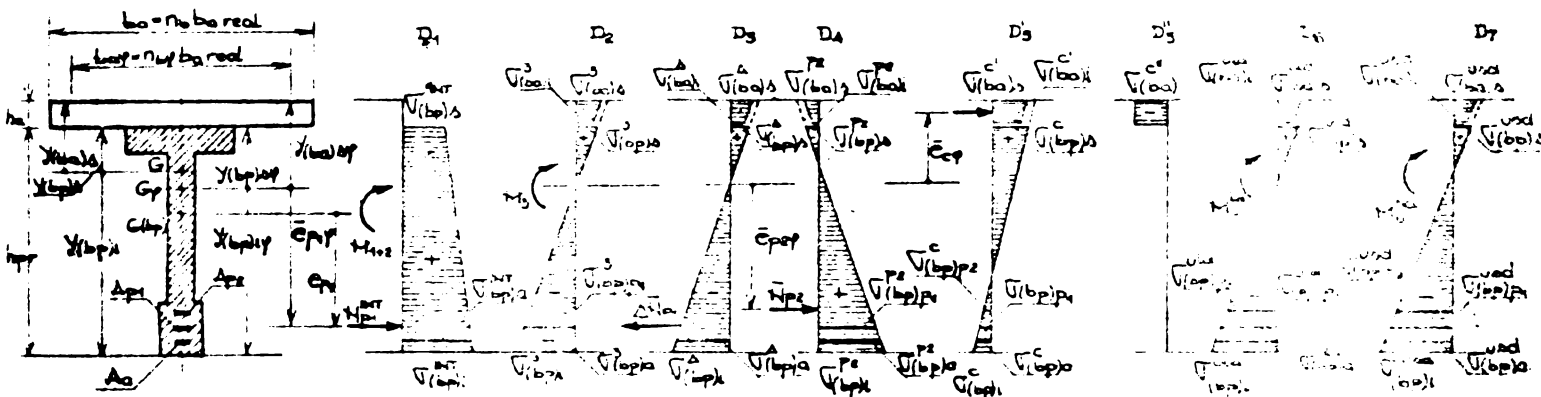


Fig. 3.30. DIAGRAMA DE EFORTURI UNITARE ÎN FAZĂ FINALĂ, PRIN METODA ASIMILĂRII CU SECȚIUNILE COMPUSE OȚEL-BETON

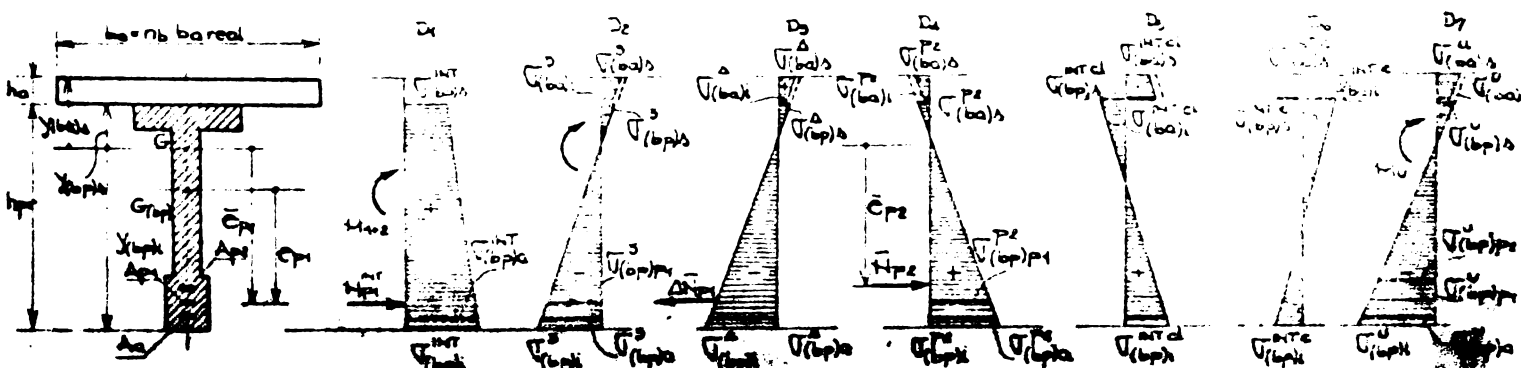


FIG. 3.31. DIAGrame DE EFORTURI UNITARE ÎN FAZĂ FINALĂ, PRIN METODA INTERACȚIUNII DEFORMĂRIILOR SPECIFICE

3.4.3.2. Calculul pe baza interacțiunii deformațiilor specifice.

Pierderile de tensiune, în toroane și fascicule, din contracție și curgere lentă se determină pe baza deformațiilor specifice obținute în urma interacțiunii deformațiilor specifice (Fig.3.24):

$$\Delta \sigma_{p1r}^{\text{II}} = (\epsilon_{(bp)p1}^{\text{plan c}} + \epsilon_{(bp)p1}^{\text{plan cl}}) E_{p1}; \quad \Delta \sigma_{p2r}^{\text{II}} = (\epsilon_{(bp)p2}^{\text{plan c}} + \epsilon_{(bp)p2}^{\text{plan cl}}) E_{p2} \quad (3.40-3.41)$$

Efortul unitar în armătura pasivă este:

$$\Delta \sigma_{ap}^{\text{II}} = (\epsilon_{(bp)a}^{\text{plan c}} + \epsilon_{(bp)a}^{\text{plan cl}}) E_a \quad (3.42)$$

Pierderea de efort de preocupare în toroane se calculează

cu relația (3.39) introducând valorile din (3.40) și (3.42), iar efortul real de precomprimare din fascicole se calculează conform punctului 2.3, cu valoarea din (3.41).

Valorile eforturilor unitare în cele două tipuri de beton se obțin prin însumarea diagramelor din figura 3.31.

Eforturile unitare în toroane, fascicole și armătura complementară sînt (Fig.3.31):

$$\bar{\sigma}_{pp1} = \sigma_{pp1}^{int} - \left[\Delta \sigma_{pls} + \Delta \sigma_{pl\varphi}^{II} + (\Delta \sigma_{plr} - \Delta \sigma_{plr3}) \right] + n_{p1} (\sigma_{(bp)p1}^3 + \sigma_{(bp)p1}^u)$$

$$\bar{\sigma}_{pp2} = \sigma_{pp2}^{post} - (\Delta \sigma_{p2}^{II} + \Delta \sigma_{p2r}) + n_{p2} \sigma_{(bp)p2}^u$$

$$\bar{\sigma}_a = \sigma_a^{int} + n_a (\sigma_{(bp)a}^3 + \sigma_{(bp)a}^\Delta - \sigma_{(bp)a}^{p2} + \sigma_{(bp)a}^u) - \Delta \sigma_{a\varphi}^{II}$$

3.4.3.3. Analiză comparativă a celor două metode de calcul ale eforturilor unitare în fază finală.

Metoda interacțiunii deformațiilor specifice este o metodă exactă deoarece asigură egalitatea deformațiilor specifice, din contracții și curgere lentă, la nivelul de contact dintre cele două tipuri de beton, asigurînd astfel respectarea ipotezei secțiunilor plane. Lucrîndu-se cu valorile deformațiilor specifice este scoasă din discuție viteza de dezvoltare a acestor deformații, viteză care în cazul metodei asimilării este neluată în considerare, introducîndu-se în acest fel alt factor ce determină caracterul aproximativ al metodei asimilării. Ca dezavantaj al metodei interacțiunii deformațiilor specifice este faptul că ea este mai laborioasă decît metoda asimilării.

În vederea comparării rezultatelor obținute prin cele două metode, s-a calculat starea de eforturi unitare, în faza finală, pentru grinda de pod din figura 3.32, realizată în două variante de armare. Solicitățile avute în vedere sînt următoarele: gr.proprrie a grinzii prec. $M_1 = M_p = 9,53$ tm; gr.plăcii de beton armat $M_2 = M_a = 6,63$ tm; greutatea căii de rulare $M_3 = M_{calc} = 2,56$ tm; con-voi rutier $M_u = M_o = 30,0$ tm.

În figura 3.32 se prezintă și diagrama de eforturi unitare în fază intermediară, iar în figura 3.33 diagramele de eforturi unitare.

Din compararea rezultatelor se desprind următoarele constatări:

- în cazul precomprimării puternice (variante 1 de armare)

starea de eforturi unitare, sub încărcările totale (diagrama DF), în betonul precomprimat este aceeași, indiferent de metoda folosită, existând diferențe în privința betonului armat;

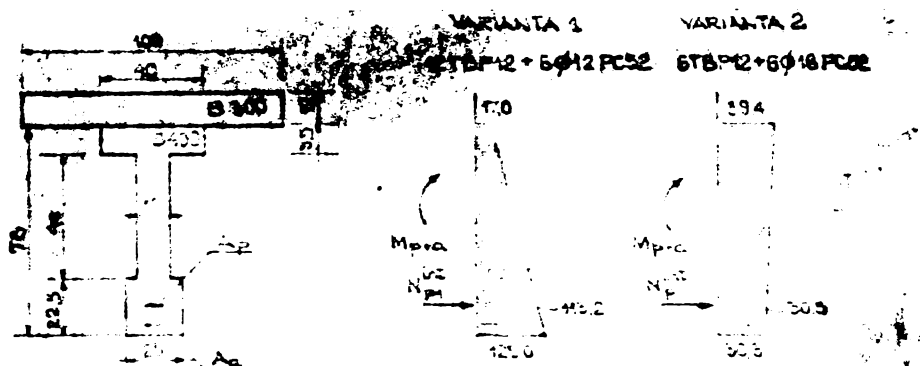


FIG. 5.52. SECȚIUNE TRANSVERSALĂ ȘI EFORTURI UNITARE ÎN FAZĂ INTERMEDIARĂ.

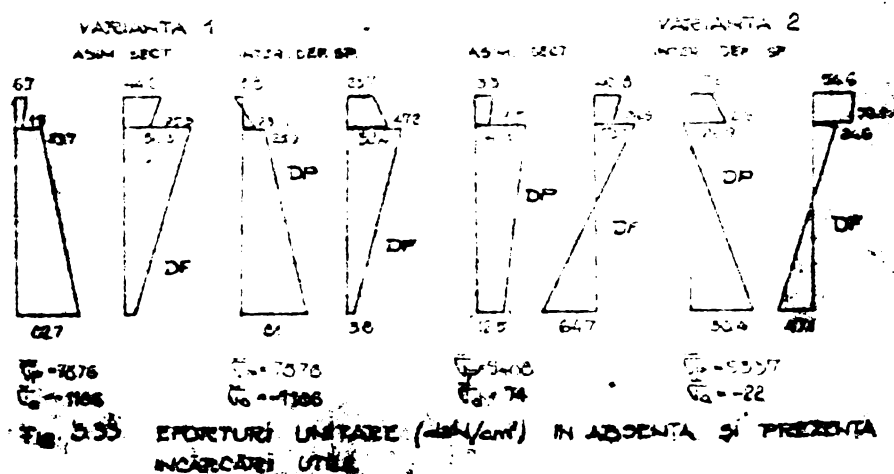


FIG. 5.53. EFORTURI UNITARE (MPa/cm²) ÎN ABSENȚA ȘI PREZENȚA ÎNCĂRCĂRII UTILE.

- diferențele de mai sus se datoresc efectului puternic al interacțiunii deformațiilor specifice de curgere lentă, interacțiune ce crează întinderi cu caracter permanent în betonul armat (diagrama DP) și care nu se evidențiază, decât în cazul utilizării metodei bazate pe interacțiunea deformațiilor;

- în cazul precomprimării reduse (variante 2 de armare) există diferențe sensibile între

rezultatele obținute prin cele două metode, metoda asimilării conducând la eforturi unitare mai mari în betonul precomprimat, sub efectul încărcărilor totale;

- între eforturile unitare în armături nu există diferențe sensibile.

Având în vedere rezultatele obținute, caracterul exact al unei metode, respectiv cel aproximativ al celeilalte, precum și volumul de muncă cerut:

- se poate accepta utilizarea metodei asimilării cu secțiunile compuse oțel-beton în cazul elementelor puternic precomprimare (grad de precomprimare, conform relației 4.4, cuprins în intervalul 0,9.....1,0);

- în cazul elementelor importante (indiferent de gradul de precomprimare), precum și în cazul elementelor secundare cu precomprimări reduse (grad de precomprimare 0,6.....0,8) se va utiliza metoda interacțiunii deformațiilor specifice.

3.4.3.4. Influența momentului de realizare a porțiunii de beton armat asupra stării de eforturi unitare.

In momentul proiectării elementelor compuse este necesar a

se cunoaște timpul la care se va realiza porțiunea de beton armat deoarece aceasta influențează sensibil starea de eforturi unitare.

În vederea evaluării influenței timpului de realizare a porțiunii de beton armat (t_2) asupra eforturilor unitare s-a luat în considerare secțiunea compusă din figura 3.34 în trei variante de armare. Pentru momentul realizării porțiunii de beton armat s-au admis următoarele valori pentru timpul t_2 : 1; 2; 3; 4 săptămâni; 2; 3; 4; 5; 6 luni; 1; 2; 3 ani. Calculele sînt prezentate în anexa 2.1.

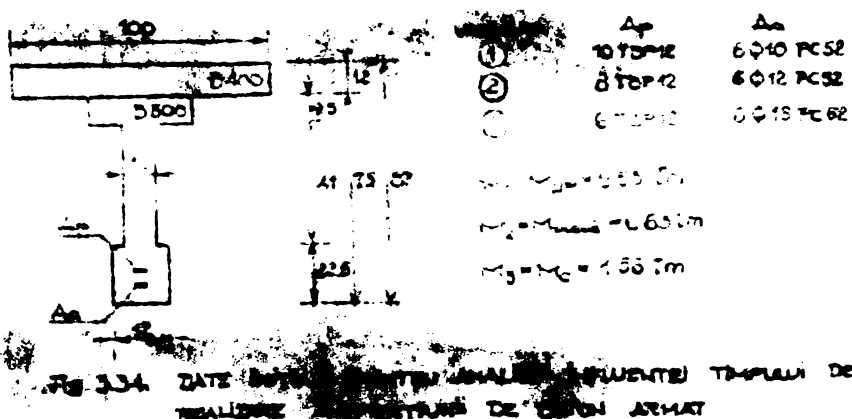
În figurile 3.35 a...3.38 a se prezintă modul de evoluție al eforturilor unitare în cele patru fibre ale secțiunii din efectul interacțiunii deformațiilor de curgere lentă, contracție, precum și efectul cumulat.

În figurile 3.35 b...3.38 b se prezintă modul de evoluție al eforturilor unitare în momentul cînd elementul nu este încărcat cu sarcina utilă.

În figura 3.39 se prezintă modul de evoluție al momentului încovoietor de decompresiune.

Influența timpului t_2 , de realizare a porțiunii de beton armat, are o influență cvasiliniară asupra eforturilor unitare din interacțiunea curgerii lente, atunci cînd realizarea porțiunii de beton armat se face într-un interval de pînă la două luni de la transfer. Dacă realizarea porțiunii de beton armat se realizează la un interval mai mare de două luni de la transfer se constată o atenuare a influenței timpului t_2 și indiferent de varianta de armare eforturile unitare tind spre aceeași valoare (Fig. 3.35 a.... 3.38 a).

Aceeași cvasiliniaritate se constată și în cazul eforturilor unitare în lipsa încărcării utile (Fig. 3.35.b....3.38 b), urmată de o tendință de stabilizare, mai pronunțată în cazul precomprimării mai puternice. Influența cantității de armătură pretensionată este mai puternică în cazul efortului unitar din fibra inferioară a beto-



nului precomprimat, în celelalte fibre diferențele sînt cu mult mai reduse. În fibra inferioară a betonului precomprimat, în cazul variantei 3 de armare, și în fibrele betonului armat se constată și o schimbare

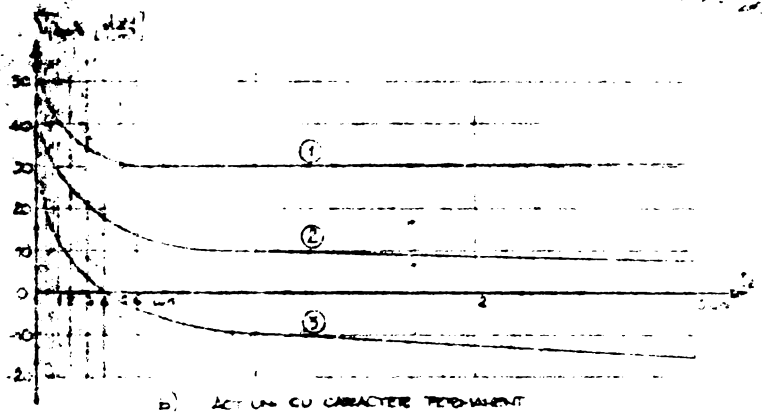
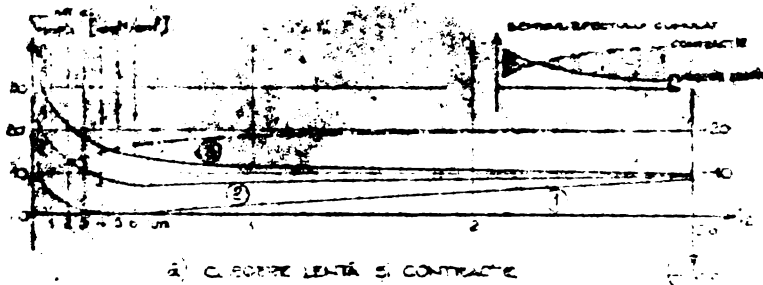


Fig. 3.55 EVOLUȚIA EFORTURILOR UNITARE ÎN FIBRĂ ÎNCADRĂRĂ A ESTONULUI PRECOMPRESAT

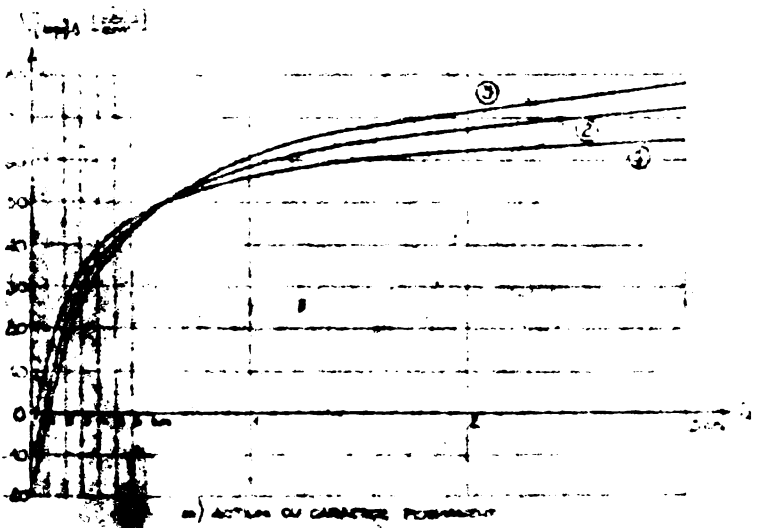
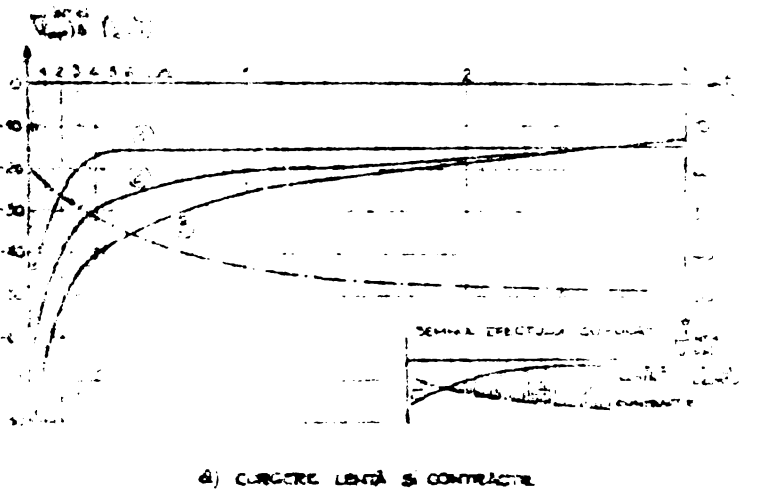


Fig. 3.56 EVOLUȚIA EFORTURILOR UNITARE ÎN FIBRĂ SUPRĂ ÎNCADRĂRĂ A ESTONULUI PRECOMPRESAT

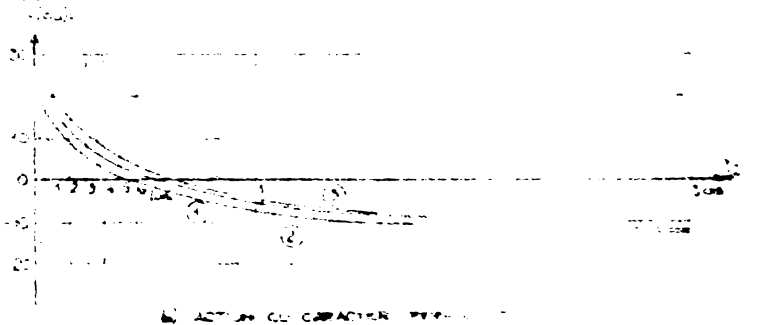
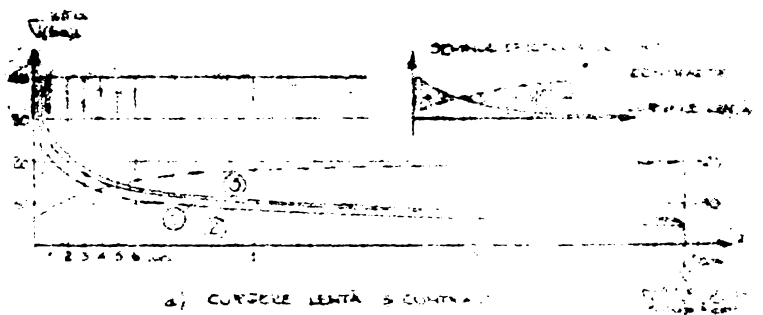


Fig. 3.57 EVOLUȚIA EFORTURILOR UNITARE ÎN FIBRĂ ÎNCADRĂRĂ A ESTONULUI ÎNCAZAT

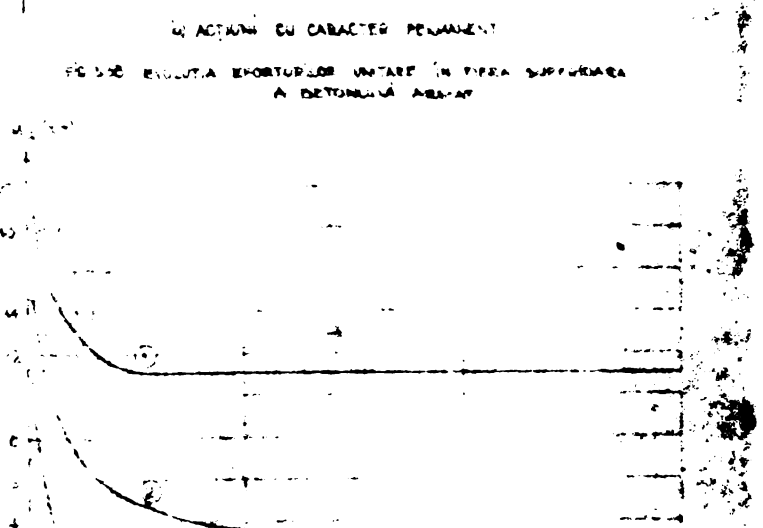
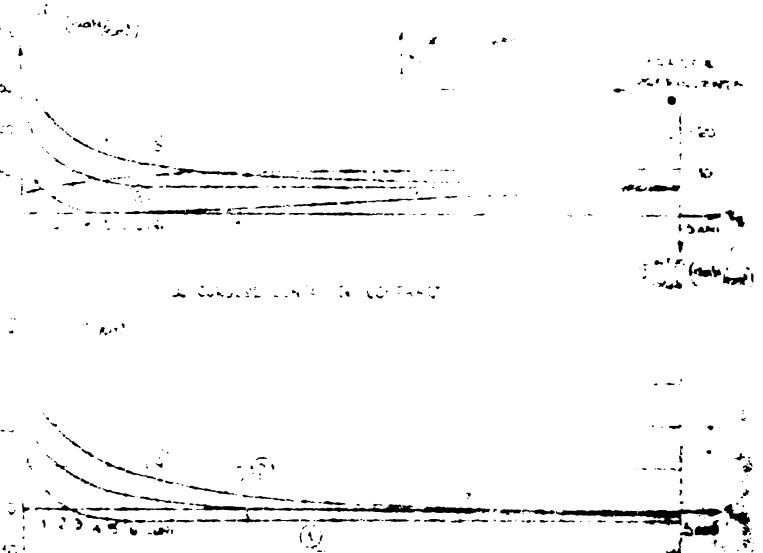


Fig. 3.58 EVOLUȚIA EFORTURILOR UNITARE ÎN FIBRĂ SUPRĂ ÎNCADRĂRĂ A ESTONULUI ÎNCAZAT

Fig. 3.59 EVOLUȚIA MOMENTULUI DE ÎNCADRĂRĂ

de semn atunci când porțiunea de beton armat se realizează mai târziu de un an de la transfer.

Eforturile unitare din interacțiunea deformațiilor specifice de curgere lentă au un efect favorabil, de reducere a eforturilor unitare din interacțiunea deformațiilor specifice din contracție. În tabelul 3.7. este dat intervalul de timp pentru realizarea porțiunii de beton armat. În așa fel ca să se producă o anulare a efectului contrac-

Tabel 3.7.

Intervalul optim de timp pentru realizarea porțiunii de beton armat

Varianta	Fibra			
	(bp)1	(bp)s	(ba)1	(ba)s
1	1 - 3 săpt.	2 luni	3-5 luni	0,5-2 luni
2	2 - 3 luni	3-4 luni	4-6 luni	3-6 luni
3	3 - 6 luni	5-7 luni	4-6 luni	9 luni - 1 an

ției, rezultând ca favorabil intervalul de timp de una pînă la trei luni.

Momentul încovoietor de decompresiune este puternic afectat de timpul când se realizează porțiunea de beton armat (Fig.3.39). În cazul variantei 1 de armare se constată totuși, o stabilizare a scăderii momentului încovoietor de decompresiune, în timp ce în cazul variantei 3 se ajunge pînă la anularea momentului încovoietor de decompresiune.

Desigur că rezultatele anterioare nu pot fi generalizate la toate tipurile de elemente compuse, ele dînd numai o privire de ansamblu, asupra influenței timpului de realizare a porțiunii de beton armat, desprinzîndu-se și concluzia că trebuie acordată o atenție deosebită elementelor cu precomprimări reduse.

3.5. Determinarea momentului încovoietor de fisurare al elementelor compuse beton precomprimat - beton armat

Despre necesitatea cunoașterii momentului încovoietor de fisurare al elementelor precomprimat pîrerile diferiților autori și prevederile diferitor norme de calcul sînt împărțite.

Dintre normele românești Normativul P 8-62 /106/ prevedea calculul momentului încovoietor de fisurare. Normele românești actuale /108/, /110/ și /116/, precum și noile revizuirii /109/ și /111/ prevăd, în secțiuni normale, verificarea închiderii fisurilor și verificarea deschiderii fisurilor, apariția fisurilor nefiind prevăzută.

Deși normele românești nu prevăd verificarea apariției fi-

surilor din punctul de vedere al încercărilor de laborator și al interesului științific, momentul încovoietor de fisurare este o mărime ce prezintă interes.

3.5.1. Ipoteza și relații pentru calculul momentului încovoietor de fisurare al elementelor precomprimate

Principala problemă în determinarea momentului încovoietor de fisurare o constituie comportamentul betonului întins: elastic sau plastic. În prezent problema este tranșată în favoarea comportamentului plastic al betonului, cu luarea în considerare a unor factori ce reduc plasticizarea. Dintre cei ce admit comportarea elastică a betonului întins, se pot aminti Branson /86/, Pinglot-Pons /78/, iar dintre cei ce iau în considerare comportamentul plastic se pot reține Guyon /48/, Cestelli Guidi /28/, toți autori români. Printre normele de calcul ce iau în considerare comportamentul plastic se pot aminti: normele sovietice /114/, normele CAER /115/, precum și vechiul normativ românesc P 8-62 /106/, în timp ce normele CEB-FIP iau în considerare comportamentul elastic /113/.

Ipotezele folosite pentru determinarea momentului încovoietor de fisurare sînt: ipoteza secțiunilor plane; comportarea elastică a betonului comprimat; comportarea plastică a betonului întins; deformația specifică limită la întindere a betonului, ținînd cont de plasticizarea sa, este $\bar{\epsilon}_t = 2R_t/E_b$.

Plecînd de la aceste ipoteze, expresia momentului încovoietor de fisurare rezultă din ecuația de momente în raport cu vârful simbului central opus fibrei întinse.

Normativul condiționat P 8-62 prevede pentru calculul momentului încovoietor de fisurare relația

$$M_f^S = W_f R_t + m_o \bar{M}_o^S \quad (3.43)$$

unde: $W_f = \gamma W_o$ este modulul de rezistență la fisurare, a zonei întinse de beton;

R_t - rezistența la întindere a betonului;

\bar{M}_o^S - momentul efortului de precomprimare față de vârful simbului central;

m_o - coeficient de imprecizie al efortului de precomprimare;

W_o - modulul de rezistență elastic al zonei întinse

INCERC București și I.P.Iași propun pentru calculul momentului încovoietor de fisurare relația /99/, /100/

$$M_T = W_O R_{bz}^* + M_O^S \quad (3.44)$$

unde: $R_{bz}^* = 1,5 R_t + 0,1 N_O/A_D$ - rezistența aparentă la întindere a betonului.

Normele sovietice /114/ și CAER /115/ prevăd următoarea relație pentru calculul momentului încovoietor de fisurare:

$$M_T = W_T R_t^n + M_O \quad (3.45)$$

unde: $W_T = 2I_C/h-x+S_t$ este modulul de rezistență al zonei întinse de beton cu luarea în considerare a comportării plastice a betonului;

I_C - momentul de inerție al zonei comprimate de beton, în raport cu axa neutră;

S_t - momentul static al zonei întinse de beton, în raport cu axa neutră;

$$x = h - 2 S_c/A_t$$

S_c - momentul static al zonei comprimate în raport cu axa neutră;

A_t - aria zonei întinse de beton;

R_t^n - rezistența normată la întindere a betonului

M_O - momentul efortului de precomprimare în raport cu vârful simbului central opus fibrei întinse.

Toate relațiile avînd aceleași ipoteze, au aceeași formă principală.

Guyon ajunge la o relație similară cu relațiile anterioare adoptînd un comportament elastic al betonului, dar cu o rezistență aparentă la întindere și care corespunde deformației specifice limită $\bar{\epsilon}_t$.

Compararea relațiilor (3.43 - 3.45) cu rezultatele experimentale este prezentată la punctul 5.2.2.

3.5.2. Calculul momentului încovoietor de fisurare al elementelor compuse

Ipotezele prezentate la punctul 3.5.1. sînt valabile și pentru secțiunile compuse beton precomprimat - beton armat, dar aplicarea directă a oricărei dintre relațiile (3.43 - 3.45) nu este posibilă din următoarele cauze: existența unei diferențe de timp între apariția eforturilor unitare în betonul precomprimat și în cel armat și din cauza diferențelor de contracție și curgere lentă, ce există între cele două betoane. Din cauzele expuse mai sus nu se poate stabili o relație între eforturile unitare în beton $\sigma_{(ba)_1}$ și $\sigma_{(ba)_s}$, pe de o parte și efortul unitar în betonul precomprimat $\sigma_{(bp)_s}$ (Fig.3.40)

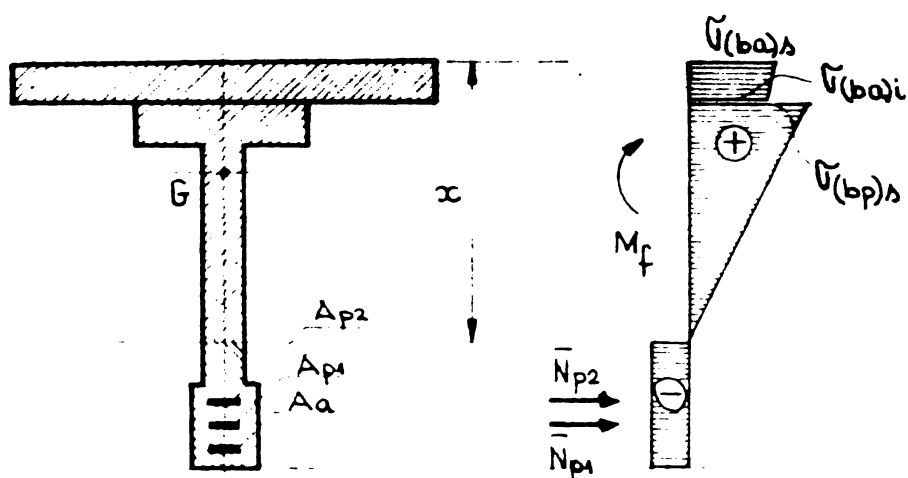


FIG. 3.40. STADIUL I-a ÎN SECȚIUNILE COMPUSE

pentru a se putea stabili mărimea rezultantei eforturilor unitare de compresiune.

Coeficienții de echivalență ai betonului armat și ai armăturilor se determină în funcție de valorile finale ale modulilor de elasticitate

Pentru determinarea momentului încovoietor de fisurare se pleacă de la starea de decompresiune produ-

să de momentul încovoietor de decompresiune M_d . Fisurarea secțiunii normale se va produce sub efectul momentului încovoietor ΔM_f , iar în final momentul încovoietor de fisurare este: $M_f = M_d + \Delta M_f$.

Prin plecarea de la starea de decompresiune se ia în considerare efectul diferențelor de contracție și curgere lentă ale celor două betoane. De asemenea este scoasă din discuție și diferența de timp ce există între apariția eforturilor unitare în cele două betoane.

Pentru deformațiile specifice și eforturile unitare din figura 3.41 se pot scrie două ecuații de echilibru static și 3 ecuații de compatibilitate a deformațiilor specifice. În aceste ecuații intervine și o parte din betonul comprimat în starea de decompresiune și care este capabil de a prelua întinderi. Sistemul de ecuații este:

$$\int_0^{x_1} \sigma_{by} b_y dy - \int_0^{h-x_1} \sigma'_{by} b_y' dy' = 0; \quad \Delta M_f = \int_0^{h-x_1} \sigma'_{by} b_y' z_y dy' \quad (3.46-3.50)$$

$$\sigma_o = \sigma_{(bp)s}^d \frac{h-x}{h_{pr}}; \quad \sigma_o = \sigma_b \frac{x-x_1}{x_1}; \quad \sigma_b = 2R_t \frac{x_1}{h-x_1}$$

Sistemul de ecuații (3.46 - 3.50) este un sistem nelinier de ecuații a cărei rezolvare se poate face cu ajutorul calculatorului electronic prin apelarea bibliotecii matematice generale SANDIA /77/ sau prin încercări.

Eforturile unitare în fibrele comprimate sînt:

$$\sigma_{(bp)s} = \sigma_{(bp)s}^d + \sigma_{bl}; \quad \sigma_{(ba)i} = \sigma_{(ba)i}^d + \sigma_b \sigma_{bl}; \quad \sigma_{(ba)s} = \sigma_{(ba)s}^d + \sigma_b \sigma_b$$

Procedeuul descris mai sus a fost comparat cu relația prevăzută de Normativul P 8-62, prin particularizare pe o secțiune dreptunghiulară precomprinată (Fig.3.42), constatîndu-se identitatea resul-

Procedeu aproximativ de determinare a momentului încovoietor de fisurare

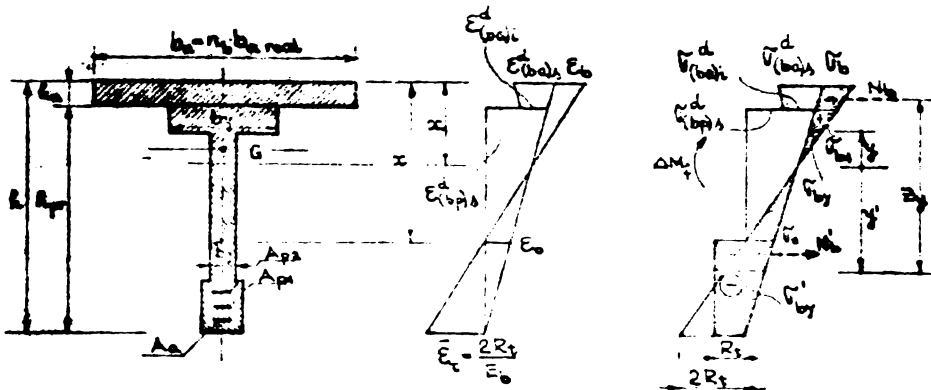


FIG. 3.41. IPOTEZE PENTRU CALCULUL MOMENTULUI ÎNCOVOIETOR DE FISURARE.

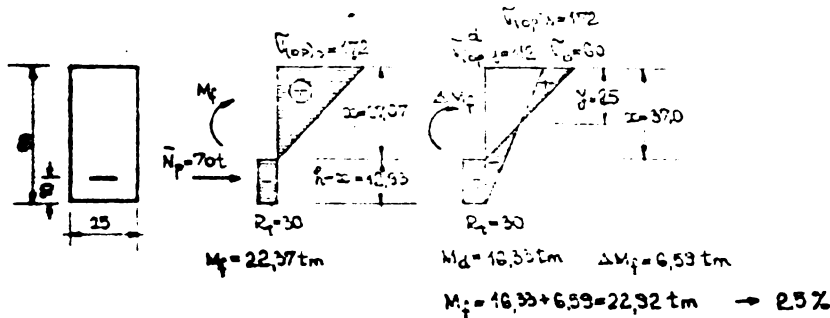


FIG. 3.42. SINTEZA CALCULELOR COMPARATIVE PRIVIND DETERMINAREA MOMENTULUI ÎNCOVOIETOR DE FISURARE.

Procedeuul aproximativ conduce la un calcul descoperitor, cu cca 20%, și se bazează pe ipoteza că între eforturile unitare din beton, în stadiul I a, există aceleași rapoarte ca și între eforturile unitare din beton în stadiul de decompresiune, adică (Fig.3.43):

$$k_1 = \frac{\sigma_{(ba)i}^d}{\sigma_{(bp)s}^d} = \frac{\sigma_{(ba)i}}{\sigma_{(bp)s}} \quad (3.51)$$

$$k_s = \frac{\sigma_{(ba)s}^d}{\sigma_{(bp)s}^d} = \frac{\sigma_{(ba)s}}{\sigma_{(bp)s}} \quad (3.52)$$

Coeficienții k_1 și k_s conțin implicit și coeficientul de echivalență n_b .

Sistemul de ecuații ce se formează este:

$$\int_0^x b y b_y dy - R_t \int_{l-x}^{h-x} b_y' dy' - (N_{pl}^{int} - \Delta \bar{N}_{pl}) - \bar{N}_{p2} = 0 \quad (3.53)$$

$$M_f = R_t \int_0^x b_y' z_y dy' + (N_{pl}^{int} - \Delta \bar{N}_{pl}) z_{pl} + \bar{N}_{p2} z_{p2} \quad (3.54)$$

$$\sigma_{(bp)s} = 2R_t \frac{x-h}{h-x} \quad (3.55)$$

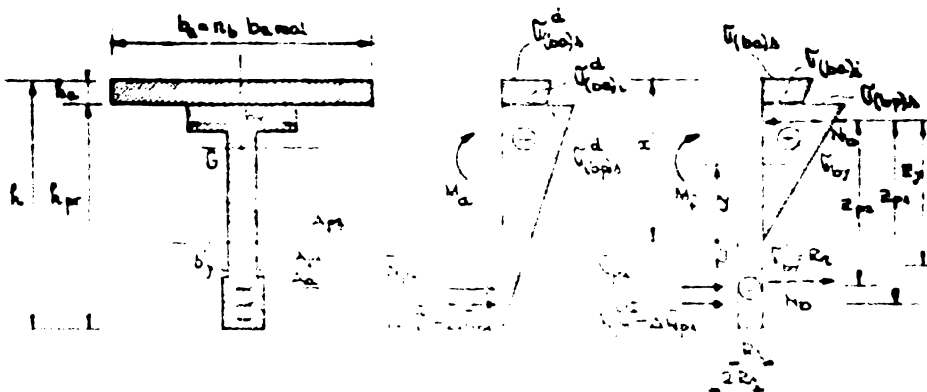


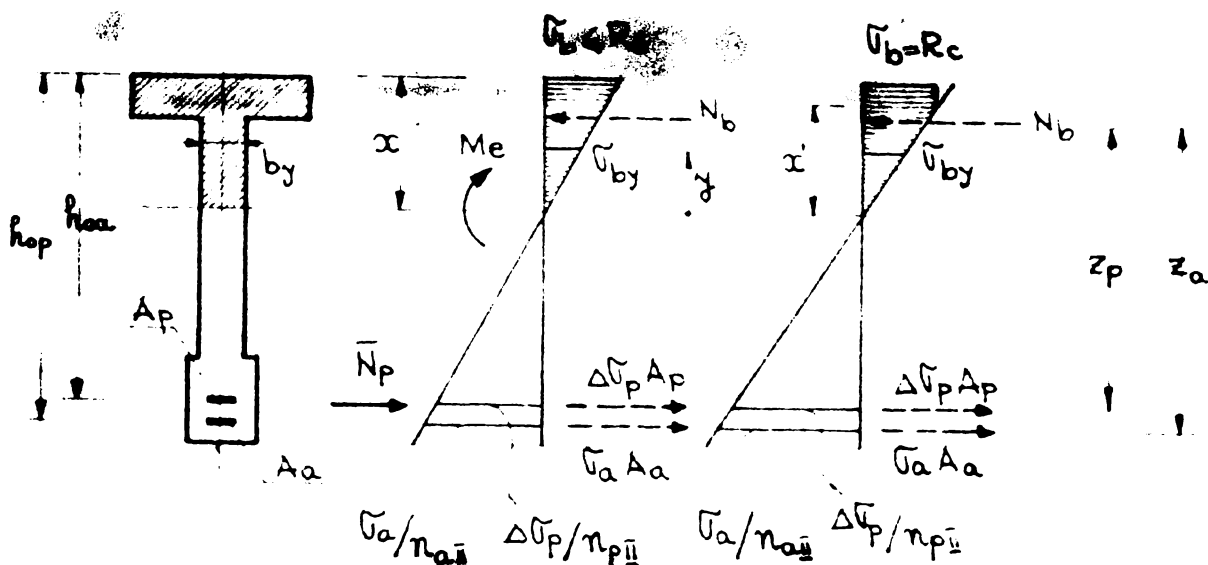
FIG. 3.43. PROCEDEU APROXIMATIV DE DETERMINARE A MOMENTULUI ÎNCOVOIETOR DE FISURARE.

3.6. Determinarea eforturilor unitare în secțiunile normale fisurate ale elementelor compuse

3.6.1. Ipoteze și relații de calcul pentru elementele precomprimate

Calculul eforturilor unitare în stadiul II, cu

zona întinsă fisurată, se face pe baza următoarelor ipoteze (Fig.3.44): secțiunile rămân plane și după deformare; betonul întins și nefisurat nu se ia în considerare la preluarea solicitărilor; eforturile unitare de compresiune din beton sînt distribuite liniar pînă la valoarea R_c , în continuare avînd valoarea constantă R_c ; efortul de precomprimare se consideră ca o forță exterioară; coeficientul de echivalență al armăturii pretensionate este: $n_{pII} = n_p(1 + 0,8v\bar{\rho})$, iar al armăturii pasive, este: $n_{aII} = n_a(1 + 0,3v\bar{\rho})$ armătura complementară se ia în considerare numai dacă $A_a \geq 0,25 A_p$.



Determinarea eforturilor unitare și a poziției axei neutre rezultă din sistemul de ecuații

FIG. 3.44. EFORTURI UNITARE ÎN SECȚIUNI NORMALE FISURATE

$$\bar{N}_p = \int_0^x \sigma_{by} b_y dy - A_p \Delta \sigma_p - A_a \sigma_a \quad (3.56)$$

$$M_e - \bar{N}_p z_p = A_p \Delta \sigma_p z_p + A_a \sigma_a z_a \quad (3.57)$$

$$\Delta \sigma_p = \frac{h_{op} - x}{x} \sigma_b n_{pII} \quad \text{sau} \quad \Delta \sigma_p = \frac{h_{op} - x'}{x'} R_c n_{pII} \quad (3.58 - 3.59)$$

$$\sigma_a = \frac{h_{aa} - x}{x} \sigma_b n_{aII} \quad \text{sau} \quad \sigma_a = \frac{h_{aa} - x'}{x'} R_c n_{aII} \quad (3.60 - 3.61)$$

3.6.2. Determinarea exactă a eforturilor unitare în secțiunile normale fisurate ale elementelor compuse.

Ipotezele simplificatoare de la punctul 3.6.1. sînt valabile și pentru secțiunile compuse beton precomprimat - beton armat, dar aplicarea directă a relațiilor (3.56 - 3.61) nu este posibilă din motivele prezentate la punctul 3.5.2.

Starea de eforturi unitare se poate determina în ipoteza

comportării elastice a celor două tipuri de beton sau în ipoteza comportării elastico-plastice a betonului precomprimat și/sau a betonului armat.

Pentru determinarea stării de eforturi unitare în secțiunile normale fisurate se pleacă de la starea de decompresiune, cu ajutorul ecuațiilor de echilibru static și de compatibilitate a deformațiilor sub efectul momentului încovoietor $\Delta M_e = M_e - M_d$, care reprezintă diferența dintre momentul încovoietor de exploatare și cel de decompresiune.

În ecuațiile de echilibru static intervine și betonul comprimat de sub axa neutră x_1 (Fig. 3.45, 3.47....3.49) care este capabil de a prelua întinderi.

Coefficientul de echivalență al betonului armat, în stadiul II, se ia după cum urmează:

- în cazul comportării elastice și în cazul determinării stării de decompresiune prin metoda asimilării cu secțiunile compuse oțel-beton: $n_{bII} = E_{ba}(1+0,8 v_p \bar{\varphi}_{pm})/E_{bp}(1+0,8 v_a \bar{\varphi}_a)$; unde:

$\bar{\varphi}_{pm} = (\varepsilon_{(clp)}^I + \varepsilon_{(clp)}^{II}) / (\sigma_{(bp)}t_1 + \sigma_{(bp)}t_2 + \sigma_{(bp)}t_3)$ este caracteristică finală medie de curgere lentă a betonului precomprimat; v_p - raportul dintre solicitarea de lungă durată și solicitarea totală; v_a - raportul dintre solicitarea de lungă durată ce produce eforturi unitare în betonul armat și solicitarea totală ce produce eforturi unitare în betonul armat.

- în cazul comportării elastice și în cazul determinării stării de decompresiune pe baza interacțiunii deformațiilor specifice:

$$n_{bII} = E_{ba}/E_{bp};$$

- în cazul comportării elastico-plastice: $n_{bII} = R_{ca}/R_{cp}$, unde: R_{cp} este rezistența de calcul la compresiune a betonului precomprimat, iar R_{ca} - rezistența de calcul la compresiune a betonului armat.

Coefficienții de echivalență pentru armături, în stadiul II, sînt: $n_{p1II} = n_{p1}(1+0,8 v_p \bar{\varphi}_{pm})$; $n_{p2II} = n_{p2}(1+0,8 v_p \bar{\varphi}_{pm})$; $n_{aII} = n_a(1+0,8 v_p \bar{\varphi}_{pm})$. În stabilirea coeficienților de echivalență se vor avea în vedere valorile finale ale caracteristicilor materialelor.

Determinarea eforturilor unitare în ipoteza comportării elastice a celor două tipuri de beton.

Pentru deformațiile specifice și eforturile unitare din figura 3.45 se pot scrie două ecuații de echilibru static și 6 ecuații de compatibilitate a deformațiilor specifice.

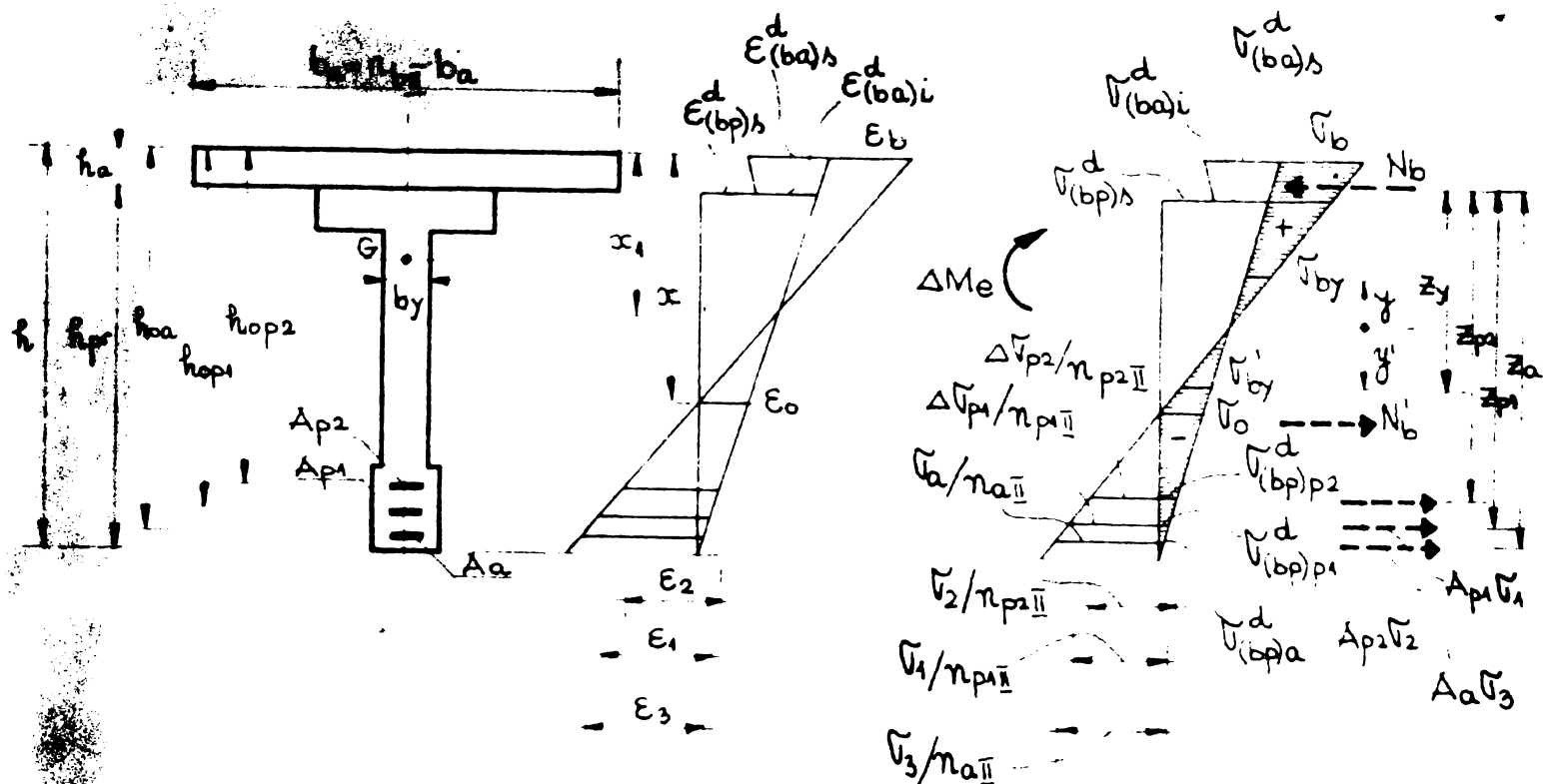


FIG. 3.45. DEFORMAȚII SPECIFICE ȘI EFORTURI UNITARE, ÎN STADIUL II, ÎN IPOTEZA COMPORTĂRII ELASTICE A CELOR DOUĂ BETOANE.

Sistemul de ecuații ce se formează este:

$$\int_{-x_1}^{x_1} \sigma_{by} b_y dy - \int_{h-x_1}^{h-x_2} \sigma'_{by} b'_y dy' - A_{p1} \sigma_1 - A_{p2} \sigma_2 - A_a \sigma_3 = 0 \quad (3.62)$$

$$\Delta I_e = \int_{-x_1}^{x_1} \sigma_{by} b'_y z_y dy' + A_{p1} \sigma_1 z_{p1} + A_{p2} \sigma_2 z_{p2} + A_a \sigma_3 z_a \quad (3.63)$$

$$\sigma_0 = \sigma_{(bp)s}^d (h-x)/h_{pr}; \quad \sigma_0 = \sigma_b (x-x_1)/x_1 \quad (3.64-3.65)$$

$$\sigma_1 = \sigma_b \frac{h_{op1} - x_1}{x_1} n_{p1II}; \quad \sigma_2 = \sigma_b \frac{h_{op2} - x_1}{x_1} n_{p2II}; \quad \sigma_3 = \sigma_b \frac{h_{op} - x_1}{x_1} n_{aII} \quad (3.66-3.68)$$

Înlocuind pe σ_0 din ecuația (3.65) în ecuația (3.64) rezultă:

$$\sigma_b = \sigma_{(bp)s}^d (h-x)x_1/h_{pr}(x-x_1) \quad (3.69)$$

Sistemul format din ecuațiile (3.62 - 3.63) și (3.66 - 3.69) este un sistem neliniar de ecuații a cărei rezolvare se poate face cu calculatorul electronic, prin intermediul bibliotecii matematice generale SANDIA, sau prin încercări.

Eforturile unitare în secțiunea fisurată sînt:

- în fibra superioară a betonului precomprinat:

$$\sigma_{(bp)s} = \sigma_{(bp)s}^d + \sigma_{bl} \quad (3.70)$$

- în fibra inferioară, respectiv superioară, a betonului

armat:

$$\sigma_{(ba)i} = \sigma_{(ba)i}^d + n_{bII} \sigma_{bl}; \quad \sigma_{(ba)s} = \sigma_{(ba)s}^d + n_{bII} \sigma_b \quad (3.71-3.72)$$

- în armăturile pretensionate și armătura complementară:

$$\Delta \sigma_{p1} = \sigma_1 - n_{p1III} \sigma_{(bp)p1}^d; \Delta \sigma_{p2} = \sigma_2 - n_{p2II} \sigma_{(bp)p2}^d; \sigma_a = \sigma_3 - n_{aII} \sigma_{(bp)a}^d \quad (3.73 - 3.75)$$

În figura 3.46 se prezintă calculul unei secțiuni dreptunghiulare prin intermediul relațiilor de la punctul 2.6.1 și prin particularizarea procedurii de mai sus. Se constată identitatea rezultatelor.

Determinarea eforturilor unitare în ipoteza comportării elasto-plastice a betonului precomprimat și/sau betonului armat.

În cazul plasticizării betonului precomprimat sistemul de ecuații este (Fig.3.47):

$$\int_0^{x_1} \sigma_{by} b_y dy - \int_0^{h-x_1} \sigma'_{by} b'_y dy' - A_{p1} \sigma_1 - A_{p2} \sigma_2 - A_a \sigma_3 = 0 \quad (3.76)$$

$$\Delta M_e = \int_0^{h-x_1} \sigma'_{by} b'_y z_y dy' + A_{p1} \sigma_1 + A_{p2} \sigma_2 + A_a \sigma_3 \quad (3.77)$$

$$\sigma_0 = \sigma_{(bp)s}^d (h-x)/h_{pr}; \quad \sigma_0 = \sigma_b (x-x_1)/x_1 \quad (3.78-3.79)$$

$$\sigma_1 = \sigma_b (h_{op1} - x_1) n_{p1III} / x_1; \quad \sigma_2 = \sigma_b (h_{op2} - x_1) n_{p2II} / x_1; \quad (3.80-3.81)$$

$$\sigma_3 = \sigma_b (h_{oa} - x_1) n_{aII} / x_1; \quad \sigma_{(bp)s}^d (h-x_2)/h_{pr} + \sigma_b (x_1-x_2)/x_1 = R_{cp} \quad (3.82-3.83)$$

Eforturile unitare, în beton, în secțiunea fisurată sînt:

- în fibra superioară a betonului precomprimat: $\sigma_{(bp)s} = R_{cp}$;
- în fibra inferioară, respectiv superioară a betonului armat:

$$\sigma_{(ba)i} = \sigma_{(ba)i}^d + n_{bII} \sigma_{b1}; \quad \sigma_{(ba)s} = \sigma_{(ba)s}^d + n_{bII} \sigma_b;$$

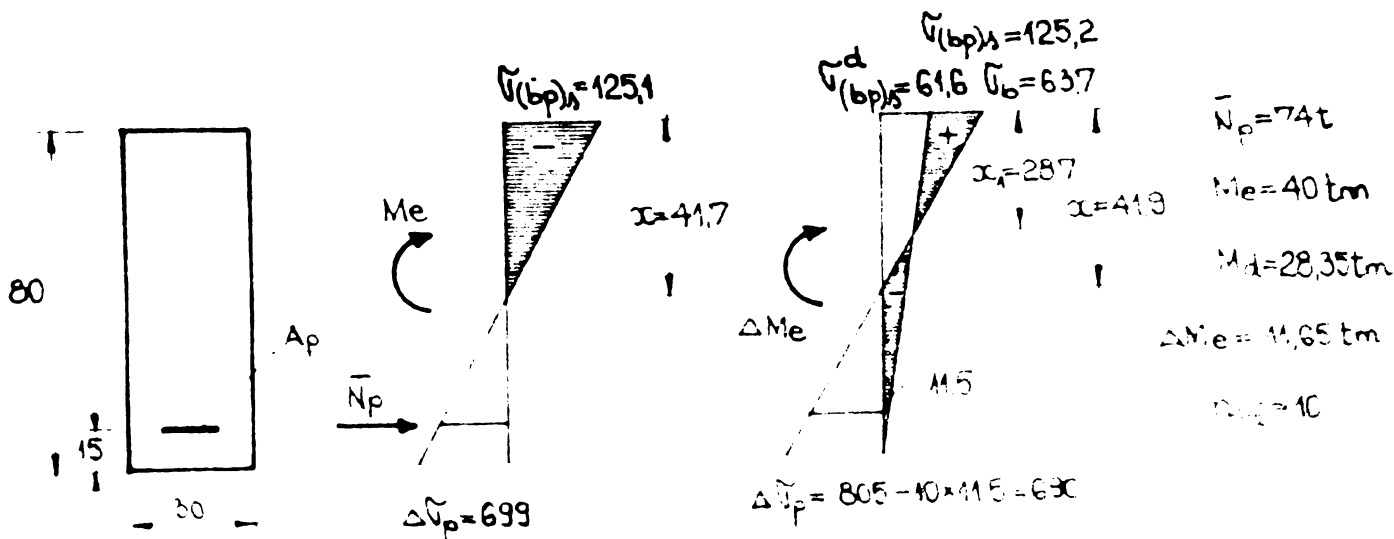


FIG 3.46 SINTEZA CALCULELOR COMPARATIVE PRIVIND CALCULUL EFORTURILOR UNITARE ÎN SECȚIUNI NORMALE FISURATE.

Eforturile unitare în armături se calculează cu relațiile: (3.73 - 3.75).

În cazul plasticizării ambelor tipuri de beton (Fig.3.48), sistemul de ecuații este format din ecuațiile (3.76 - 3.78), la care se adaugă următoarele ecuații:

$$\sigma_0 = \sigma_b(x-x_1)/(x_1-x_3) \quad (3.84)$$

$$\sigma_1 = \sigma_b \frac{h_{op1} - x_1}{x_1 - x_3} n_{p1III}; \quad \sigma_2 = \sigma_b \frac{h_{op2} - x_1}{x_1 - x_3} n_{p2II}; \quad \sigma_3 = \sigma_b \frac{h_{oa} - x_1}{x_1 - x_3} n_{aII} \quad (3.85-3.87)$$

$$\sigma_{(bp)s}^d \frac{h-x_2}{h_{pr}} + \sigma_b \frac{x_1-x_2}{x_1-x_3} = R_{cp}; \quad \sigma_{(ba)s}^d - (\sigma_{(ba)s}^d - \sigma_{(ba)i}^d) \frac{x_3}{h_a} = R_{cp} \quad (3.88-3.89)$$

Eforturile unitare, în beton, în secțiunea fisurată sînt:

- în fibra superioară a betonului precomprimat: $\sigma_{(bp)s} = R_{cp}$
- în fibra inferioară, respectiv superioară, a betonului

armat: $\sigma_{(ba)i} = \sigma_{(ba)i}^d + n_{bII} \sigma_{bl}$; $\sigma_{(ba)s} = n_{bII} R_{cp} = R_{ca}$.

Eforturile unitare în armături se calculează cu relațiile (3.73 - 3.75).

În cazul, mai rar întîlnit, al plasticizării betonului armat (Fig.3.49) sistemul de ecuații se formează din ecuațiile (3.76-3.78), (3.84-3.87) și (3.89).

Eforturile unitare, în beton, în secțiunea fisurată sînt:

- în fibra superioară a betonului precomprimat:

$$\sigma_{(bp)s} = \sigma_{(bp)s}^d + \sigma_{bl}$$

- în fibra inferioară, respectiv superioară, a betonului

armat: $\sigma_{(ba)i} = \sigma_{(ba)i}^d + n_{bII} \sigma_{bl}$; $\sigma_{(ba)s} = n_{bII} R_{cp} = R_{ca}$

Eforturile unitare în armături se calculează cu relațiile (3.75 - 3.7).

3.6.3. Procedee aproximative pentru calculul eforturilor unitare

În vederea facilitării calculului eforturilor unitare se prezintă două procedee aproximative pentru cazul, cel mai frecvent, al comportării elastice a celor două tipuri de beton.

3.6.3.1. Procedeele rapoartelor (I)

Procedeele se bazează pe admiterea aceluiași raport între eforturile unitare în beton în secțiunile fisurate ca și în secțiunile nefisurate. Aceste rapoarte se stabilesc între eforturile unitare determinate în starea de decomprimare - procedeele I 1 (Fig.3.50 a) sau între eforturile unitare determinate sub acțiunea momentului încovoie-

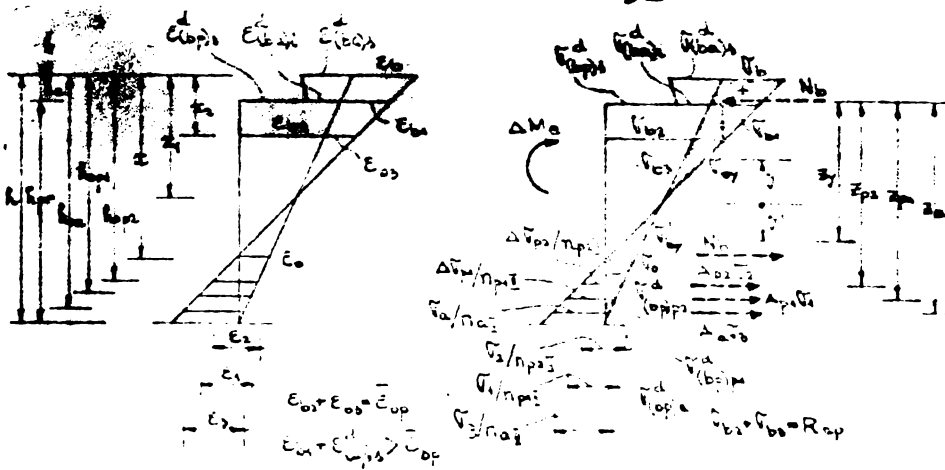


FIG 3.47. PLASTICIZAREA BETONULUI PRECOMPRIMAT

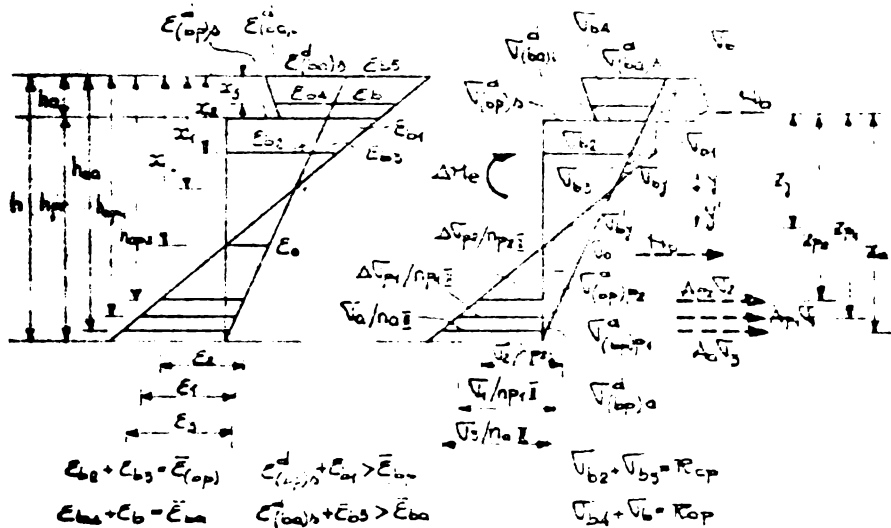


Fig 3.48. PLASTICIZAREA BETONULUI PRECOMPRIMAT SI ARMAT

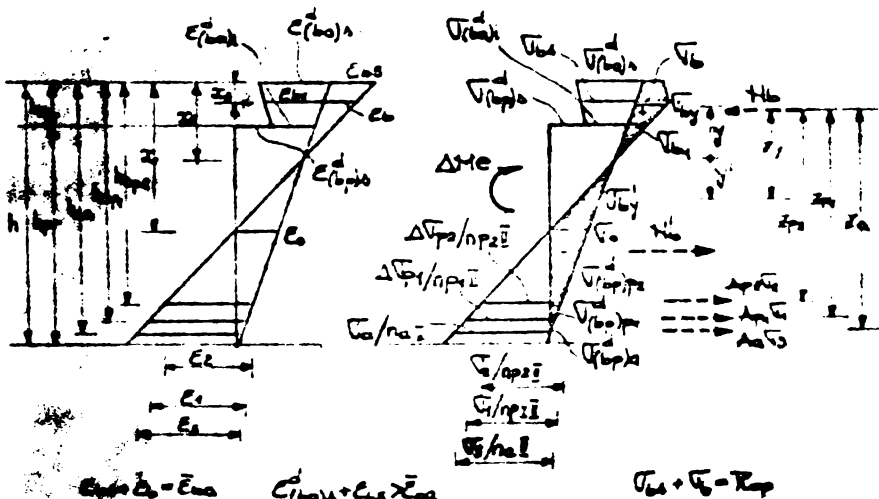


Fig 3.49. PLASTICIZAREA BETONULUI ARMAT

tor de exploatare, in ipoteza ca betonul nu fisureaza - procedeul I2 (Fig.3.50 b).

Rapoartele ce apar intre eforturile unitare sint:

- procedeul I1

$$k_i^{I1} = \sigma^d_{(ba)i} / \sigma^d_{(bp)s}$$

$$k_s^{I1} = \sigma^d_{(ba)s} / \sigma^d_{(bp)s}$$

- procedeul I2

$$k_i^{I2} = \sigma^e_{(ba)i} / \sigma^e_{(bp)s}$$

$$k_s^{I2} = \sigma^e_{(ba)s} / \sigma^e_{(bp)s}$$

Valorile acestor rapoarte permit exprimarea eforturilor unitare

$\sigma_{(ba)i}$ si $\sigma_{(ba)s}$ in func-

tie de $\sigma_{(bp)i}$, in am-

bele cazuri sistemul de

ecuatii ce permite de-

terminarea eforturilor

unitare este:

$$i_{pl}^{int} - \Delta \Pi_{p1} + \Pi_{p2} = \int_0^x \sigma_{by} b_y dy - A_{p1} \Delta \sigma_{p1} - A_{p2} \Delta \sigma_{p2} - A_a \sigma_a$$

$$i_e = (i_{pl}^{int} - \Delta \Pi_{p1}) z_{p1} - \Pi_{p2} z_{p2} = A_{p1} \Delta \sigma_{p1} z_{p1} + A_{p2} \Delta \sigma_{p2} z_{p2} + A_a \sigma_a z_a$$

$$\Delta \sigma_{p1} = \sigma_{(bp)s} \frac{h_{op1} - x}{x - h_a} n_{p1II}; \quad \Delta \sigma_{p2} = \sigma_{(bp)s} \frac{h_{op2} - x}{x - h_a} n_{p2II}$$

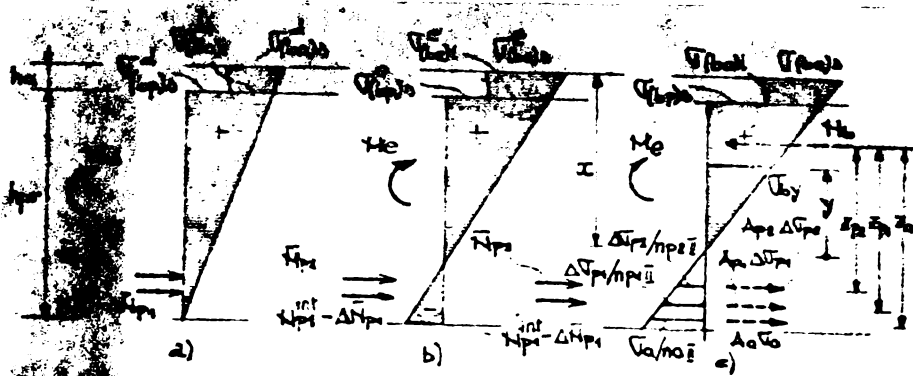


Fig. 3.50. PROCEDUL RAPOARTELOR

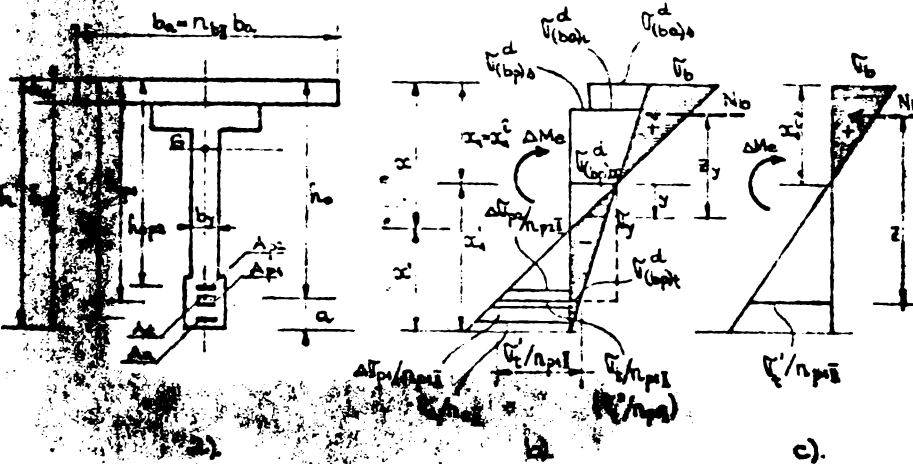


Fig. 3.51. PROCEDUL CORECȚIEI ULTERIOARE

$$\sigma_a = \sigma_{(bp)s} \frac{h_{oa} - x}{x - x_a} n_{aII}$$

$$\sigma_{(ba)i} = k_i \sigma_{(bp)s}$$

$$\sigma_{(ba)s} = k_s \sigma_{(bp)s}$$

unde: k_i și k_s su valorile k_s^{I1} sau k_i^{I2} , după cum este vorba de procedeul I1 sau I2; acești coeficienți conțin implicit și pe n_{bII} .

3.6.3.2. Procedeul corecției ulterioare (II)

Procedeul constituie o generalizare a propunerii, făcută de Levi în Comitetul mixt CEB-FIP în 1964, privind calculul eforturilor unitare în secțiunile

dreptunghiulare fisurate ale elementelor precomprimate /48/.

Aria armăturii pretensionate, A_{p1} și A_{p2} , și aria armăturii pasive se înlocuiește cu aria totală: $A_t = A_{p1} + A_{p2} E_{p2} / E_{p1} + A_a E_a / E_{p1}$ care este plasată la distanța a de fibra inferioară. În această arie totală de armătură va apare, în secțiunea fisurată, efortul unitar σ_t .

Ca origine se ia starea de decomprimare peste care se suprapune starea de eforturi unitare produsă de momentul încovoietor ΔM_e . Din ecuația de momente, scrisă în raport cu N_p , rezultă (Fig. 3.51 b):

$$\sigma_t = \frac{\Delta M_e}{A_t z} - \frac{1}{A_t z} \int_0^{x'_1} \sigma_{by} b_y z_y dy \quad (3.90)$$

Valoarea integralei din relația (3.90) nu poate fi calculată deoarece nu se cunoaște valoarea x'_1 și valoarea x' .

Aproximația procedurii constă în a admite că valoarea x_1 este egală cu valoarea x_1^I , ce apare atunci când secțiunea compusă fisurată și prevăzută cu A_t , este supusă la momentul încovoietor ΔM_e (Fig. 3.51 c), și în a determina în primă aproximație efortul unitar din armătura totală A_t cu relația:

$$\sigma_t^I = \Delta M_e / A_t z \quad (3.91)$$

Ținând cont de efortul unitar în beton în dreptul armăturii A_t , rezultă:

$$\sigma_t^n = \Delta M_e / A_t z - n_{pIII} \sigma_{(bp)t}^d \quad (3.91')$$

Cunoscînd valoarea $x_1 = x_1^s$ și x_1' se poate calcula valoarea x' din relația:

$$x' - a = (x_1' - a) \frac{\sigma_t^n / n_{pIII}}{(\sigma_t^n / n_{pI} + \sigma_{(bp)x}^d)}$$

unde: $\sigma_{(bp)x}^d = \sigma_{(bp)s}^d x_1' / n_{pr}$

Cunoscînd x_1' și x_1 se poate calcula valoarea integralei din relația (3.90) iar efortul unitar în armătura A_t rezultă prin corecția valorii obținute din relația (3.91) cu valoarea integralei din relația (3.90):

$$\sigma_t = \sigma_t^n - \frac{1}{A_t z} \int_0^{x_1'} \sigma_{by} b_y z_y dy$$

Eforturile unitare în armăturile pretensionate și în armătura complementară sînt:

$$\Delta \sigma_{p1} = \sigma_t \frac{h_{op1} - x}{h_0 - x}; \quad \Delta \sigma_{p2} = \sigma_t \frac{h_{op2} - x}{h_0 - x} \frac{s_{p2}}{L_{p1}}; \quad \sigma_s = \sigma_t \frac{h_{os} - x}{h_0 - x} \frac{s_a}{s_{p1}}$$

Efortul unitar în beton este: $\sigma_b = (\sigma_t / n_{pIII} + \sigma_{(bp)t}^d) x_1 / (h_0 - x_1)$
 Eforturile unitare în fibrele extreme ale betonului armat și în fibra superioară a betonului precomprimat se calculează cu relațiile (3.70 - 3.72).

3.6.3.3. Compararea procedeelor aproximative cu procedeul exact și posibilități de utilizare

Pentru a analiza exactitatea procedeelor *aproximative* s-a calculat starea de eforturi unitare în secțiunile normale fisurate, pentru trei elemente experimentale din etapa II, prin procedeul exact (Anexa 4) și prin procedeele *aproximative*.

Din analiza valorilor se constată următoarele:

- procedeul rapoartelor (ambele variante) dă valori mai mici, în fibra superioară a betonului armat (-25%), decît procedeul exact și valori mai mari, în fibra inferioară a betonului armat și în fibra superioară a betonului precomprimat (30%), decît procedeul exact;

- față de procedeul exact, procedeul corecției ulterioare dă în fibrele de beton eforturi unitare mai mici (-35%);

- în privința variației efortului unitar în armătura pretensionată la cele mai apropiate valori conduce procedeul corecției ulterioare (-1,0%), procedeul rapoartelor conduce la valori mai mici (-10%) decît procedeul exact.

- avînd în vedere că elementul principal al stării de eforturi unitare, în secțiunea fisurată, îl constituie variația efortului

unitar în armătura pretensionată se recomandă utilizarea procedurii corecției ulterioare, atunci când se dorește o rezolvare rapidă și suficient de corectă sau când procedul exact se consideră prea laborios.

4. INFLUENȚA PREZENȚEI ȘI DISTRIBUȚIEI ARMĂTURII NEPRETENSIONATE DE REZISTENȚA ASUPRA COMPORTĂRII LA FISURARE A ELEMENTELOR DIN BETON PRECOMPRESAT PARTIAL CU ARMĂTURI PREINTINSE ȘI BARE PC.

4.1. Generalități

Betonul armat a apărut din necesitatea de a înlătura, principala deficiență a betonului: slaba comportare la întindere. Armătura, introdusă în beton, are rolul de a prelua întinderile pe care nu le poate prelua betonul, elementul lucrând în exploatare cu betonul întins fisurat.

Betonul precomprimat a fost conceput pentru a lucra cu toată secțiunea comprimată (eventual mici întinderi ce să nu producă fisurarea), în acest caz armătura avînd rolul de a crea o stare inițială de compresiune, preponderantă în zonele în care din încărcările exterioare apar întinderi.

În mod paradoxal betonul precomprimat integral prezintă anumite dezavantaje: creșteri mari ale săgeților datorate curgerii lente, produsă de un efort mare de precomprimare, efort necesar pentru a anula în întregime eforturile unitare de întindere din încărcările exterioare; un consum sporit de armătură pretensionată mai ales în zonele în care nu este necesară o precomprimare puternică; imposibilitatea de a crea o precomprimare integrală în toate secțiunile unei structuri; iraționalitatea prevederii precomprimării integrale sub combinația cea mai defavorabilă de încărcări, combinație ce poate apărea relativ rar, pentru durabilitatea elementelor fiind hotărîtoare, de regulă, comportarea sub încărcările de lungă durată; de regulă fisurile, cînd apar accidental din diferite motive, sînt la distanțe mari și deformațiile specifice se concentrează numai la cîteva dintre ele, rezultînd în acest fel o comportare necorespunzătoare; o siguranță foarte mare în starea limită de rezistență în fază finală.

În vederea înlăturării, totale sau parțiale, a unora din aceste dezavantaje a existat o singură soluție: reducerea efortului de precomprimare. Consecința acestei reduceri a produs o modificare esențială în concepția despre betonul precomprimat: necesitatea de a admi-

te fisuri. In acest fel s-a produs o apropiere de betonul armat și nu se mai putea discuta, strict, despre betonul precomprimat, ci despre un beton precomprimat parțial, beton ce se situează între betonul armat și cel precomprimat.

Emperger a realizat, în 1939, elemente la care a prevăzut, pe lângă armătura pretensionată, și armătura nepretensionată și a admis apariția fisurilor sub încărcări ridicate.

În Uniunea Sovietică, începând cu 1940, se realizează cercetări sistematice privind utilizarea în betonul precomprimat și a armăturii nepretensionate.

În 1941, Abeles, a pretensionat numai 40% din armătura introdusă în element, realizând după 1948 numeroase poduri de cale ferată în această variantă.

În 1950 în Danemarca, apoi în 1953 în R.F.G. începe utilizarea betonului precomprimat parțial la construcția podurilor.

În perioada următoare betonul precomprimat parțial se extinde tot mai mult și în alte țări.

În țara noastră se introduce prin Normativul P 8-62 categoriile de fisurabilitate, pentru categoria a III prevăzându-se verificarea deschiderii fisurilor.

4.2. Definiția mărimii precomprimării și factorii care determină alegerea gradului de precomprimare.

Betonul precomprimat parțial face legătura între betonul armat și betonul precomprimat. Pentru diferențierea acestor trei tipuri de beton s-a optat inițial noțiunea de clasă. Conținutul claselor s-a modificat pe parcursul timpului, în prezent Codul CEB-FIP /112/ prevede trei clase de verificare (numite grupe de exigență) față de efectele fisurării, în funcție de mediul ambiant și gruparea încărcărilor.

Normele românești pentru construcții civile și industriale /108/ prevăd trei clase de verificare. Condițiile de verificare pentru secțiunile normale sînt:

- clasa I: închiderea fisurilor sub încărcările totale de exploatare;
- clasa II: închiderea fisurilor sub încărcările de exploatare de lungă durată, fisuri de maximum 0,1 mm sub încărcările totale;
- clasa III: limitarea deschiderii fisurilor sub încărcările totale de exploatare.

Leonhard este cel care introduce noțiunea de grad de precomprimare, deoarece consideră că utilizarea claselor lasă impresia unei

clasificări calitative /56/ ori în prezent tendința este de a conferi aceeași durabilitate pentru toate elementele precomprimate.

Dimitriev - Birulin definesc gradul de precomprimare prin raportul σ_0/R_p . Această definiție are dezavantajul că implică utilizarea neeconomică a armăturii pretensionate, armătură care în condițiile țării noastre are prețul de achiziționare de aproape trei ori mai mare decât armătura PC.

Această definiție indică măsura în care se pretensionează armătura.

$$\lambda_p = A_p \sigma_{0,2} / (A_p \sigma_{0,2} + A_a \sigma_c) \quad (4.1)$$

O relație asemănătoare este propusă de Neaman /65/

$$PPR = A_p \sigma_{pl} z_p / (A_p \sigma_{pl} z_p + A_a \sigma_c z_a) \quad (4.2)$$

care, în cazul că cele două armături sînt dispuse la același nivel, devine:

$$PPR = A_p \sigma_{pl} / (A_p \sigma_{pl} z_p + A_a \sigma_c z_a) \quad (4.2')$$

Gradul de precomprimare indică în acest caz proporția de capacitate portantă ce revine armăturii pretensionate din capacitatea portantă a tuturor armăturilor.

Acceași formă pentru definiția gradului de precomprimare este acceptată și de Pinglot-Pons /78/ și Brumekreef /15/ chiar în cazul că cele două tipuri de armături se află la nivele diferite.

Această modalitate de definire a gradului de precomprimare nu reflectă comportarea elementelor în stadiul de exploatare.

Walthier propune pentru gradul de precomprimare relația (fig.4.1) /12/:

$$\bar{E} = u_v / u_0 \quad (4.3)$$

unde: u_0 este forța de deviație uniform distribuită produsă de armătura pretensionată pentru realizarea precomprimării integrale, care poate fi luată aproximativ $0,7 (p + q)$;

u_v - forța de deviație realizată de armătura pretensionată efectivă dispusă în grindă.

Relația este aplicabilă numai în cazul grinzilor simplu rezemate și prevăzute cu fascicole cu traseu parabolic.

Pentru definirea gradului de precomprimare, pentru elementele încovoiate, Bachman a propus relația /12/:

$$k = M_d / M_e \quad (4.4)$$

unde: M_d este momentul încovoierilor de decomprimare;

M_e - momentul încovoierilor total produs de încărcările exterioare.

Gradul de precomprimare k indică fracțiunea din momentul încovoietor exterior pentru care secțiunea este comprimată în întregime. Acest mod de definire a gradului de precomprimare este susținut și de Brondum Nielsen. Este de asemenea de reținut că oca 95% din lucrările prezentate la Simpozionul FIP de la București, pe tema precomprimării parțiale, admit ca definiție principală relația (4.4).

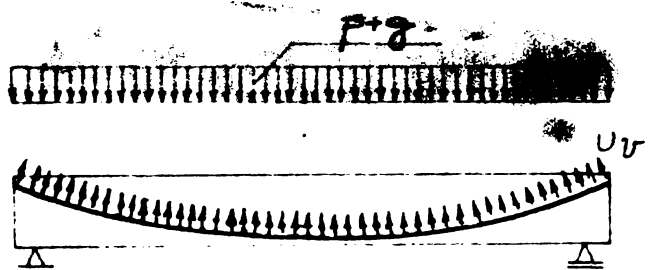


Fig 4.1. EFECTUL ARMĂTURII PRETENSIONATE - CURBE

Pentru aplicarea relației (4.4) și la elementele solicitate excentric aceasta a fost generalizată de Popăescu /36/, /37/ și /79/ și pusă sub formă:

$$k = \frac{M_S^0}{M_S^B} \quad (4.4')$$

unde: M_S^0 este momentul încovoietor produs de efortul de precomprimare în raport cu limita superioară a sîmburelui central.

M_S^B - momentul încovoietor al solicitărilor M^B și M^D produse de încărcările exterioare totale în raport cu același punct.

Precomprimarea parțială se poate realiza în două variante și anume: precomprimarea limitată (folosită mai des la începutul perioadei de utilizare a precomprimării parțiale) și precomprimarea moderată (folosită pe scară largă în prezent).

Precomprimarea limitată se poate realiza cu armături preîntinse sau postîntinse, cu sensibilitate la coroziune, fără sau cu armătură nepretensionată care nu are o contribuție importantă în determinarea capacității portante (Fig.4.2 a). Sub efectul încărcărilor totale se admite diagrama de eforturi unitare din figura 4.2.b, deschiderea fisurilor limitându-se la 0,1 - 0,15 mm cu condiția închiderii lor sub efectul încălzirii de lungă durată.

Precomprimarea moderată se poate realiza cu armături preîntinse și postîntinse, cu sensibilitate la coroziune și cu armături nepretensionate de rezistență (Fig.4.2 c). De asemenea se pot utiliza pentru armăturile preîntinse bare laminate cu profil periodic, cu sensibilitate redusă la coroziune, fără sau cu armături nepretensionate de rezistență. Starea de eforturi unitare sub efectul încărcărilor totale este prezentată în figura 4.2.d. Deschiderea fisurilor se limitează la 0,1 - 0,15 mm la nivelul armăturii pretensionate sensibile la coroziune. Pentru armăturile pretensionate din bare laminate cu profil periodic și pentru armăturile nepretensionate de rezistență limitarea deschiderii fisurilor se face, ca pentru elementele din beton

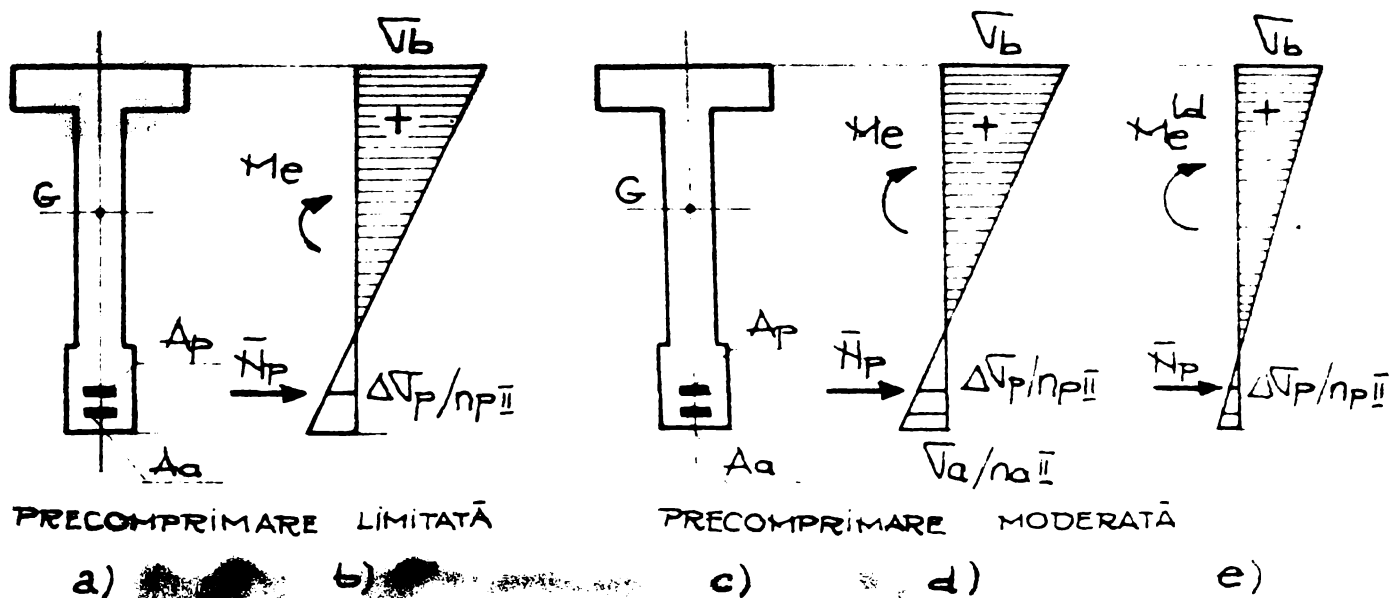


Fig 4.2. VARIANTE DE REALIZARE A PRECOMPRIMĂRII PARȚIALE armat. Sub acțiunea încărcărilor de lungă durată se cere închidera fisurilor. Utilizarea unui grad de precomprimare $k = 0,7$, recomandat de /116/, și care este inferior celui corespunzător clasei II de fisurabilitate din STAS 10107/0-76, conduce la neasigurarea închiderii fisurilor sub încărcările de exploatare de lungă durată. Din acest motiv Normativul P 103 /116/ înlocuiește verificarea închiderii fisurilor normale cu limitarea deschiderii medii a fisurilor normale la $0,03$ mm (Fig.4.2 e). Deși gradul de precomprimare este mai scăzut în acest caz creșterea de efort unitar în armătura pretensionată este de același ordin de mărime ca în cazul precomprimării limitate datorită aportului armăturii nepretensionate, plasată mai aproape de fibra inferioară a elementului. În consecință și deschiderea fisurilor, la nivelul armăturii pretensionate este de același ordin de mărime.

Din compararea celor două tipuri de precomprimări parțiale se constată că armătura nepretensionată se află în două ipostaze diferite. În cazul precomprimării limitate această armătură nu are un aport important pentru capacitatea portantă și nu are o influență hotărâtoare în comportarea corespunzătoare la fisurare. În cazul precomprimării moderate această armătură are un rol determinant atât în stadiul de exploatare cât și starea limită de rezistență. Din acest motiv s-a propus ca în cazul precomprimării limitate această armătură să fie numită armătură pasivă iar în cazul precomprimării moderate să fie numită armătură complementară /79/.

Alegerea gradului de precomprimare, respectiv a uneia din următoarele variante: precomprimarea integrală, precomprimare limitată sau precomprimare moderată, depinde de o serie întreagă de factori. Dintre cei mai importanți se pot aminti: condițiile de funcționare

ale elementului, prețul de cost și energia înglobată în element.

Din punct de vedere al condițiilor de exploatare betonul precomprimat integral este cel mai avantajos. Din cercetările efectuate pînă în prezent, atît în țară /79/ cît și în străinătate /57/, a rezultat că principalul factor în evitarea coroziunii armăturii pre-tensionate îl constituie realizarea unui beton compact și omogen cu o acoperire corespunzătoare a armăturii, care să asigure alcalinitate corespunzătoare. Durata de dezalcalinizare (inițierea coroziunii) a armăturilor pretensionate este chiar durata de viață a construcției. De aceea este necesar ca fisurile apărute să aibă, sub încărcările de lungă durată, valori de maximum 0,03 mm. Deschiderile maxime admise, sub încărcările totale de exploatare au din același motiv valori mai mici decît în cazul elementelor din beton armat. Reducerea deschiderii fisurilor se poate obține prin intercalarea unei părți din armătura complementară între armăturile pretensionate /13/, /79/ (Fig.4.3).

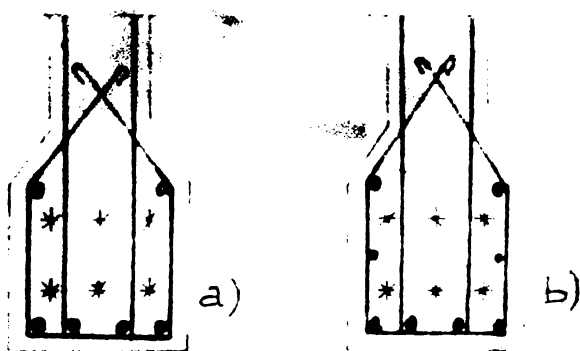


Fig 4.3. DISPUNEREA ARMĂTURILOR COMPLEMENTARE

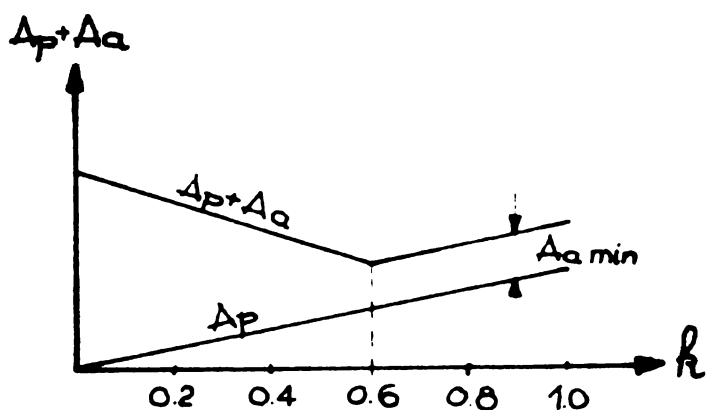
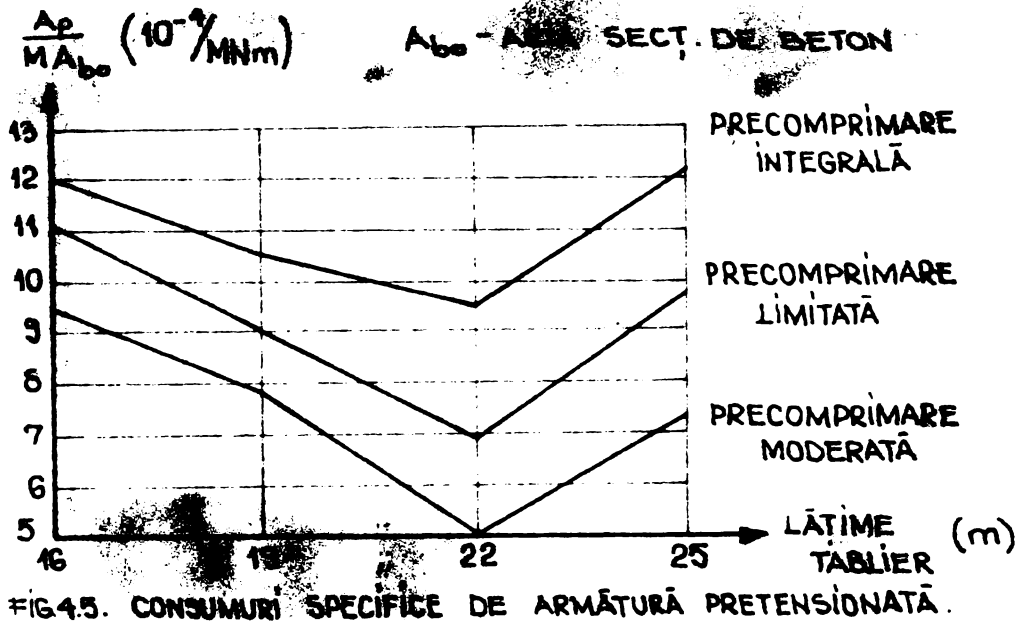


Fig 4.4. VARIATIA CONSUMULUI DE ARMĂTURĂ CU GRADUL DE PRECOMPRIMARE

Principalul avantaj al precomprimării parțiale este reducerea consumului de armătură, atît pre-tensionată cît și totală /12/, /13/, /48/, /58/, /65/ (Fig.4.4).

În urma calculelor comparative pe tabliere de poduri de cale ferată, Hőptner obține reduceri ale armăturii pretensionate, utilizînd precomprimarea limitată și precomprimarea moderată /52/. În figura 4.5 se prezintă consumurile specifice de armătură pentru diferite lățimi de tabliere.

Prin reproiectarea, în varian-ta precomprimării moderate, a unor elemente tipizate s-au obținut reduceri ale armăturii pretensionate cu 25-43 % și a consumului total cu 3,5 - 7%, la elemente cu deschideri de 6 - 9 m, rezultînd și o reducere a consumului de ciment cu 15% prin trecerea de la B 500 la B 400 /79/.



In vederea studierii efectului precomprimării parțiale asupra elementelor de poduri, s-a analizat variația prețului de cost și consumul de energie înglobată pentru elementele prezentate sintetic în figura 4.6. Toate elementele au fost dimensionate pentru aceleași solicitări și au fost concepute pentru po-

duri cu deschideri de 14 m. In tabelul 4.1 se prezintă variația prețului de cost și a energiei înglobate, valori stabilite pe baza Nomenclatorului de materiale pentru lucrări de construcții montaj și pe baza listei de consumuri energetice specifice, emisă de ICCPDC. Pentru gradele de precomprimare alese costul și energia înglobată sînt minime pentru gradul de precomprimare 0,7 (face excepție consumul energetic la elementul C I).

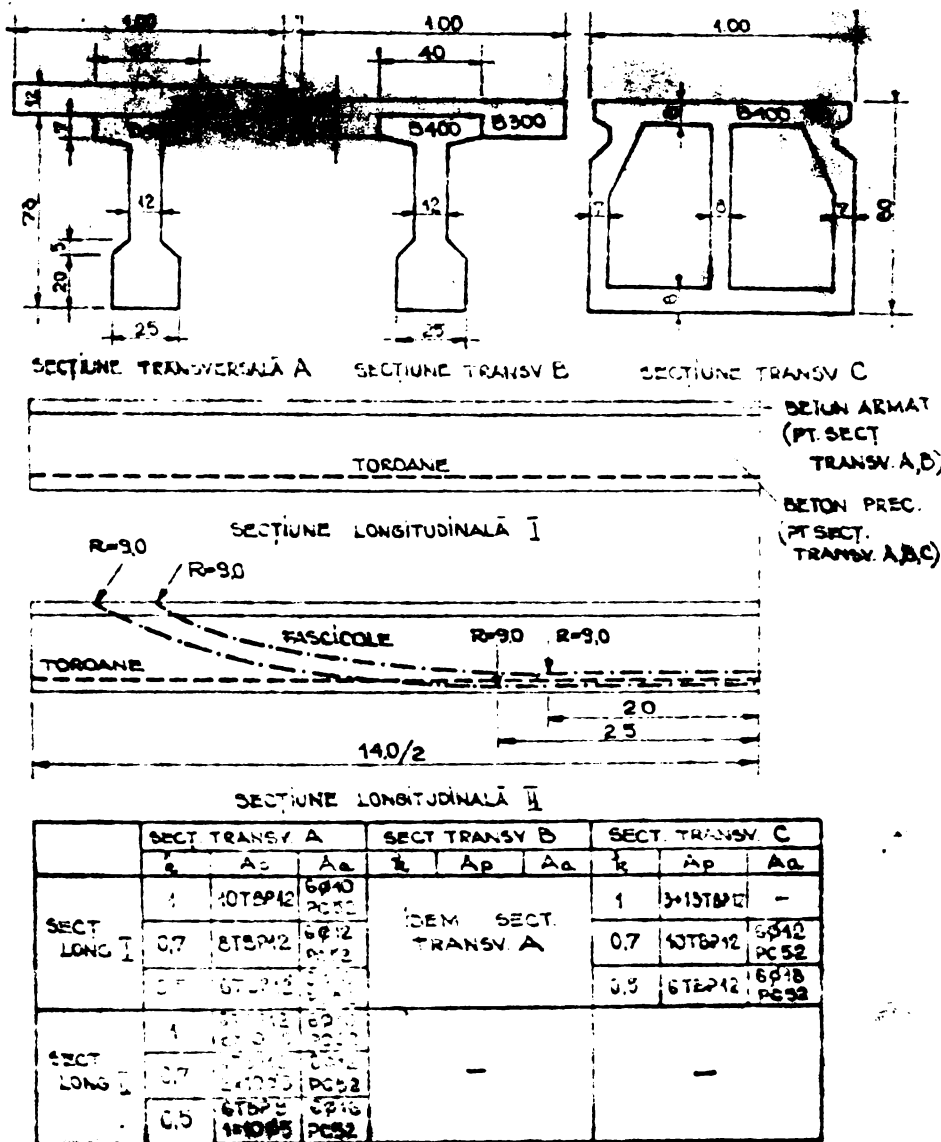


FIG. 4.6. ELEMENTE DE POD.

Tabelul 4.1

Compararea prețului de cost și energiei înglobate

Criteriu de apreciere	Element	Grad de precomprimare		
		1.0	0.7	0.5
Preț de cost	A I	100%	96,5%	112%
	A II	100%	97,1%	113%
	B I	100%	97,3%	112,5%
	C I	100%	96,8%	115%
Energia înglobată	A I	100%	95,3%	119%
	A II	100%	95,8%	118%
	B I	100%	96,1%	119%
	C I	100%	100%	120%

Capacitatea elementelor încovoiate de a absorbi energia dinamică produsă de încălzirea seismică este legată de posibilitatea de deformare a elementelor în momentul rușinii. Această capacitate este determi-

nată de suprafața diagramei M-f, care este sporită pe măsură cu reducerea gradului de precomprimare (Fig.4.7). După cum rezultă din figura 4.7 elementele parțial precomprimate, în special cele cu precomprimare moderată, au o comportare asemănătoare cu elementele din beton armat.

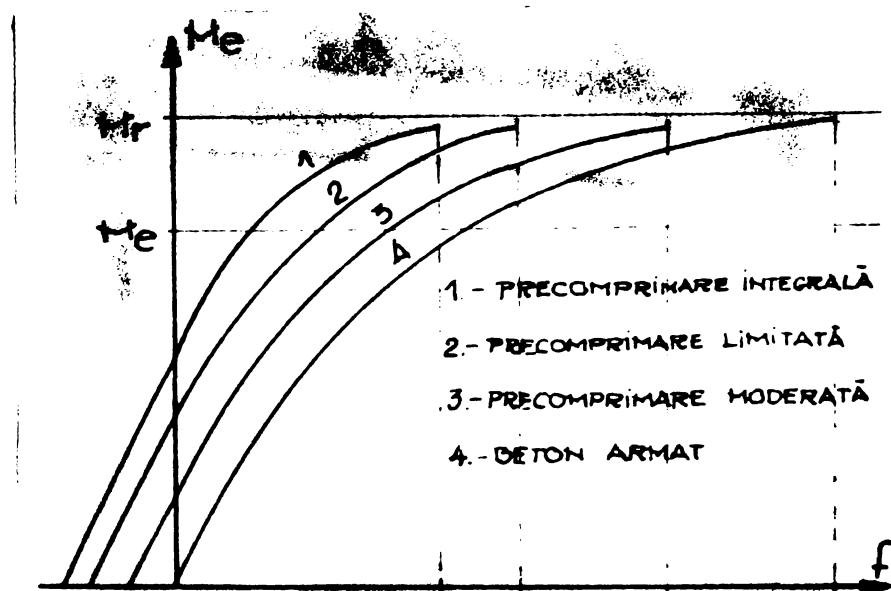


Fig.4.7. DIAGRAMA SOLICITARE - SĂGEATĂ

Având în vedere cele de mai sus se pot desprinde câteva avantaje ale betonului parțial precomprimat: reducerea consumului de armătură pretensionată și simplificarea dispunerii ei; reducerea contracșiilor, necesare pentru a anula creșterea și sigeiilor sub efectul curgerii lente; reducerea efortului de precomprimare cu consecințe pozitive asupra cos-

tului operației de pretensionare și asupra consumului de oțel necesar tiparelor metalice autoportante (pentru elementele cu armătura preintinsă); reducerea secțiunii comprimate la transfer și a mărcii betonului; reduceri cu consecințe pozitive asupra consumului de ciment; reducerea consumului de energie înglobată în element; creșterea ductilității elementelor.

4.3. Factorii care influențează mărimea deschiderii fisurilor

Mărimea deschiderii fisurilor la elementele parțiale precomprimate este unul din principalii factori ce asigură durabilitatea lor și de aceea este de așteptat de a li se acorda o atenție deosebi-

tă. Acești factori își manifestă influența direct sau prin intermediul distanței dintre fisuri.

In prezent este un fapt acceptat că mărimea deschiderii fisurilor este direct proporțională cu distanța dintre fisuri și de aceea factorii ce influențează această distanță influențează în același fel și deschiderea fisurilor.

Mărimea deschiderii fisurilor depinde direct proporțional de variația efortului unitar din armătura pretensionată. In figura 4.8 se prezintă această corelație, determinată experimental, din încercările, efectuate de ICB și ICPTT /38/, pe 6 grinzi de 14 m deschidere, iar în figura 4.9, corelația dintre încărcare (deci implicit variația, efortului unitar) și deschiderea fisurilor obținută din studiile efectuate la Universitatea din Kyoto /73/. Lăsînd la o parte erorile inerente, introduse de aparatele de citire, se constată că există proporționalitate între variația efortului unitar în armătura pretensionată $\Delta \sigma_p$ și deschiderea fisurilor α_f .

Gradul de precomprimare k (relația 4.4) influențează mărimea deschiderii fisurii prin intermediul lui $\Delta \sigma_p$ (Fig.4.10) /13/. Trebuie însă de avut în vedere faptul că reducerea gradului de precomprimare atrage după sine sporirea cantității de armătură complementară, care are un efect favorabil asupra mărimii deschiderii fisurii (Fig.4.9).

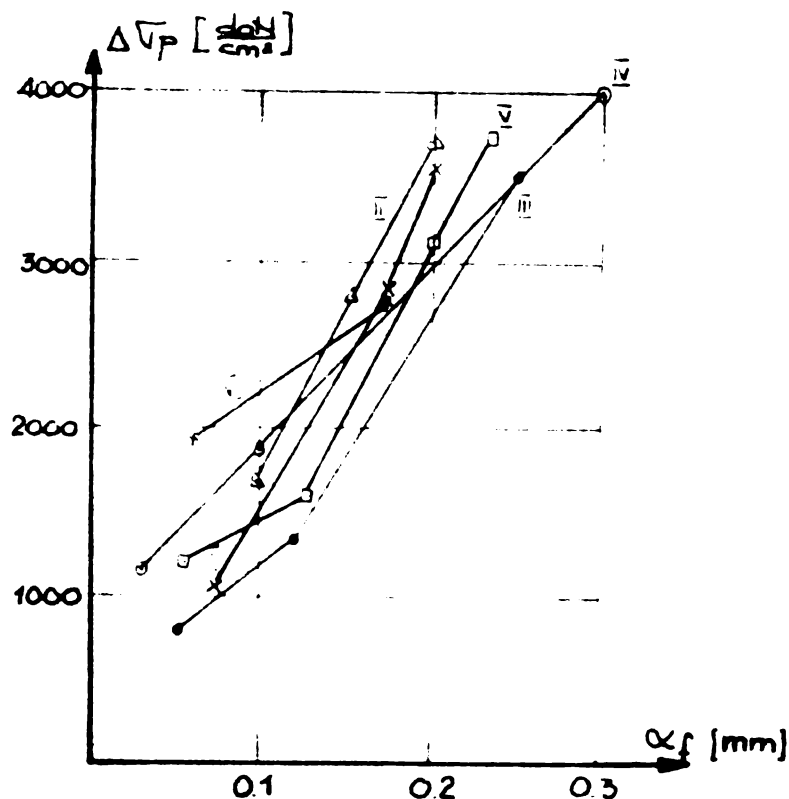


Fig 4.8 VARIATIA LUI α_f CU $\Delta \sigma_p$
(ICB - ICPTT)

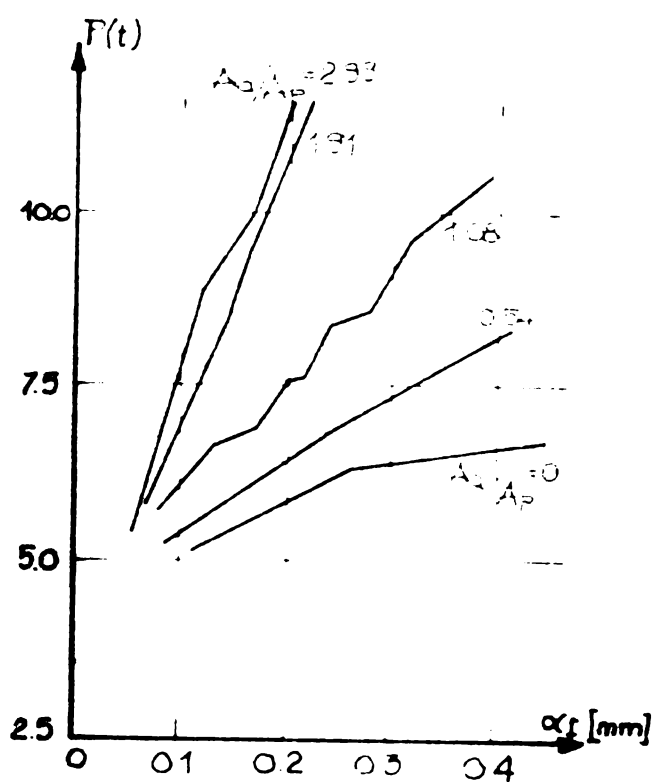


Fig 4.9 VARIATIA LUI α_f CU P
(UNIVERSITATEA KYOTO)

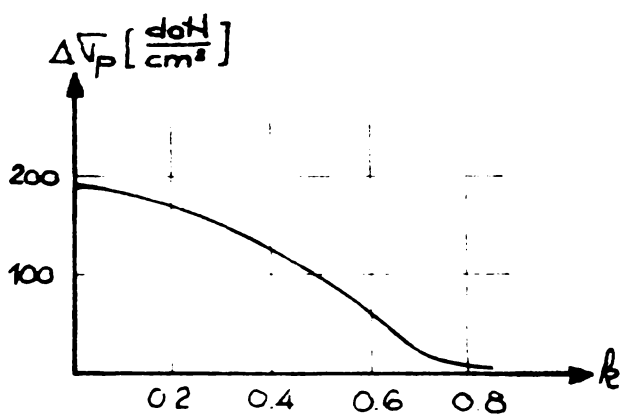


Fig. 4.10 VARIATIA LUI $\Delta\sigma_p$ CU k

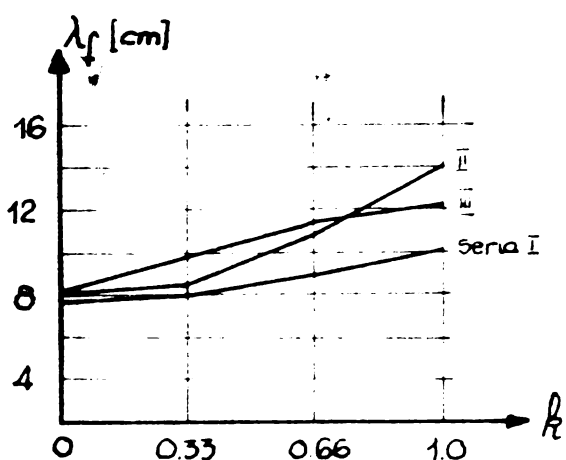


Fig. 4.11. VARIATIA LUI λ_f CU k
(INCERC - ICB)

Din încercările efectuate la INCERC București, cu colaborarea ICB, a rezultat că reducerea gradului de precomprimare duce la scăderea distanței dintre fisuri și implicit la reducerea mărimii deschiderii fisurii (Fig.4.11) /38/. De fapt se constată că distanța dintre fisuri este influențată destul de puțin de gradul de precomprimare k .

Procentul de armare influențează distanța dintre fisuri pe două căi și anume (făcînd referire la normele românești) prin raportul A_{bt}/u și prin coeficientul β_f , coeficient care ține, de fapt, cont de aderența dintre beton și armătură. Din cercetările întreprinse în Catedra de Beton armat și clădiri de la I.P. "T.V." Timișoara, asupra precomprimării parțiale, cu pretensionare limitată a armăturilor, a rezultat că o anumită deschidere de fisură se obține la o încărcare mai

mare, pe măsura creșterii procentului de armare (Fig.4.12) /75/, /96/ /97/, /98/.

Deschiderea fisurii depinde de variația efortului unitar în secțiunea fisurată, deci de deformația specifică, corespunzătoare, a armăturii. Această deformație specifică nu este constantă pe distanța dintre două fisuri, deoarece între aceste fisuri lucrează și betonul întins.

Codul Model CEB-FIP indică pentru determinarea, deformației specifice medii a armăturii, deformație ce determină mărimea deschiderii fisurii, relația (Fig.4.13):

$$\epsilon_{sm,r} = \eta \epsilon_{s2} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\sigma_{sr} / \sigma_{s2} \right)^2 \right] \sigma_{s2} / E_s \quad (4.5)$$

- unde: σ_{s2} este variația efortului unitar în armătura pretensionată;
 ϵ_{s2} - deformația specifică corespunzătoare;
 σ_{sr} - efortul unitar în armătură, calculat în stadiul II, sub efectul momentului încovoietor de fisurare;
 E_s - modulul de elasticitate al armăturii;

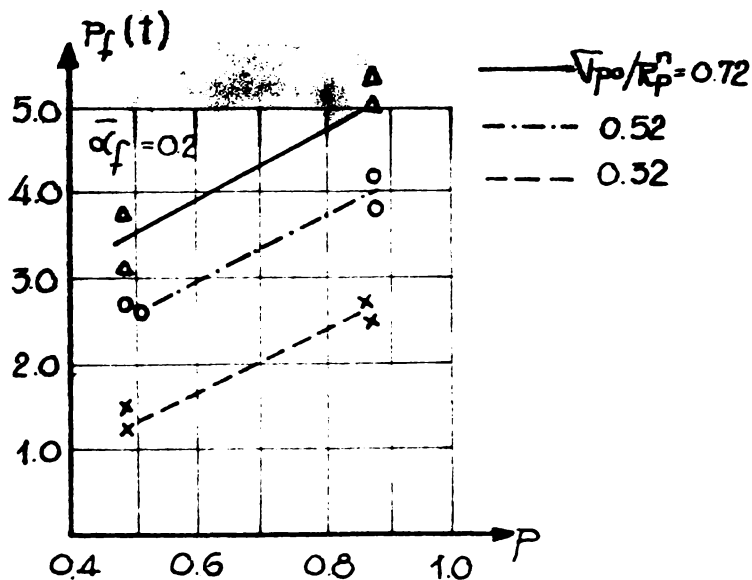


Fig. 4.12 INFLUENȚA PROCENTULUI DE ARMARE ASUPRA LUI $\bar{\alpha}_f$ (BAC - I.P. "T.V." T)

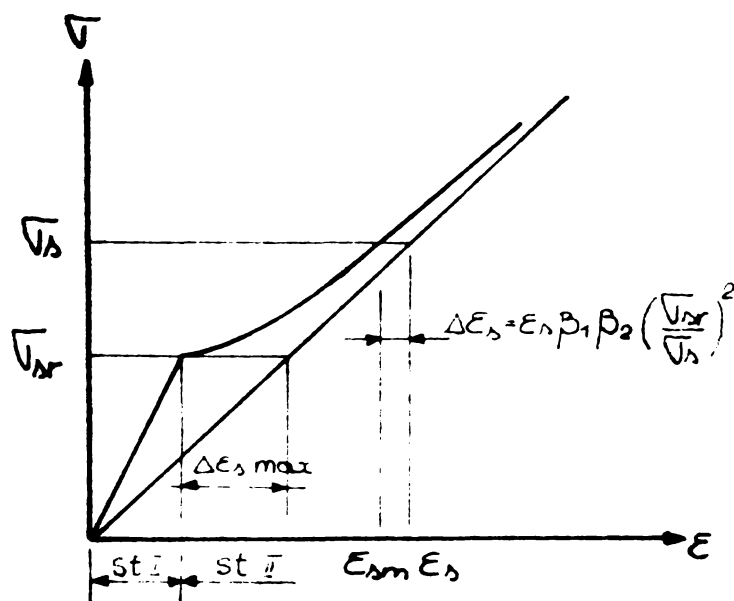


Fig. 4.13. APORTUL BETONULUI ÎNTINS DINTRE FISURI

β_1 - coeficient ce ține cont de proprietățile de aderență ale armăturii la beton; = 1,0 pentru bare cu profil periodic; = 2,0 pentru bare netede;

β_2 - coeficient ce ține cont de influența caracterului de aplicare al încărcării; = 1,0 la prima încărcare; = 0,5 pentru încărcări permanente sau repetate.

Din studiile lui Nemirovski rezultă că aportul betonului întins dintre fisuri depinde și de treapta de încărcare M_p/M , propunând pentru coeficientul de conlucrare dintre beton și armătură relația:

$$\psi = 1,1 - 1,3 \frac{M_p}{M}$$

Pornind de la studiile lui Nemirovski, pe baza cercetărilor efectuate în Catedra de beton armat și clădiri de la I.P. "T.V" Timișoara pe grinzii precomprimate cu pretensionare incompletă a armăturilor, s-a stabilit următoarea relație pentru coeficientul de conlucrare /8/, /75/, /98/:

$$\psi = 1,0 - 0,9 \frac{\sigma_0}{R_p^n} \frac{M_p}{M}, \quad (4.6)$$

relație care ține cont de treapta de încărcare și gradul de precom-

primare σ_0/R_p^n .

Pe baza aceluiași studii s-a stabilit pentru coeficientul β_f următoarea relație /8/, /75/:

$$\beta_f = 0,40 + 30 \mu / d \quad (4.6')$$

De regulă armătura complementară se dispune cât mai apropiat de fibra inferioară a elementului. Din studiile efectuate la INCERC București, pe elemente reduse la scară cât și pe elemente la scară naturală, a rezultat că intercalarea unor armături complementare, cu diametru mai mic decât cele dispuse la fibra inferioară, a condus la

indesirea fisurilor și în consecință la reducerea deschiderii fisurilor /38/, /79/.

4.4. Relatii pentru calculul mărimii deschiderii fisurilor

Pentru evaluarea mărimii deschiderii fisurilor Lloyd, Rejali și Kesler propun relația /59/:

$$w_{\max} = k_1 \Delta \sigma_s \sqrt[3]{d_c A_{cef}} \quad (\text{cm}) \quad (4.7)$$

unde: $\Delta \sigma_s$ este efortul unitar în armătura complementară după redeschiderea fisurilor;

d_c - distanța de la fibra inferioară de beton pînă la centrul de greutate al celei mai inferioare armături;

A_{cef} - aria betonului de înglobare;

$$k_1 = 0,001 \times 10^{-3}$$

Navy și Huang propun următoarea relație /66/

$$w_{\max} = k_2 A_t \sqrt{\Sigma \mu \Delta \sigma_s} \quad (\text{mm}) \quad (4.8)$$

unde: A_t este aria betonului întins;

$\Sigma \mu$ - suma perimetrelor barelor;

$$k_2 = 0,84 \times 10^{-6}$$

Bennett propune pentru calculul mărimii deschiderii fisurii relația /18/:

$$w = \beta_1 + \beta_2 \frac{\Delta \sigma_s}{E_s} c \quad (4.9)$$

unde: E_s este modulul de elasticitate al armăturii pretensionate;

c - stratul de acoperire cu beton;

$$\beta_1 = 0,02 \dots 0,04 \text{ mm};$$

$$\beta_2 = 3,8 \dots 6,5$$

Fiecare din relațiile anterioare țin cont de cîte un parametru mai important ce influențează deschiderea fisurilor. Astfel relațiile (4.7) și (4.9) țin cont de stratul de acoperire, iar relația (4.8) de perimetrul barelor. Relațiile (4.7 - 4.8) țin cont și de influența zonei de beton în care este plasată armătura.

Cestelli Guidi are în vedere pentru calculul mărimii deschiderii fisurii relația /28/:

$$w = \epsilon_s f\left(B \Sigma \frac{\varphi}{p}\right) \quad (4.10)$$

unde: ϵ_s este deformația specifică a armăturii complementare;

$$\varphi = \frac{\tau_{ad}}{R_t}$$

B - aria întinsă de beton;

p - suprafața laterală a armăturilor pe unitate de lungime.
Insumarea se face pentru grupuri de bare cu proprietăți diferite de aderență.

Cestelli Guidi consideră că se poate admite proporționalitate între w și parametrul funcției f , astfel că relația (4.10) devine:

$$w = \varepsilon_a B \Sigma \frac{\varphi}{p} \quad (4.10')$$

Față de relațiile (4.7 - 4.9) în relația (4.10) apare explicit influența proprietăților de aderență ale betonului cu armătura prin coeficientul φ .

Codul Model CEB-FIP prevede pentru calculul deschiderii fisurii relația:

$$w_m = s_{rm} \varepsilon_{sm,r} \quad (4.11)$$

unde: $\varepsilon_{sm,r}$ este deformația specifică medie a armăturii, conform relației (4.5);

s_{rm} - distanța medie dintre fisuri.

Distanța minimă dintre fisuri este dată de relația:

$$s_{rm,0} = k_2 \frac{f_{ct}}{f_{bdm}} \frac{A_{ct}}{\Sigma U} \quad (4.12)$$

unde: $k_2 = 0,5$ pentru încovoiere, $= 1,0$ pentru întindere;

f_{ct} - rezistența la întindere a betonului;

f_{bdm} - efortul unitar mediu de aderență;

A_{ct} - aria de beton întins,

ΣU - suma perimetrelor barelor

În normele românești /108/ termenul $k_2 \frac{f_{ct}}{f_{bdm}}$ se regăsește sub forma coeficientului β_f .

Pe baza rezultatelor experimentale și pentru situația când toate barele au același diametru distanța medie dintre fisuri este:

$$s_{rm} = 2(c + 0,1 s) + k_1 k_2 \phi / \rho_r \quad (4.13)$$

unde: c este stratul de acoperire cu beton;

s - distanța dintre bare;

k_1 - coeficient ce ține cont de proprietățile de aderență ale armăturilor, $0,4$ pentru bare cu profil periodic; $0,8$ pentru bare netede.

k_2 - coeficient ce ține cont de distribuția eforturilor unitare; $0,125$ pentru încovoiere; $0,25$ pentru întindere,

$$\rho_r = A_s / A_{o,ef}$$

A_s - aria de armătură

$A_{o,ef}$ - aria de înglobare în beton

Normele românești /108/ prevăd pentru calculul deschiderii fisurii relația (128) care cu notații pentru elemente precomprimate, din clasa II și III de fisurabilitate, devine:

$$\alpha_f = \lambda_f \frac{\psi \Delta \sigma_p}{E_p} \quad (4.14)$$

cu:

$$\lambda_f = \beta_f \frac{A_{bt}}{u}$$

Se prevede ca pentru elemente realizate cu toroane $\lambda_f = a_e$ și $\psi = 1$.

In /109/ se prevede pentru armături preîntinse $\psi = 0,8$.

Normativul pentru elementele parțial precomprimate indică și posibilitatea ca verificarea deschiderii fisurilor, sub încărcările de exploatare, să fie înlocuită de respectarea condiției:

$$\Delta \sigma_p \leq 1000 \text{ daN/cm}^2$$

precizându-se că pînă în momentul elaborării nu există suficiente date pentru un calcul mai detaliat. Pentru încărcările de exploatare de lungă durată se cere respectarea condiției:

$$\Delta \sigma_p \leq 300 \text{ daN/cm}^2$$

Din diversele studii efectuate /8/, /18/, /28/, /35/, /73/, /79/, /96/, /97/, /102/, /103/ a rezultat că a adăptate că distanța dintre fisuri este egală cu distanța dintre etrieri este îndepărtată de realitate, mai ales atunci cînd se prevede și armătură complementară intercalată cu armătură pretensionată.

Avînd în vedere acest lucru se propune pentru calculul distanței dintre fisuri relația:

$$\lambda_f = \beta_f \frac{A_{bf}}{u} \quad (4.15)$$

unde: A_{bf} este aria de înglobare în beton definită conform Anexei M din /109/, dar limitată la cel mult A_{bt} ;

A_{bt} - aria de beton întins în momentul apariției fisurilor;

u - perimetru total al armăturilor;

$\beta_f = a + b \sum \frac{A_i}{A}$, coeficient ce înlocuiește raportul R_t / τ_{am} .

Coeficienții a și b urmează să se determine experimental, rezultînd o evaluare globală a coeficientului β_f avînd în vedere existența a două tipuri de bare. Se va lua în considerare și raportul dintre armătura pretensionată și armătura complementară.

În privința coeficientului de conlucrare ψ , acceptînd propunerea lui Nemirovski, este mai rațional de a se utiliza ca expresie a treptei de încărcare raportul M_d / M_e deoarece în mod curent elemen-

tele parțial precomprimate sînt supuse fracțiunii de lungă durată a încărcării utile și sub această treaptă ele trebuie să fie cu secțiunile normale închise. Sub efectul restului de încărcare fisurile se vor redeschide după depășirea lui M_d , relația lui Nemirovski fiind valabilă numai la prima aplicare a încărcărilor. Avînd în vedere aceste lucruri se propune pentru calculul coeficientului de conlucrare expresia:

$$\psi = a + b M_d / M_e = a + bk \quad (4.16)$$

unde coeficienții a și b vor fi determinați experimental.

5. STUDIU EXPERIMENTAL PRIVIND COMPORTAREA IN EXPLOATARE A ELEMENTELOR DIN BETON PRECOMPRIMAT PARTIAL CU SI FARA SUPRABETONARE

5.1. Programul experimental si efectuarea incercărilor

Programul experimental a încercat să elucidese unele dintre problemele semnalate în capitolele anterioare, așa cum ar fi: influența efortului real de precomprimare asupra apariției fisurilor; influența diferiților parametri asupra momentului încovoietor de fisurare și de rupere; comportarea elementelor sub efectul unor încărcări-descărcări repetate; influența diferiților factori asupra distanței dintre fisuri și deschiderii fisurilor; determinarea experimentală a coeficienților β_f și ψ .

Cercetările experimentale s-au desfășurat în Laboratorul de Beton armat al Catedrei de Beton armat și clădiri a Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara.

Programul experimental s-a desfășurat în două etape, și anume:

- etapa I, în perioada 1972 - 1975 pe baza contractului 4110/72 fiind axat pe studiul apariției fisurilor și al comportării sub încărcarea de exploatare;

- etapa II, în perioada 1981 - 1983 pe baza contractului 870/81 și a fost axat pe studiul comportării sub încărcarea de exploatare.

5.1.1. Programul etapei I

În etapa I au fost încercate 28 grinzii din beton precomprimat parțial, confecționate la INCERC - București, fiind prevăzut a se realiza un beton de marcă B 500. Elementele experimentale au fost

înseși de epruvete prelevate din betonul turnat.

Elementele experimentale

Elementele experimentale din beton precomprimat parțial încercate în această etapă au fost realizate prin pretensionarea incompletă a armăturii pretensionate, formată din toroane. Nu a fost prevăzută armătură de rezistență complementară. Gradul de precomprimare σ_{po}/R_p^N a fost prevăzut de 0,5, 0,7 și 1,0. Procentele de armare ale elementelor au fost cuprinse între 0,49 % și 0,88 %.

Alcătuirea de principiu a elementelor experimentale este prezentată în figura 5.1. Dimensiunile grinzilor au fost determinate de cofrajul existent la INCERC - București. În tabelul 5.23 (plic) se prezintă principalele caracteristici ale elementelor experimentale, care completează datele prezentate în figura 5.1.

Realizarea efortului de precomprimare a fost controlată cu doză de forță.

Caracteristicile betonului

Înainte cu o zi de efectuarea încercării s-au făcut determinările pe epruvetele aferente fiecărui element în conformitate cu normele în vigoare. Valorile medii ale rezistențelor mecanice și ale modului de elasticitate sînt date în tabelul 5.24 (plic).

Caracteristicile armăturilor

Determinarea caracteristicilor armăturilor s-a făcut, pe cupeane prelevate din armătura utilizată, în conformitate cu normele în vigoare. În figura 5.2 se prezintă curbele caracteristice pentru TBP 12 și TBP 9.

Dispozitivul de încercare

Pentru realizarea încercării s-a folosit o instalație cu o presiune maximă de 200 atm.

Pentru măsurarea săgeților s-au folosit microcomparateare cu precizia 1:10 (Maximov), iar pentru tasarea reazemelor microcomparateare 1:100. Pentru a urmări eventualele luncări ale toroanelor s-au prevăzut microcomparateare 1:1000.

Urmărirea deformațiilor specifice ale betonului s-a realizat cu ajutorul tensometriei electrice rezistive.

Mărima deschiderii fisurilor s-a urmărit cu ajutorul unei lupe micrometrice cu precizie de 1:10.

În figura 5.3 se prezintă modul de plasare a aparatelor de măsură și schema de încărcare.

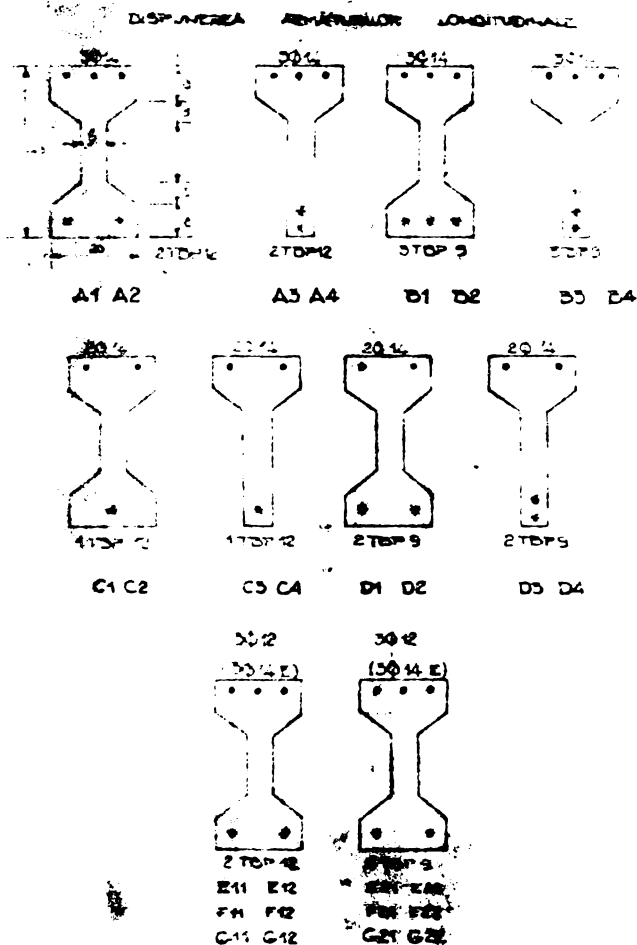
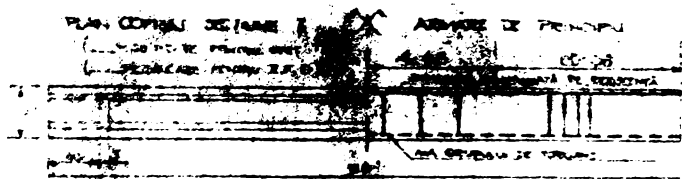


Fig. 51. ARMAȚURA ELEMENTELOR DIN ETAPA I

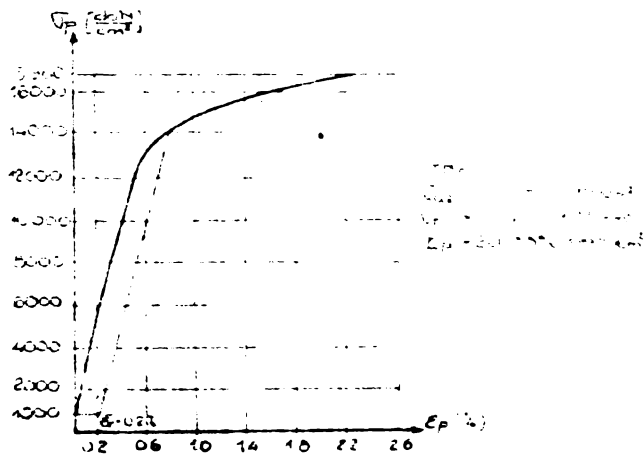
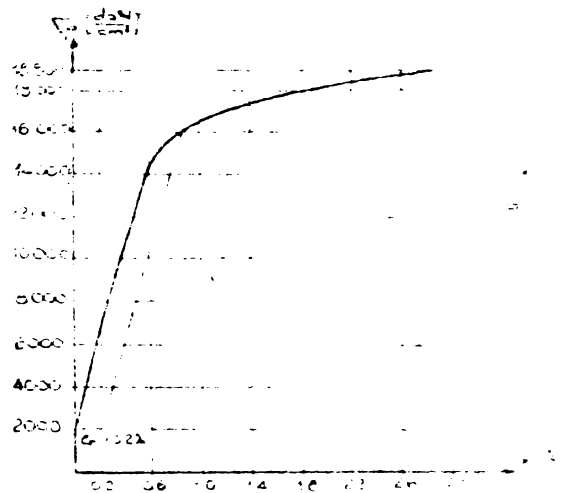


Fig. 52. CURBELE CARACTERISTICE ALE CONCRETULUI

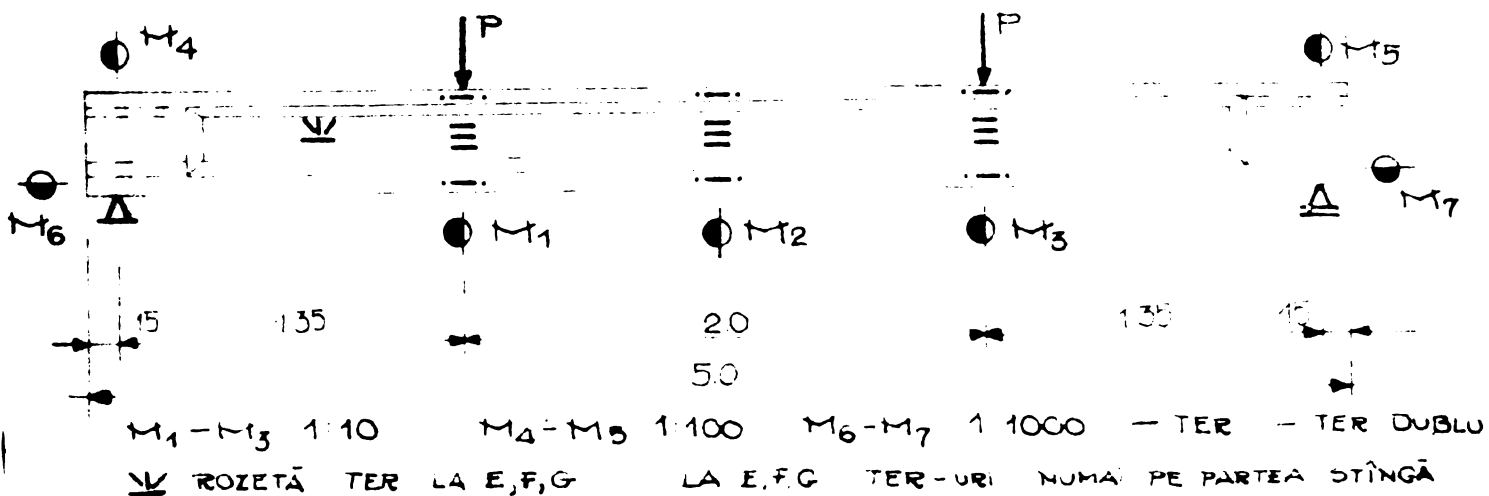


Fig. 5.3 SCHEMA DE ÎNCĂRCARE ȘI DISPOZIȚIA APARATELOR (ETAPA I)

Determinarea valorilor de control

La evaluarea efortului de precomprimare, conform /Io8/, s-a pornit de la valoarea efortului unitar, la transfer, în armătură. Valorile efortului de precomprimare H_0 , la data încercării, sînt prezentate în tabelul 5.23 (p.16).

Momentul încovoietor de fisurare s-a determinat, cu relația (3.43), în ipoteza comportării plastice a betonului întins. Valorile forțelor de fisurare sînt date în tabelul 5.1 (p.113)

Momentul încovoietor de rupere s-a determinat adoptînd pentru efortul unitar din armătura pretensionată valoarea

$\sigma_{pl} = m_p \sigma_{o,2}$. Valorile forțelor de rupere sînt date în tabelul 5.2 (p.114).

Tehnologia încercării

Elementele experimentale au fost încercate astfel: încărcare pînă la fisurare; descărcare la zero; reîncărcare pînă la rupere;

Treapta de încărcare a fost de 10 % din forța teoretică de rupere. Avînd în vedere faptul că s-a acordat atenție apariției fisurilor în intervalul de 80%...120% din forța teoretică de fisurare treapta de încărcare a reprezentat 10% din forța teoretică de fisurare. La reîncărcare s-a reținut treapta de redeschidere a fisurilor (0,03 mm) și treapta la care fisurile au o deschidere medie de 0,15 mm; 0,2 mm și 0,3 mm.

5.1.2. Programul etapei II

În treapta II au fost încercate 9 elemente din beton precomprimat parțial, dintre care 6 au fost elemente compuse. Elementele precomprimate au fost realizate la "Extraceram" Timișoara - Secția de prefabricate, iar betonul armat monolit, pentru elementele compuse, a fost turnat în cadrul Catedrei de Beton armat și clădiri, cu beton preparat la aceeași unitate. S-a prevăzut realizarea unui beton de marca B 500 pentru elementele precomprimate și un beton de marcă B 400 pentru betonul armat. Elementele experimentale au fost însoțite de epruvete prelevate din betonul turnat.

Precomprimarea parțială a acestor elemente s-a realizat prin modificarea cantității de armătură pretensionată (toroane) și a cantității de armătură complementară. Drept grad de precomprimare s-a ales definiția dată de relația (4.4).

Alcătuirea de principiu a elementelor experimentale este prezentată în figura 5.4. Poziția toroanelor a fost determinată de golurile existente în placa de ancoraj a tiparului metalic.

Dimensiunile elementelor experimentale (în special porțiunea de beton armat) și arile de armătură au fost astfel alese ca să se poată duce elementele pînă la rupere cu instalația existentă în laborator.

In tabelul 5.3 se prezintă câteva caracteristici ale elementelor în comparație cu unele elemente tipizate și cu unele elemente experimentale încercate la INCERC - București /79/. Se constată că singura diferență existentă în privința raportului h/L , diferență ce provine din cauza tiparului folosit.

Tabelul 5.3

Compararea elementelor experimentale cu alte elemente

Element	h/L	$p = A_p/A_b$ (%)	a_p/h	$A_p \sigma_{pk}/A_{bi}$
G 18 - 6 - 3 (sect. periculoasă)	1/17	0,77	0,205	105,0
FGP 1/6-a	1/11	0,42	0,17	57,3
TT 3x18-265	1/22,5	0,38	0,16	52,0
GP 1,5x12-265	1/24	0,23	0,125	38,5
T 1,5x12-295	1/20	0,28	0,24	33,0
Elem.exp.cu sect. drept /79/	1/17	0,5	0,27	66,1
Elem.exp.T /79/	1/17	0,35	0,24	48,1
Elem.exp.GP 1...3 prec.	1/7	0,5 0,37 0,24	0,13	58,0 43,5 23,5
comp.	1/6	0,38 0,27 0,18	0,11	-
Elemente exp.GP 4..6	1/7	0,61 0,49 0,36	0,13	73,1 57,6 43,1

In tabelul 5.25 (plie) se prezintă principalele caracteristici ale elementelor experimentale, care completează datele din figura 5.4.

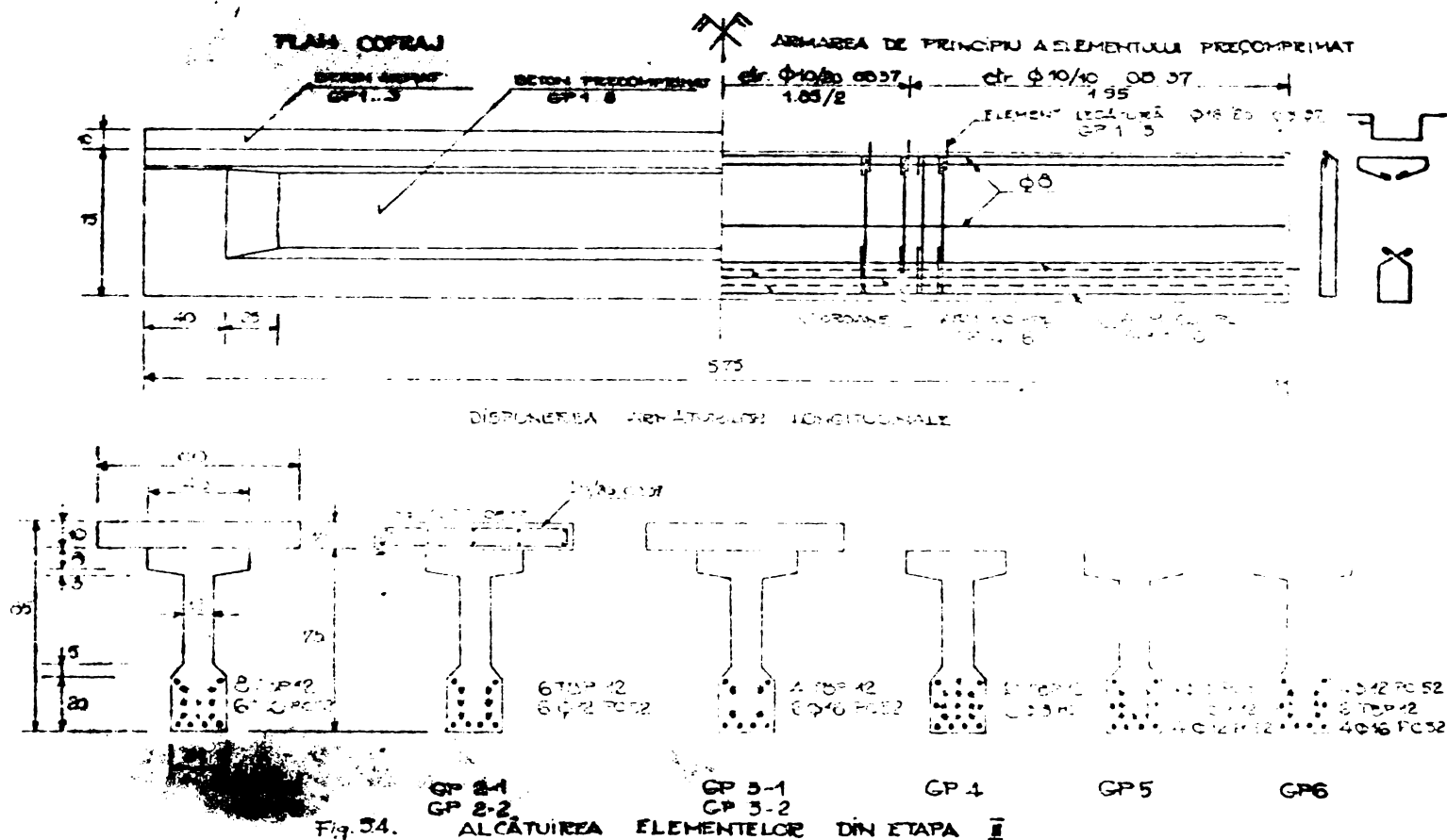
Efortul unitar de control $\sigma_{pk} = 12000 \text{ daN/cm}^2$ s-a verificat cu tensometrul Vogt.

Caracteristicile betonului

Inainte cu o zi de efectuarea încercării s-au făcut determinările pe epruvetele aferente fiecărui element, în conformitate cu normele în vigoare. Valorile medii ale rezistențelor mecanice și ale modulului de elasticitate sînt date în tabelul 5.26 (plie).

Caracteristicile armăturilor

Determinarea caracteristicilor armăturilor s-a făcut, pe cupoane prelevate din armătura utilizată, în conformitate cu normele în vigoare. Valorile limitei convenționale de curgere și a rezistenței de rupere sînt date în tabelul 5.27 (plie), iar în figura 5.5 se prezintă



curba caracteristică pentru TBP 12 și Ø12 PC 52.

Dispozitivul de încercare

Pentru realizarea încercării s-a utilizat aceeași instalație ca și în etapa I.

Pentru măsurarea săgeților s-au folosit microcomparatoare cu precizia 1:10 (Maximov), iar pentru tasarea reazemelor microcomparatoare 1:100.

Pentru urmărirea eventualelor alunecări la contactul dintre betonul precomprinat și cel armat s-a prevăzut un microcomparator 1:100.

Urmărirea deformațiilor specifice s-a realizat cu ajutorul tensometrului electrice rezistive. Traductoarele au fost plasate pe partea stângă a fiecărei fețe. Pe fața SUD s-au dispus și tensometre mecanice.

Mărima deschiderii fisurilor s-a urmărit cu ajutorul unei lupc micrometrice cu precizie de 1:10.

În figura 5.6 se prezintă modul de plasare a aparatului de măsură și schema de încărcare.

Determinarea valorilor de control

La evaluarea stării de eforturi unitare din momentul încerc-

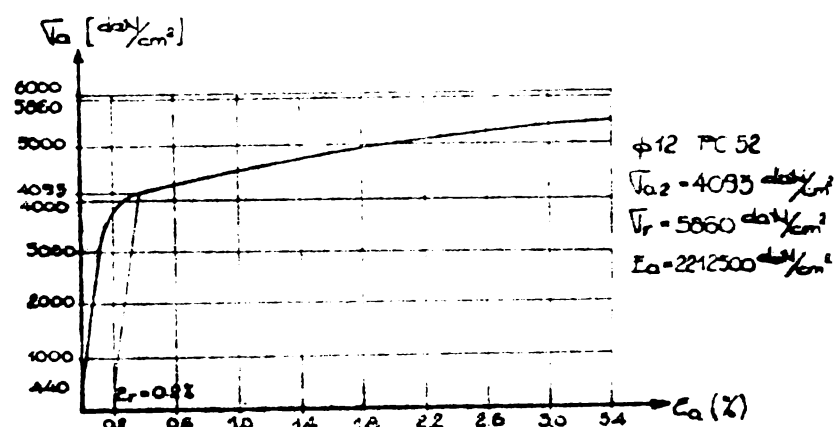
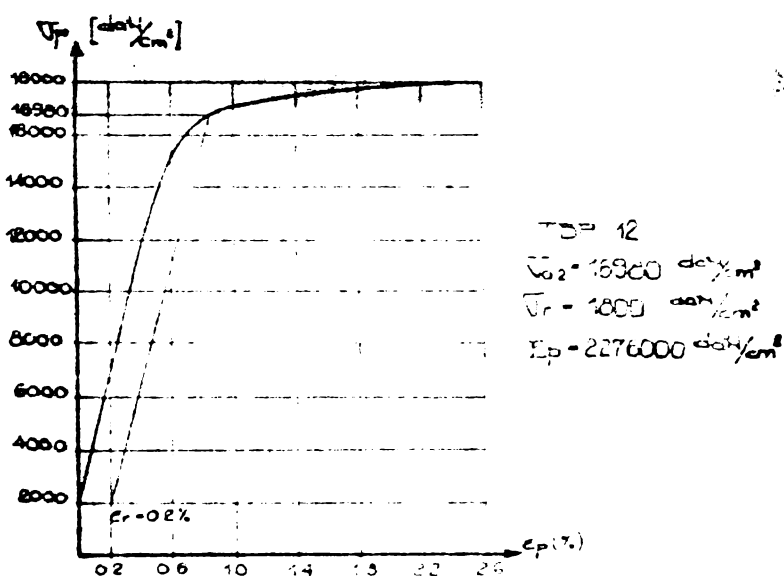


Fig. 55. CURBELE CARACTERISTICE ALE ARMĂTURILOR (ETAPA I)

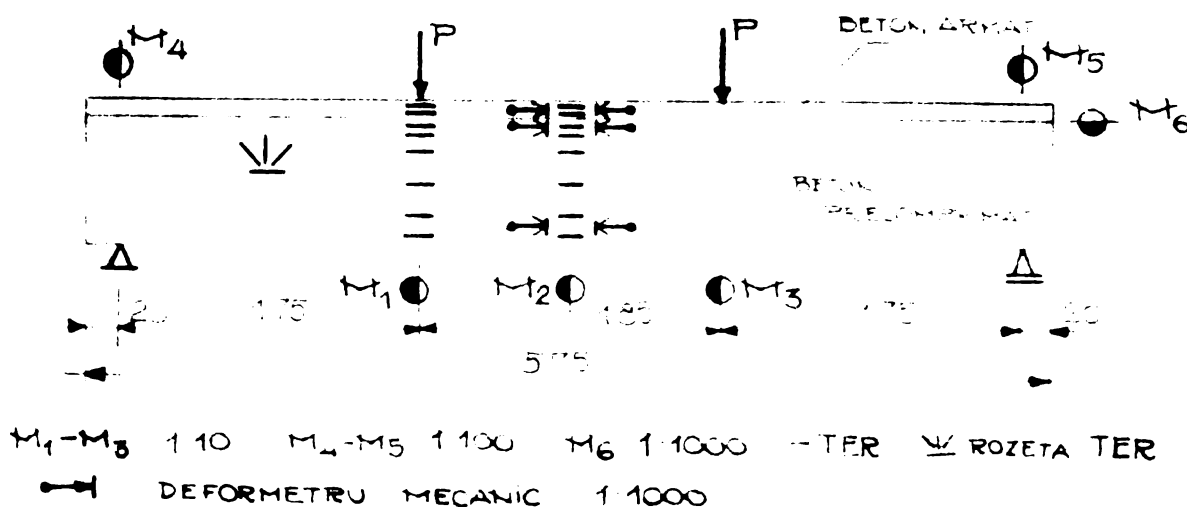


Fig. 56. SCHEMA DE ÎNCĂRCARE ȘI DISPOZIȚIA APARATELOR (ETAPA I)

cării elementelor experimentale s-a ținut cont de efortul real de precomprimare, iar la elementele compuse s-a luat în considerare și interacțiunea celor două tipuri de beton. În tabelul 5.4 se prezintă valorile efortului real de precomprimare.

Determinarea momentului încovoietor de fisurare pentru secțiunile compuse s-a făcut prin rezolvarea sistemului de ecuații de la punctul 3.5.2, plecând de la starea de decompresiune. Pentru elementele compuse calculul stării de decompresiune și calculul momentului încovoietor de fisurare s-a făcut cu ajutorul calculatorului electronic (Anexa 2.2 respectiv Anexa 3).

Pentru elementele GP-4... GP-6, calculul momentului încovoietor de fisurare s-a făcut cu relația (3.43).

Momentul încovoietor de rupere s-a determinat

adoptând pentru efortul unitar din armătura pretensionată valoarea $\sigma_{pl} = m_p \sigma_{0,2}$. Pentru secțiunile compuse coeficientul de echivalență al betonului armat s-a luat $n_b = R_{ca} / R_{cp}$.

Valorile forțelor de fisurare și rupere sînt prezentate în

Tabelul 5.4

Valoarea efortului de precomprimare

Element	A_p (cm ²)	A_{bi} (cm ²)	I_{bi} (cm ⁴)	n_p	y_p (cm)	i	σ_{po} (daN/cm ²)	σ_{pp} (daN/cm ²)	N_p în fază iniț. (daN)	N_p la data inc. (daN)
GP 1-1	7,16	1469	925373	7,16	28,86	1,081	9866	9127	65347	-
GP 1-2	7,16	1469	925373	7,00	28,86	1,079	9866	9144	65469	-
GP 2-1	5,37	1480	936049	7,80	28,05	1,064	9866	9273	49794	-
GP 2-2	5,37	1480	936049	7,78	28,05	1,063	9866	9281	49840	-
GP 3-1	3,58	1504	958382	7,79	27,6	1,019	9866	9682	34662	-
GP 3-2	3,58	1504	958382	7,79	27,6	1,018	9866	9692	34696	-
GP 4	8,95	1471	925863	6,81	27,52	1,091	9866	9043	30935	69534
GP 5	7,16	1484	947259	7,43	28,2	1,081	9866	9127	65347	52890
GP 6	5,37	1514	978982	7,63	27,5	1,059	9866	9316	50029	36509

tabelul 5.5.

Valoarea forței corespunzătoare treptei de exploatare s-a făcut luind în considerare un coeficient de siguranță $c=1,8$ (Tabelul 5.5

Tabelul 5.5
Momente încovoietoare și forțe de fisurare și rupere (etapa II)

Tehnologia încercării

Element	M_f^t (daNm)	P_f^t (daN)	M_R^t (daNm)	P_R^t (daN)	P_e^t (daN)
GP 1-1	49711	28420	93960	53600	30000
GP 1-2	49831	28450	93990	53600	30000
GP 2-1	42304	24200	83329	47700	26400
GP 2-2	40958	23400	83329	47700	26400
GP 3-1	28735	16430	78404	44700	24800
GP 3-2	30277	17300	78460	44700	24800
GP 4	45183	25819	92840	53000	29400
GP 5	37336	21335	84800	48500	24000
GP 6	31427	17958	82100	46900	25200

Grinzile GP 1...GP au fost încărcate pînă la treapta de exploatare, descărcate și reîncărcate pînă la exploatare. Grinzile GP 1-1, GP 2-1 și GP 3-1 au fost încărcate apoi pînă la rupere, în timp ce grinzile GP 1-2,

GP 2-2 și GP 3-2 au fost supuse la oboseală.

Pentru a urmări evoluția deschiderii fisurilor la diferite nivele de încărcare, elementele GP 4... GP 6 au fost încercate conform schemei din figura 5.7. Prin această tehnologie s-au urmărit evoluția fisurilor, după un număr de 5 încărcări-descărcări, la nivelul P_e^t , iar după atingerea unei suprasarcini (treapta P_2) s-a urmărit evoluția fisurilor sub nivelul încărcărilor de lungă durată.

În principiu încărcarea-descărcarea s-a efectuat cu trepte de loș din forța corespunzătoare ruperii.

5.2. Rezultatele încercărilor experimentale din etapa I

5.2.1. Apariția fisurilor

Determinarea treptei de apariție a fisurilor s-a făcut pe baza observării directe cu lupa, conjugat cu analiza curbei încărcare-săgeată, atunci când prin observarea directă se constată o fisură foarte fină și foarte puțin dezvoltată pe înălțimea elementului.

În figurile 5.8 - 5.11 se prezintă diagramele încărcare-să-

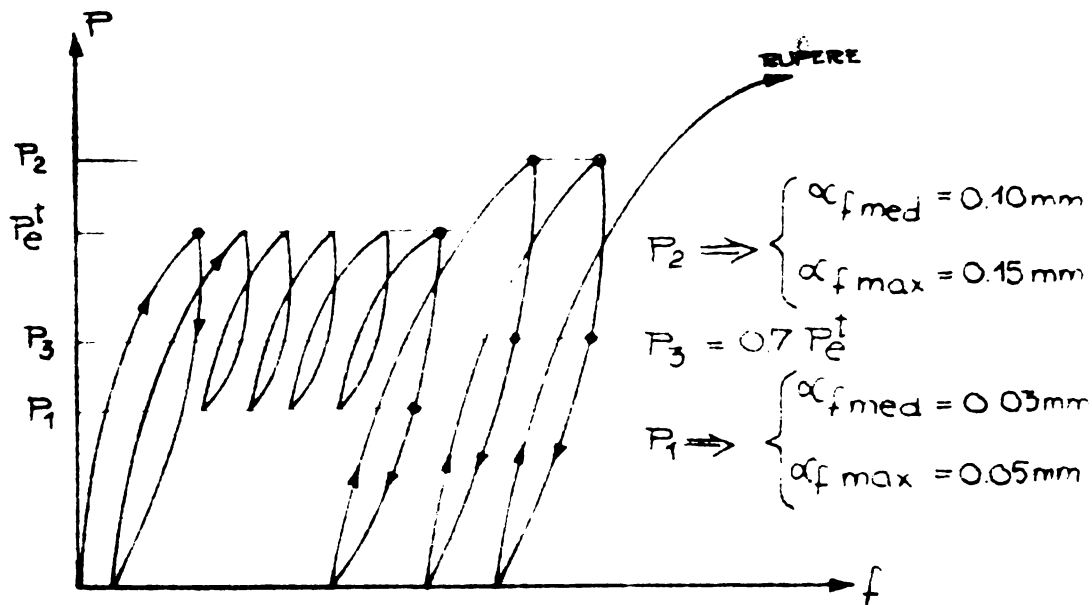


FIG. 5.7. SCHEMA DE ÎNCĂRCARE A GRINZILOR GP4, GPE

geata la mijlocul deschiderii pentru elementele din serie E.

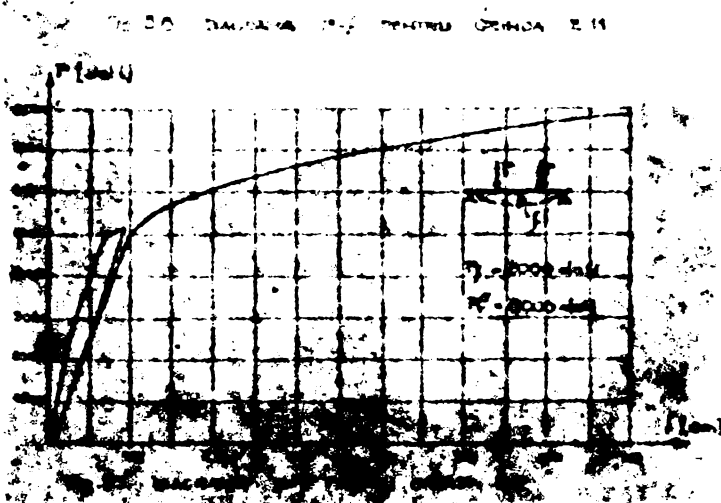
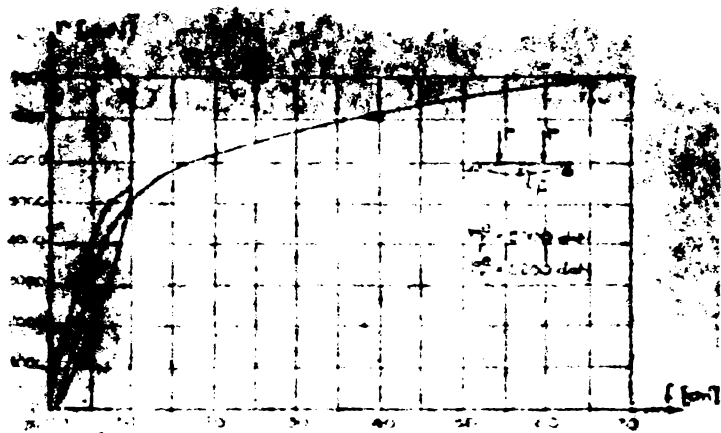
În tabelul 5.6. sînt date treptele de apariție a fisurilor, sub forma raportului M_f^e/M_R^e , indicîndu-se în acelaș timp valoarea procentului

de armare $p = 100 A_p / bh_0$, precum și raportul σ_{po}/R_p^e .

Momentul încovoietor de fisurare este puternic influențat de gradul de precomprimare σ_{po}/R_p^e (Fig.5.12), la o dublare a gradului de precomprimare corespunzînd un spor de 30% al momentului încovoietor de fisurare.

Momentul încovoietor de fisurare este, practic, neinfluențat de procentul de armare (Fig.5.13)

Forma secțiunii transversale are o influență redusă asupra momentului încovoietor de fisurare (Fig.5.14), trecerea de la secțiunea T la secțiunea dublu T ducînd la un spor de numai 10% pentru momentul încovoietor de fisurare. Avînd în vedere acest



lucru precum și faptul că în cazul precomprimării parțiale cantitatea de armătură pretensionată este mai mică (ceea ce implică un efort de precomprimare mai redus și o mai ușoară dispunere a armăturii pretensionate) rezultă că secțiunea T este mai convenabilă pentru cazurile curente.

În tabelul 5.7 se prezintă valorile experimentale ale momentelor încovoietoare de fisurare, valorile teoretice calculate în conformitate cu relațiile (3.43-3.45) prezentate la punctul 3.5.1, precum și compararea valorilor teoretice cu cele experimentale.

Se constată că în marea majoritate a cazurilor valoarea teoretică a momentului încovoietor de fisurare este mai mare decât valoarea experimentală. Normele sovietice și cele CAER conduc la valori teoretice ce se apropie cel mai mult de valorile experimentale, aceasta datorită faptului că evaluarea modului de rezistență la fisurare se face în mod exact, în timp ce normativul P 8-62 prevede un calcul simplificat ($\gamma_f = \gamma_{f0}$). Este însă adevărat că printr-o observație

inserată în textul normativului P 8-62 se admite și calculul

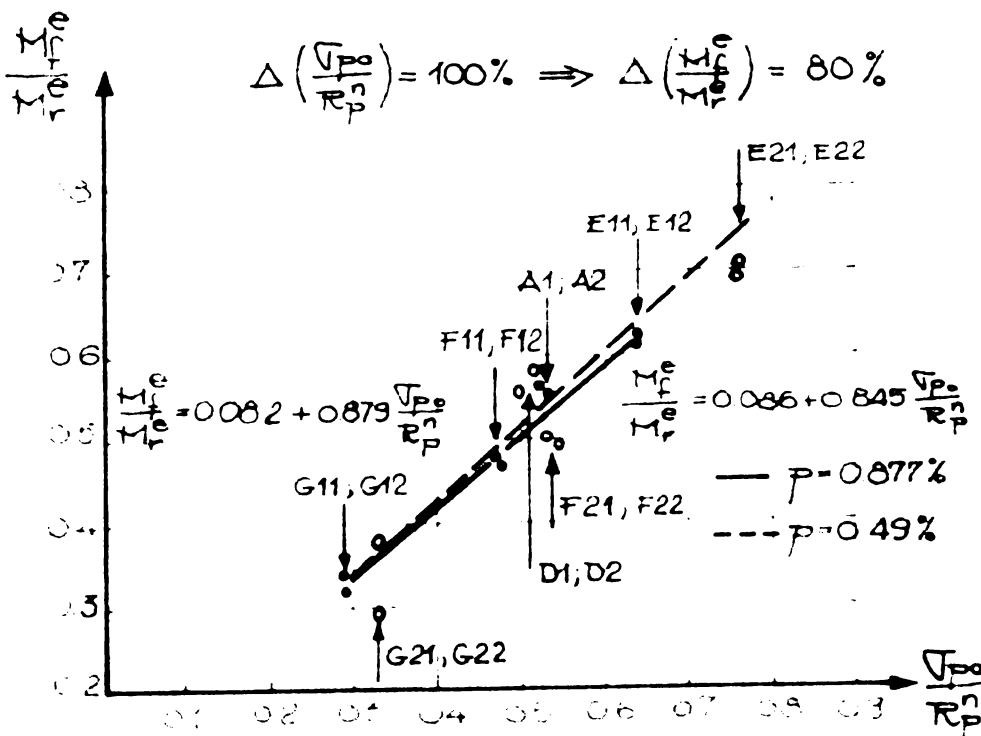
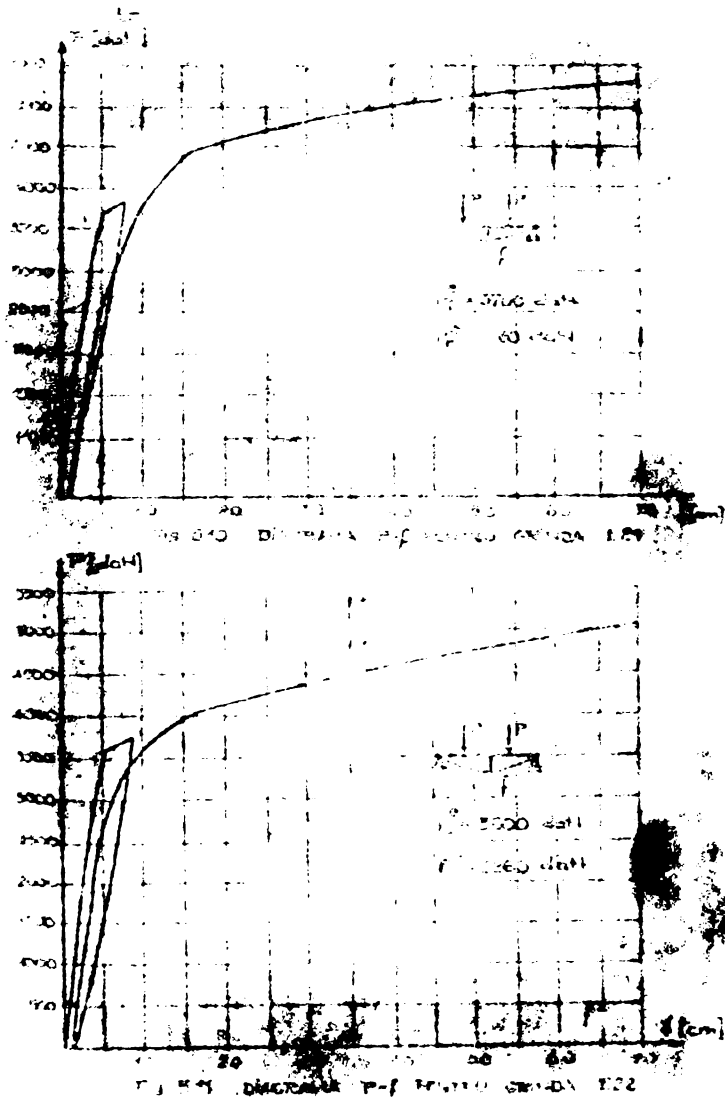


Fig. 5.12. INFLUENȚA GRADULUI DE PRECOMPRIMARE $\frac{\sqrt{V_{p0}}}{R_p}$ ASUPRA RAPORTULUI $\frac{M_f}{M_r}$

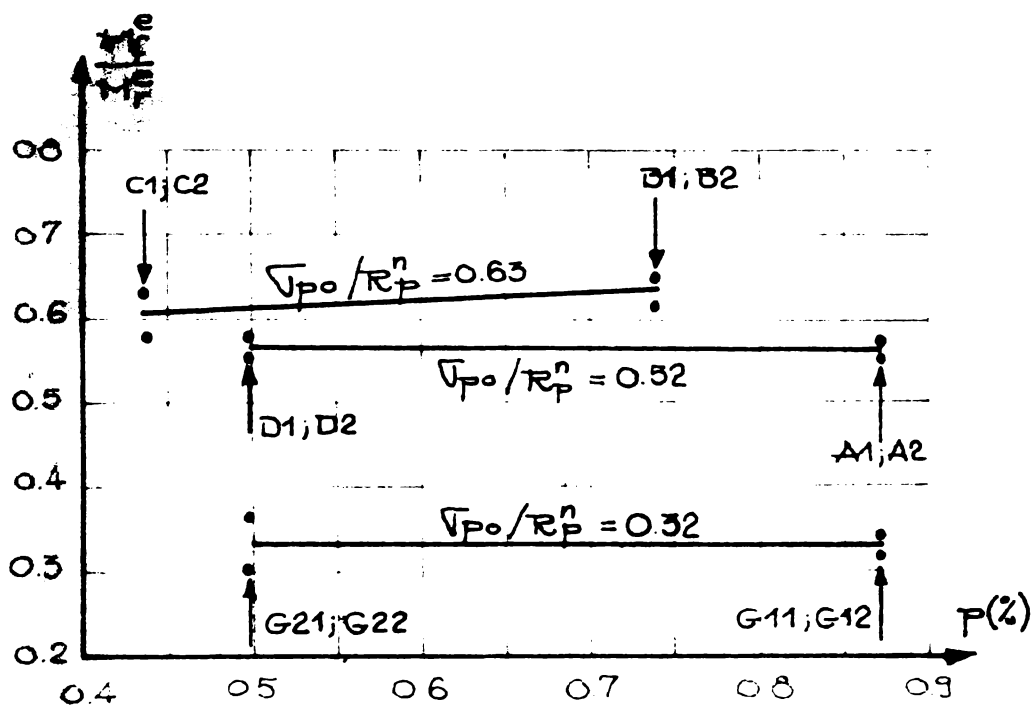


Fig. 5.13. INFLUENȚA PROCENTULUI DE ARMARE ASUPRA RAPORTULUI M_f^e/M_r^e

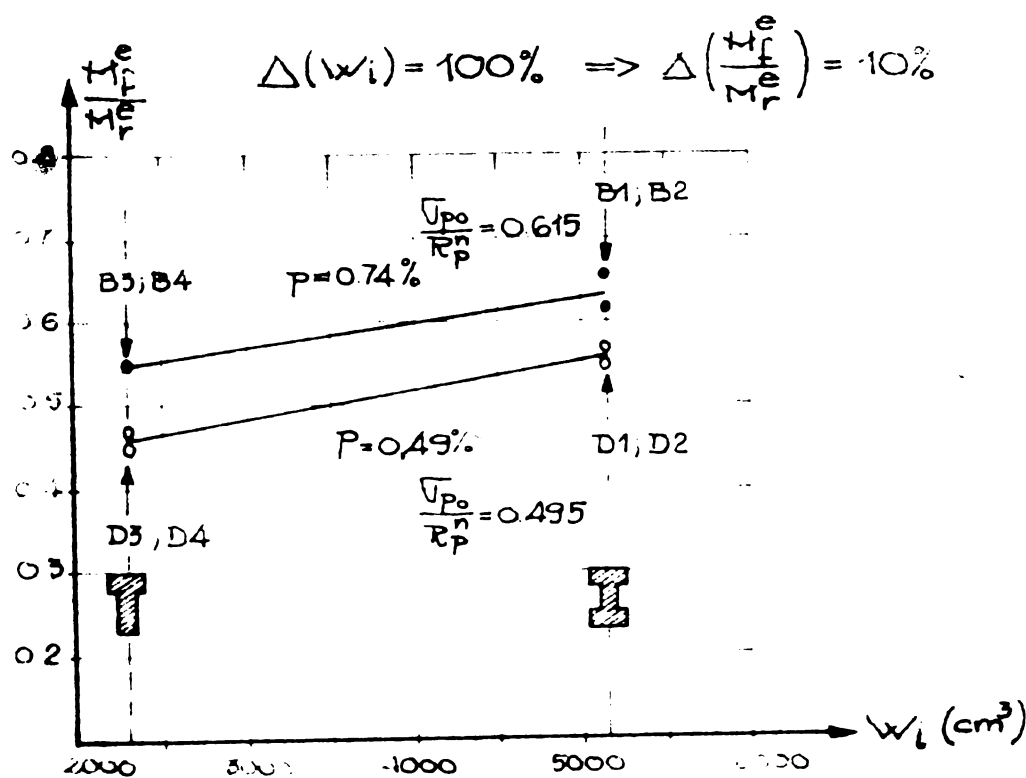


Fig. 5.14. INFLUENȚA FORMEI SECȚIUNII TRANSVERSALE ASUPRA RAPORTULUI M_f^e/M_r^e

lui M_f , cu relații ce sînt identice cu cele prevăzute de normele sovietice și CAER.

5.2.2. Influența efortului real de precomprimare asupra momentului încovoietor de fisurare

După cum s-a arătat în capitolul 2, neluarea în considerare a efortului real de precomprimare conduce la calcule descoperitoare în privința verificărilor la fisurare. În vederea evaluării acestei influențe s-au recalculat valorile teoretice ale momentelor încovoietoare de fisurare. Coeficientul ω_1 și compararea valorilor teoretice cu cele experimentale este redată în tabelul 5.8.

Avînd în vedere caracteristicile secțiunilor transversale și arile

de armătură era de așteptat ca pentru anumite elemente valoarea coeficientului ω_1 să fie redusă.

Indiferent însă de valoarea coeficientului ω_1 se constată

Tabelul 5.6

Treptele de apariție ale fisurilor la elementele din etapa I

Element	p (%)	$\frac{\sigma_{po}}{R_p}$	$\frac{M_f^e}{M_f^t}$	Element	p (%)	$\frac{\sigma_{po}}{R_p}$	$\frac{M_f^e}{M_f^t}$
A 1	0,677	0,528	0,563	D3	0,49	0,495	0,458
A2	0,877	0,535	0,554	D4	0,49	0,495	0,458
A3	0,877	0,510	0,435	E11	0,877	0,639	0,612
A4	0,877	0,510	0,432	E12	0,877	0,644	0,625
B1	0,74	0,615	0,614	E21	0,49	0,758	0,705
B2	0,74	0,620	0,053	E22	0,49	0,76	0,695
B3	0,74	0,615	0,555	F11	0,877	0,475	0,479
B4	0,74	0,615	0,555	F12	0,877	0,470	0,469
C1	0,438	0,650	0,573	F21	0,49	0,528	0,505
C2	0,438	0,650	0,631	F22	0,49	0,542	0,495
C3	0,438	0,545	0,422	G11	0,877	0,290	0,339
C4	0,438	0,545	0,445	G12	0,877	0,291	0,321
D1	0,49	0,495	0,557	G21	0,49	0,330	0,295
D2	0,49	0,515	0,58	G22	0,49	0,323	0,367

Tabelul 5.7

Compararea valorilor teoretice ale momentelor încovoietoare de fisurare cu cele experimentale (etapa I)

Element	M_f^e (tm)	Normativ PS-62		INCERC-București I.P.Iagi		Normele sovietice Normele CASR	
		M_f^t (tm)	$\frac{M_f^e}{M_f^t}$	M_f^t (tm)	$\frac{M_f^e}{M_f^t}$	M_f^t (tm)	$\frac{M_f^e}{M_f^t}$
1	2	3	4	5	6	7	8
A1	6,08	6,33	0,961	6,24	0,974	5,99	1,010
A2	5,76	6,35	0,907	6,24	0,923	6,04	0,950
A3	3,37	4,49	0,751	4,24	0,792	4,90	0,690
A4	2,70	4,49	0,601	4,24	0,64	4,90	0,550
B1	5,40	6,63	0,814	6,58	0,823	6,13	0,885
B2	5,75	6,63	0,867	6,59	0,872	6,21	0,925
B3	4,05	4,52	0,896	4,34	0,932	4,79	0,850
B4	4,05	4,52	0,896	4,34	0,932	4,79	0,850
C1	3,38	4,65	0,727	4,52	0,750	4,00	0,847
C2	3,72	4,65	0,800	4,52	0,823	4,00	0,934
C3	2,70	4,89	0,552	4,65	0,583	4,45	0,608
C4	2,70	4,89	0,552	4,65	0,583	4,45	0,608
D1	3,38	5,13	0,659	5,12	0,660	3,95	0,855
D2	3,72	5,13	0,725	5,12	0,725	4,07	0,915
D3	2,70	4,71	0,573	4,36	0,618	4,01	0,672
D4	2,70	4,71	0,573	4,36	0,618	4,01	0,672
E11	6,75	7,83	0,862	7,12	0,950	6,78	0,490
E12	6,75	7,84	0,861	7,13	0,974	6,78	0,990
E21	5,00	4,57	1,094	4,34	1,150	5,16	0,969
E22	4,86	4,59	1,059	4,36	1,110	5,16	0,943
F11	5,40	6,22	0,868	5,85	0,937	5,48	0,984
F12	5,06	6,21	0,815	5,83	0,870	5,44	0,932

Tabel 5.7.(continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8
F21	3,57	4,79	0,745	3,65	0,980	3,99	0,837
F22	3,50	4,80	0,729	3,66	0,960	4,06	0,865
G11	3,88	5,34	0,727	4,41	0,880	3,92	0,987
G12	3,55	5,36	0,662	4,42	0,803	3,92	0,906
G21	2,00	3,94	0,508	2,95	0,67	2,99	0,681
G22	2,50	3,92	0,638	2,94	0,85	2,95	0,661
Media			0,765		0,803		0,849

Tabelul 5.8

Influența efortului real de precomprimare asupra momentului încovoietor de fisurare

Element	ω_1	Normativul P8-62		INCERC-București I.P.Iasi		Normele sovietice. Normele CAER	
		M_f^t (tm)	M_f^e $\frac{M_f^e}{M_f^t}$	M_f^t (tm)	M_f^e $\frac{M_f^e}{M_f^t}$	M_f^t (tm)	M_f^e $\frac{M_f^e}{M_f^t}$
A1	1,035	6,21	0,979	6,08	1,000	5,84	1,04
A2	1,035	6,22	0,925	6,08	0,948	5,88	0,979
A3	1,078	4,27	0,789	3,99	0,844	4,64	0,730
A4	1,078	4,27	0,632	3,99	0,675	4,64	0,582
B1	1,029	6,52	0,828	6,47	0,835	5,99	0,901
B2	1,029	6,52	0,882	6,47	0,889	6,07	0,947
B3	1,055	4,36	0,928	5,33	0,760	4,59	0,882
B4	1,055	4,36	0,928	5,33	0,760	4,59	0,882
C1	1,023	4,61	0,734	4,46	0,758	3,94	0,858
C2	1,023	4,61	0,807	4,46	0,834	3,94	0,944
C3	1,033	4,66	0,580	4,56	0,592	4,34	0,622
C4	1,033	4,66	0,580	4,56	0,592	4,34	0,622
D1	1,020	5,08	0,655	5,06	0,667	3,89	0,867
D2	1,020	5,08	0,732	5,075	0,734	4,02	0,926
D3	1,037	4,62	0,585	4,27	0,631	3,90	0,692
D4	1,037	4,62	0,585	4,27	0,631	3,90	0,692
E11	1,041	7,65	0,882	6,93	0,974	6,54	1,032
E12	1,041	7,78	0,868	6,94	0,973	6,54	1,032
E21	1,021	4,49	1,112	4,33	1,156	5,08	0,984
E22	1,021	4,51	1,084	4,32	1,126	5,08	0,956
F11	1,041	6,00	0,900	5,71	0,946	5,32	1,015
F12	1,041	6,08	0,832	5,69	0,889	5,28	0,958
F21	1,033	5,74	0,738	3,60	0,991	3,91	0,914
F22	1,033	4,75	0,737	3,61	0,970	3,97	0,881
G11	1,038	5,30	1,732	4,33	0,896	3,82	1,015
G12	1,038	5,29	0,671	4,34	0,818	3,82	0,928
G21	1,034	3,91	0,511	2,91	0,687	2,83	0,707
G22	1,034	3,86	0,647	2,91	0,859	2,89	0,865
Media			0,781		0,834		0,873

o reducere a valorilor teoretice ale momentului încovoietor și în consecință o apropiere a raportului M_f^e/M_f^t de unitate. Se menține aceeași poziție relativă între cele trei relații de calcul a momentului încovoietor de fisurare.

Rezultă că pierderea de tensiune din scurtarea elastică a betonului se face resimțită, trebuind să se țină cont de ea la evaluarea corectă a efortului de precomprimare.

5.2.3. Influența gradului de precomprimare k asupra coeficientului de coanucrare

Având în vedere faptul că în perioada de desfășurare a etapei I drept grad de precomprimare s-a ales raportul σ_{po}/R_p^n pentru aceste elemente experimentale s-a stabilit și valoarea gradului de precomprimare k definit ca raport între momentul încovoietor de decomprimare și momentul încovoietor de exploatare. În tabelul 5.23 (plis) se prezintă, pentru grinzile E, F și G valorile k pentru patru trepte de încărcare. Pe baza acestor valori și a coeficientului de coanucrare ψ determinat din valorile experimentale ale distanței dintre fisuri și a deschiderii fisurilor s-au întocmit diagramele din figu-

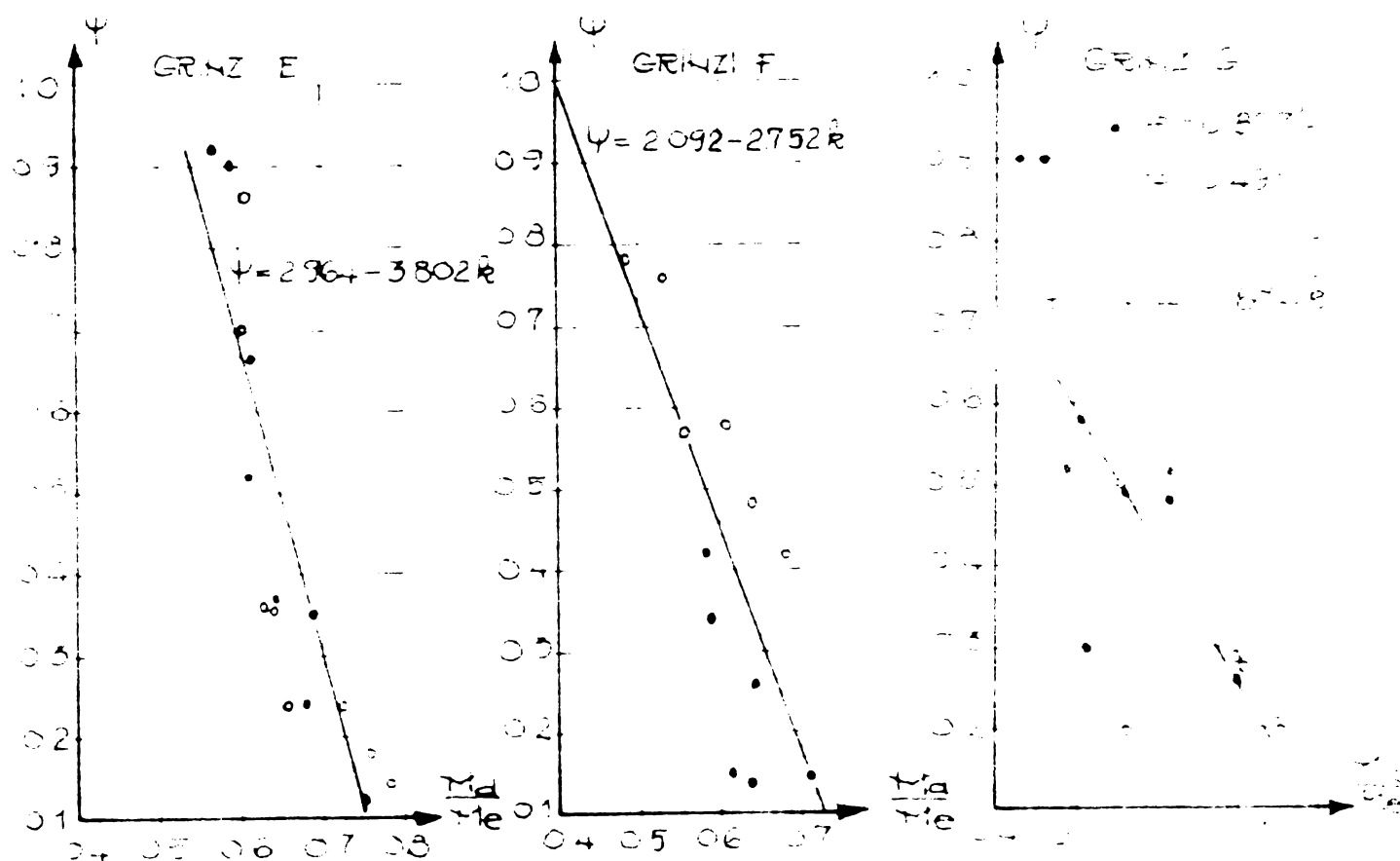


Fig. 5.23. LEGĂTURA ÎNTRE COEF. DE COANUCRARE ψ ȘI GRADUL DE PRECOMPRIMARE k PENTRU GRINZILE E, F ȘI G

ra 5.15, constatându-se că punctele astfel obținute se aliniază în jurul unei drepte.

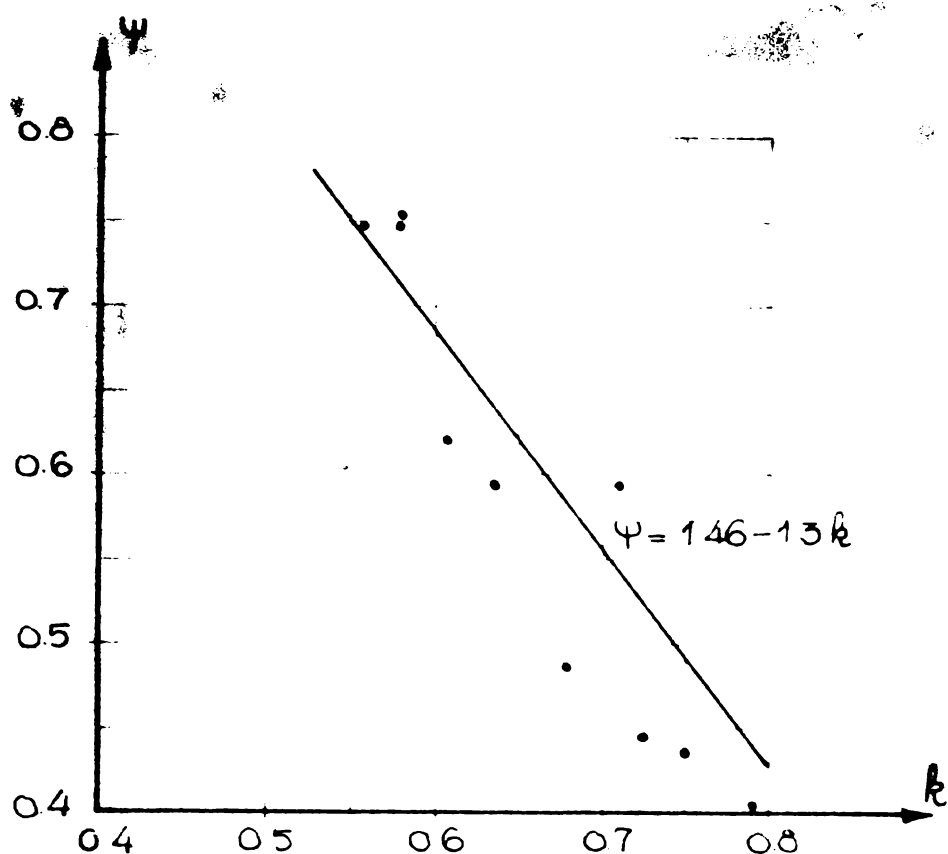


Fig. 5.16. LEGĂTURA DINTRE ψ și k PENTRU GRINZILE E, F și G LA TREAPTA DE ÎNCĂRCARE $\bar{\alpha}_f = 0.1$ mm

In figura 5.16 se prezintă legătura dintre coeficientul de conlucrare ψ și gradul de precomprimare k pentru grinzile E, F și G pentru treapta de încărcare $\bar{\alpha}_f = 0.1$ mm.

Din rezultatele obținute se poate trage concluzia că între coeficientul de conlucrare ψ și gradul de precomprimare k se poate accepta o legătură de forma relației (4.16) de la punctul 4.4:

$$\psi = a + bk$$

5.2.4. Ruperea elementelor

La toate elementele experimentale ruperea s-a produs prin zdrobirea betonului comprimat, fără a se produce ruperi ale armăturilor. De asemenea pînă în momentul ruperii nu s-au constatat lunecări ale toroanelor. Compararea valorilor teoretice cu cele experimentale este prezentată în tabelul 5.9.

In figura 5.17 este reprezentată influența gradului de precomprimare σ_{po}/R_p^n asupra momentului încovoietor experimental de rupere. Se constată, lăsînd la o parte împrăștierea rezultatelor că raportul σ_{po}/R_p^n nu are o influență sensibilă asupra momentului încovoietor de rupere.

In schimb procentul de armare p are o influență puternică asupra momentului încovoietor experimental de rupere (Fig. 5.18), la un spor al procentului de armare de 100% corespunzînd un spor mediu de 70% al capacității portante.

In figurile 5.19 - 5.20 (plic) se prezintă aspecte ale grinzilor după terminarea încercărilor.

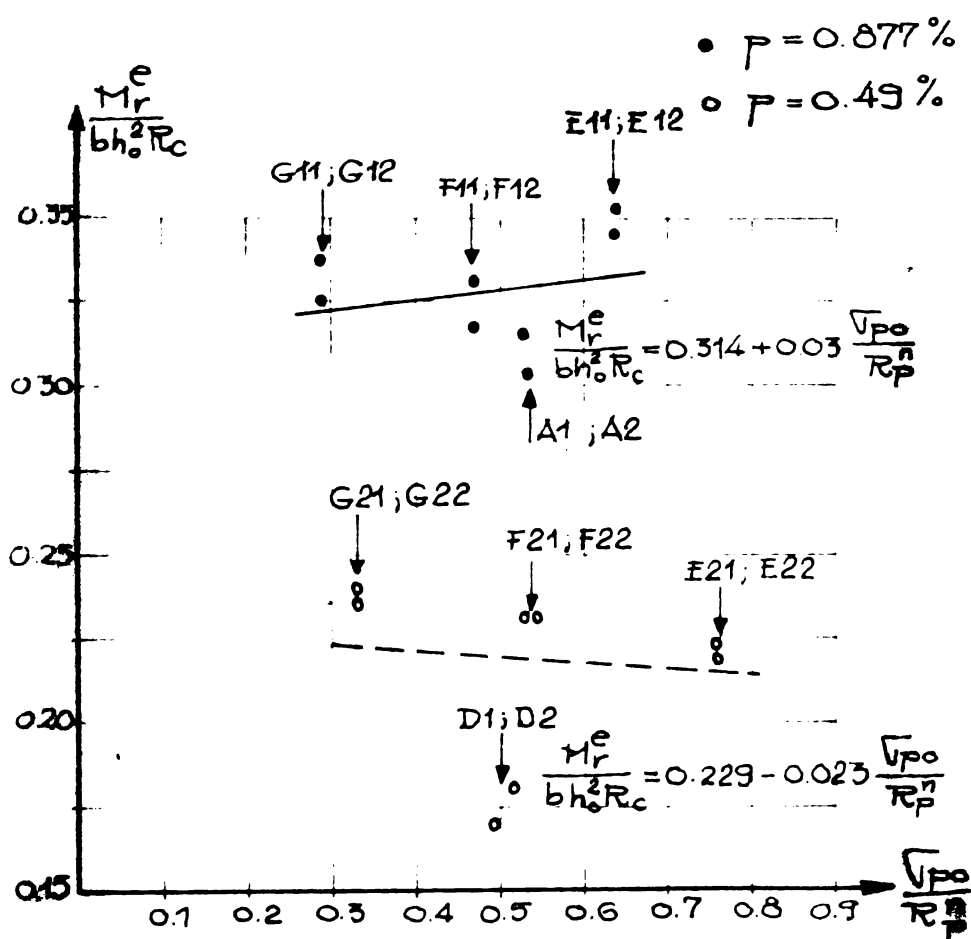


Fig. 5.17. INFLUENȚA GRADULUI DE PRECOMPRIMARE $\sqrt{v_{p0}}/R_p^n$ ASUPRA VALORILOR RELATIVE ALE MOMENTELOR ÎNCOVOIETOARE EXPERIMENTALE DE RUPERE

5.3. Rezultatele încercărilor experimentale din etapa II

5.3.1. Apariția fisurilor

Stabilirea treptei la care s-a produs fisurarea s-a făcut pe baza observării directe cu lupa, în paralel cu analiza curbei încărcare-săgeată, atunci când prin observarea directă s-a constatat o fisură foarte fină și foarte puțin dezvoltată pe înălțimea elementului.

În figurile 5.21-5.29 se prezintă

diagramele de încărcare-săgeată, pentru elementele încercate în etapa II, la mijlocul deschiderii. În cazul elementelor GP 1-2; GP 2-2; GP 3-2 după atingerea încărcării de exploatare s-a trecut în regim de oboseală.

În tabelul 5.10 sînt date treptele de apariție ale fisurilor sub forma raportului M_f^e/M_T^e , indicîndu-se în același timp valoarea procentului de armare al celor două tipuri de armături precum și gradele de precomprimare propuse și cele realizate. Se constată că procentul de armare nu are o influență deosebită asupra raportului M_f^e/M_T^e .

Treapta de fisurare depinde direct proporțional de gradul de precomprimare (Fig. 5.30), în cazul elementelor compuse influența gradului de precomprimare fiind mai redusă. La o dublare a gradului de precomprimare corespunzînd un spor de 35% în cazul secțiunilor compuse, respectiv un spor de 55% în cazul celorlalte secțiuni.

În tabelul 5.11 se prezintă compararea între valorile

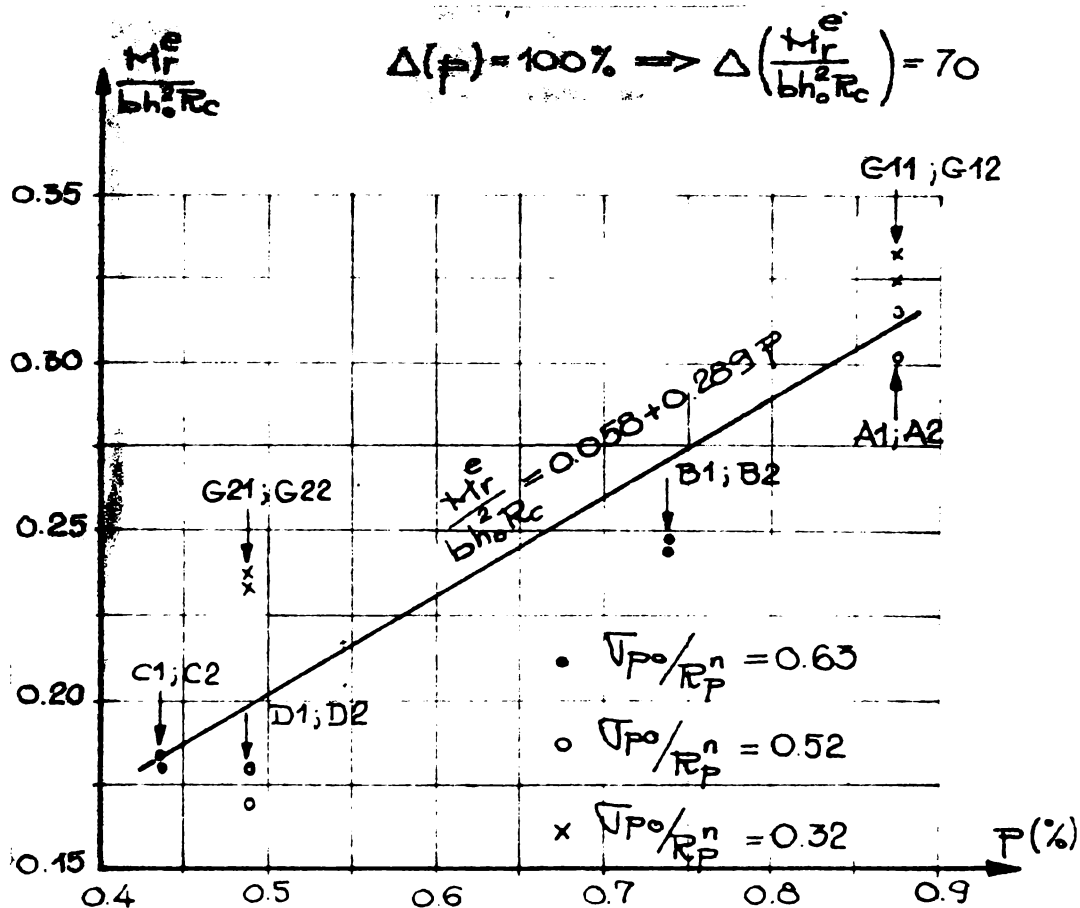
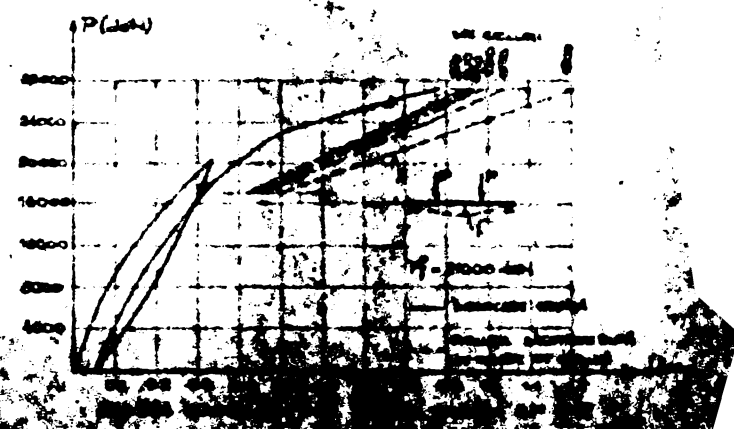
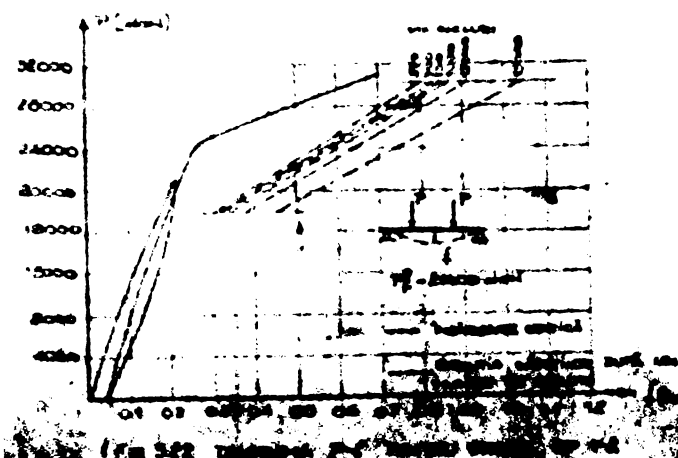
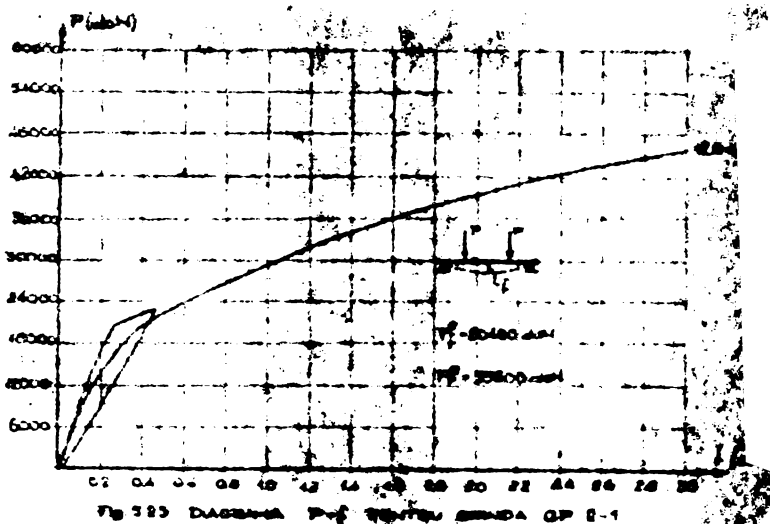
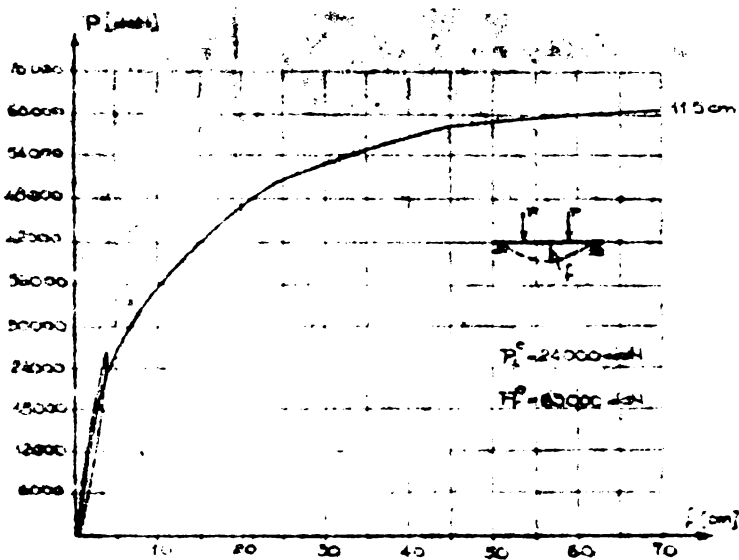
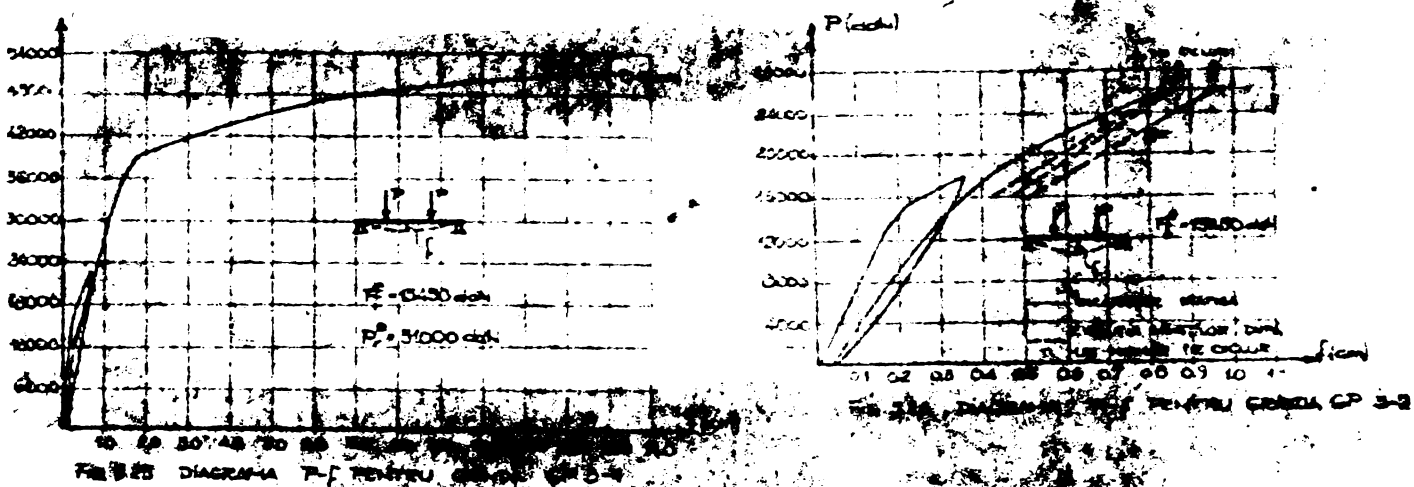


Fig. 5 18. INFLUENȚA PROCENTULUI DE ARMARE ASUPRA VALORILOR RELATIVE ALE MOMENTELOR ÎNCOVOIETOARE EXPERIMENTALE DE RUPERE

teoretice și cele experimentale ale momentelor încovoietoare de fisurare. Ca și în cazul elementelor din etapa I se constată că valoarea teoretică a momentului încovoietor de fisurare este mai mare decât valoarea experimentală.

Făcînd media raportului $\frac{M_r^e}{M_f^t}$ pentru elementele din etapa I împreună cu elementele GP 4...GP 6 rezultă valoarea





Tabelul 5.9

Compararea valorilor teoretice ale momentului incovoietor de rupere cu cele experimentale (etapa I)

Element	ρ (%)	$\frac{\sqrt{\rho Q}}{R \rho}$	M_r^e (tm)	M_r^t (tm)	$\frac{M_r^e}{M_r^t}$	$\frac{M_r^e}{bh_0^2 R_c}$
A1	0,877	0,528	10,8	7,4	1,46	0,315
A2	0,877	0,535	10,4	7,4	1,41	0,303
A3	0,877	0,510	7,75	6,5	1,19	0,234
A4	0,877	0,510	6,25	6,5	0,96	0,189
B1	0,74	0,615	8,8	6,54	1,32	0,249
B2	0,74	0,620	8,8	6,54	1,32	0,249
B3	0,74	0,615	7,3	5,26	1,39	0,203
B4	0,74	0,615	7,3	5,26	1,39	0,209
C1	0,438	0,650	5,9	3,97	1,49	0,182
C2	0,438	0,650	5,9	3,97	1,49	0,182
C3	0,438	0,545	6,4	5,05	1,58	0,176
C4	0,438	0,545	6,07	5,05	1,51	0,167
D1	0,49	0,495	6,07	4,67	1,30	0,170
D2	0,49	0,515	6,4	4,67	1,37	0,180
D3	0,49	0,495	5,9	5,12	1,43	0,172
D4	0,49	0,495	5,9	5,15	1,43	0,172
E11	0,877	0,639	11,05	8,24	1,53	0,353
E12	0,877	0,644	10,8	8,24	1,49	0,345
E21	0,49	0,758	7,1	5,62	1,53	0,221
E22	0,49	0,76	7,1	5,62	1,35	0,221
F11	0,877	0,475	11,3	7,27	1,55	0,332
F12	0,877	0,470	10,8	7,27	1,48	0,317
F21	0,49	0,528	7,1	5,60	1,54	0,233
F22	0,49	0,542	7,1	5,60	1,54	0,233
G11	0,877	0,290	11,5	7,32	1,57	0,337
G12	0,877	0,291	11,1	7,32	1,51	0,324
G21	0,49	0,330	6,89	4,60	1,50	0,238
G22	0,49	0,328	6,91	4,60	1,50	0,238

0,772. Pentru elementele compuse GP 1-1....GP 3-2 această medie rezultă 0,852. Această diferență se datorește faptului că momentul incovoietor de fisurare s-a calculat cu ipoteza simplificatoare că $W_f = \gamma W_0$, în timp ce la elementele compuse s-a calculat cu procedeul exact. Valoarea medie a raportului M_f^e / M_f^t pentru elementele

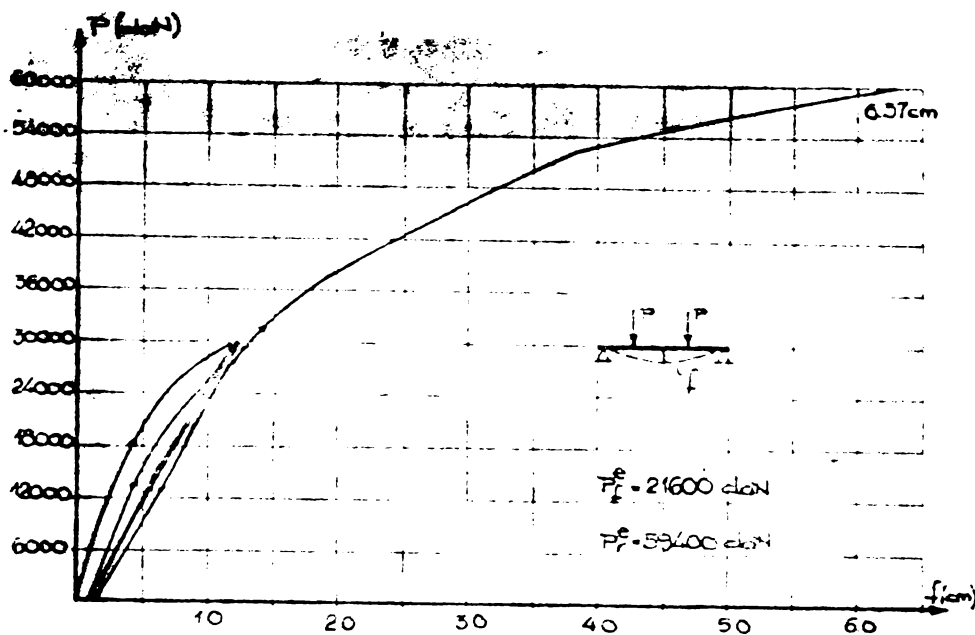


Fig 5.27 DIAGRAMA P-f PENTRU GRINDA GP-4

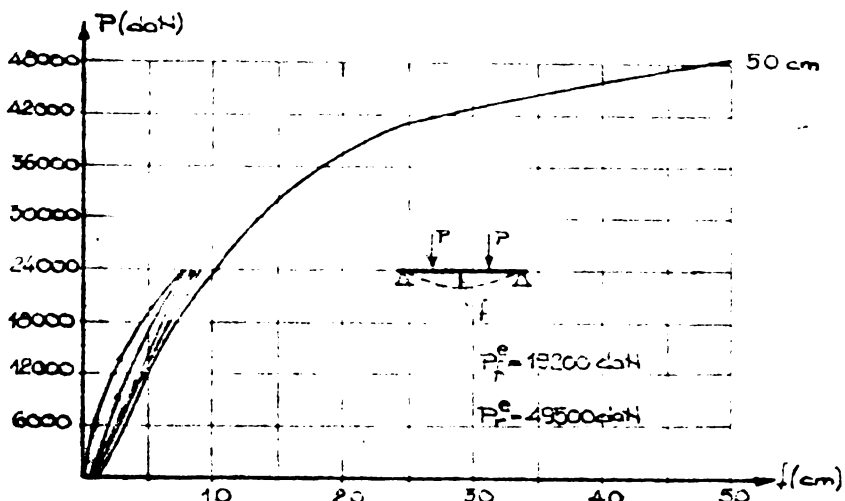


Fig 5.28 DIAGRAMA P-f PENTRU GRINDA GP-5

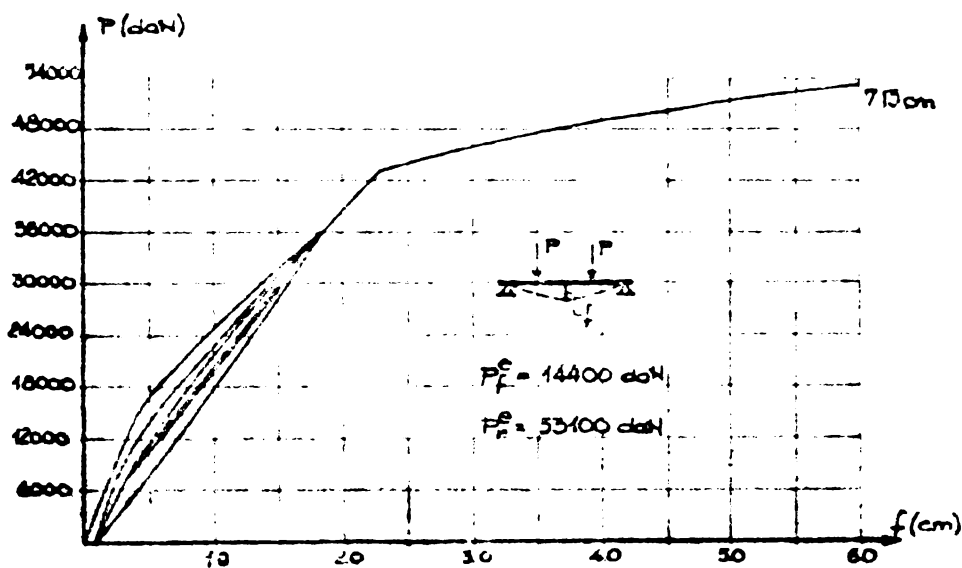


Fig 5.29 DIAGRAMA P-f PENTRU GRINDA GP-6

compuse se apropie de valoarea medie 0,849 în cazul utilizării relației 3.45, prevăzută de normele sovietice și CAER, unde pentru determinarea modului de rezistență la fisurare este prevăzut un calcul exact.

5.3.2. Compartarea în exploatare

Treapta de exploatare a fost dedusă din valoarea teoretică a forței de rupere prin împărțire la coeficientul de siguranță $c=1,8$. În tabelul 5.12 se prezintă valoarea treptei de exploatare, a forței de rupere și coeficientul de siguranță realizat. Se constată că la toate elementele treapta de exploatare a reprezentat, în mod practic, aceeași fracțiune din valoarea forței experimentale de rupere.

Având în vedere faptul că distanța dintre fisuri depinde și de modul de dispunere al

armăturilor complementare verificarea normalității distribuției distanței s-a făcut pentru cele două variante de dispunere a armăturilor precum și pentru ansamblul valorilor (Fig.5.31). Au fost eliminate

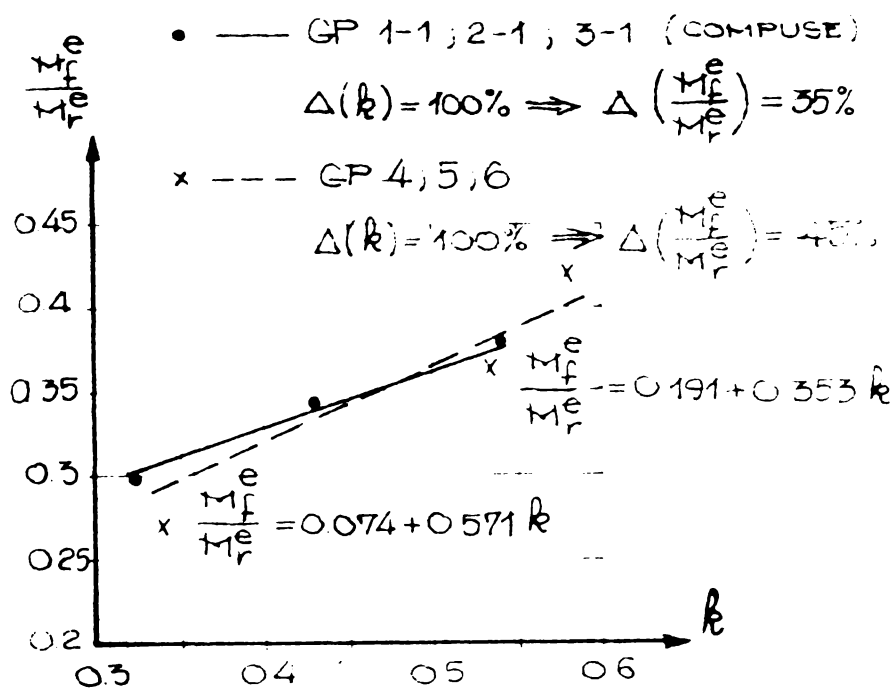


Fig. 5.30. INFLUENȚA GRADULUI DE PRE-COMPRIMARE k ASUPRA RAPORTULUI $\frac{M_f^e}{M_r^e}$

valorile extreme. Principalele caracteristici ale distribuției normale sînt prezentate în tabelul 5.13.

În tabelul 5.13 se prezintă de asemenea valorile medii ale distanțelor dintre fisuri pentru elementele din etapa II. Din compararea valorilor medii se constată că dispunerea intercalată a armăturii complementare cu armătura

Tabelul 5.10

Treptele de apariție ale fisurilor la elementele din etapa II

Element	p(%)		Grad de precomprimare		$\frac{M_f^e}{M_r^e}$
	A_p	A_a	teoretic	experimental	
GP 1-1	0,34	0,23	0,6	0,539	0,381
GP1-2	0,34	0,23	0,6	0,435	-
GP2-1	0,26	0,33	0,47	0,433	0,346
GP2-2	0,26	0,33	0,47	0,470	-
GP3-1	0,17	0,59	0,28	0,318	0,303
GP3-2	0,17	0,59	0,28	0,258	-
GP 4	0,77	0,34	0,56	0,540	0,364
GP 5	0,62	0,56	0,48	0,580	0,420
GP 6	0,46	1,08	0,33	0,340	0,271

pretensionată duce la reducerea distanței dintre fisuri. Dispunerea intercalată a cca 20% din armătura complementară a condus la o reducere medie a distanței dintre fisuri cu cca 30...40%.

Gradul de precomprimare k are o influență nesemnificativă asupra valorii

medii a distanței dintre fisuri (Fig.5.32), în timp ce raportul $\Sigma \mu/d$ are o influență sensibilă asupra distanței dintre fisuri (Fig.5.33). Reducerea distanței dintre fisuri la elementele cu armătură intercalată se datorește faptului că $\Sigma \frac{D}{d}$ este mai mare decât la celelalte elemente. Mărirea valorii $\Sigma \frac{D}{d}$ se datorește faptului că diametrul armăturii intercalate este mai mic decât al armăturii inferioare, precum și reducerii înălțimii utile ce determină sporirea procentului de armare.

Tabelul 5.11
Compararea valorilor teoretice ale elementelor încovoietoare de fisurare cu cele experimentale

Element	M_f^e (tm)	M_f^t (tm)	$\frac{M_f^e}{M_f^t}$
GP 1-1	42,0	49,72	0,845
GP 1-2	36,75	49,83	0,737
GP 2-1	35,70	42,38	0,844
GP 2-2	36,80	40,96	0,900
GP 3-1	27,05	28,74	0,894
GP 3-2	27,05	30,28	0,893
GP 4	37,80	45,18	0,835
GP 5	33,65	37,34	0,905
GP 6	25,20	31,43	0,797
Medie			0,850

Valorile deschiderii fisurilor formează o mulțime cu distribuție normală (Fig.5.34) ale cărei caracteristici principale sînt prezentate în tabelul 5.14.

În același tabel se prezintă valorile medii ale deschiderii fisurilor pentru elementele experimentale din etapa II, precum și caracteristicile distribuției

Tabelul 5.12
Valoarea realizată a coeficientului de siguranță

Element	GP 1-1	GP 2-1	GP 3-1	GP 4	GP 5	GP 6
$P_e(t)$	31,5	26,9	26,9	29,4	24,0	25,2
$P_r^e(t)$	63,0	55,6	51,0	59,4	45,6	53,1
c	2,0	2,03	1,9	2,01	1,91	2,1

normale pentru cele două grupe de elemente.

Din compararea valorilor medii se constată că dispunerea intercalată a armăturilor complementare cu armătura pre-tensionată duce la reducerea deschiderii fisurilor, ca o consecință directă a reducerii distanței

Tabelul 5.13
Distanța dintre fisuri la elementele din etapa II

Element	Mod de dispunere armătura	λ_f (cm)		Caracteristicile distribuției normale λ_f		
		medie	max.	media (cm)	abateră standard	coef. variație(%)
GP 1-1		14,5	30,0			
GP 1-2		15,5	23,5			
GP 2-1	Neintercalat	13,9	25,0	14,5	6,2	42,5
GP 2-2		12,8	24,0			
GP 3-1		13,4	27,0			
GP 3-2		13,8	17,5			
GP 4		10,05	15,0			
GP 5	Intercalat	10,65	19,7	10,23	3,88	37,9
GP 6		9,70	14,0			
Ansamblul elem. experimentale		13,32		5,94		44,58

dintre fisuri. Dispunerea intercalată a cca 20% din armătura complementară a condus la o reducere a deschiderii fisurilor cu cca 10..20%.

Gradul de precomprimare k are o influență semnificativă asupra deschiderii fisurilor, așa cum se poate constata din figura 5.35.

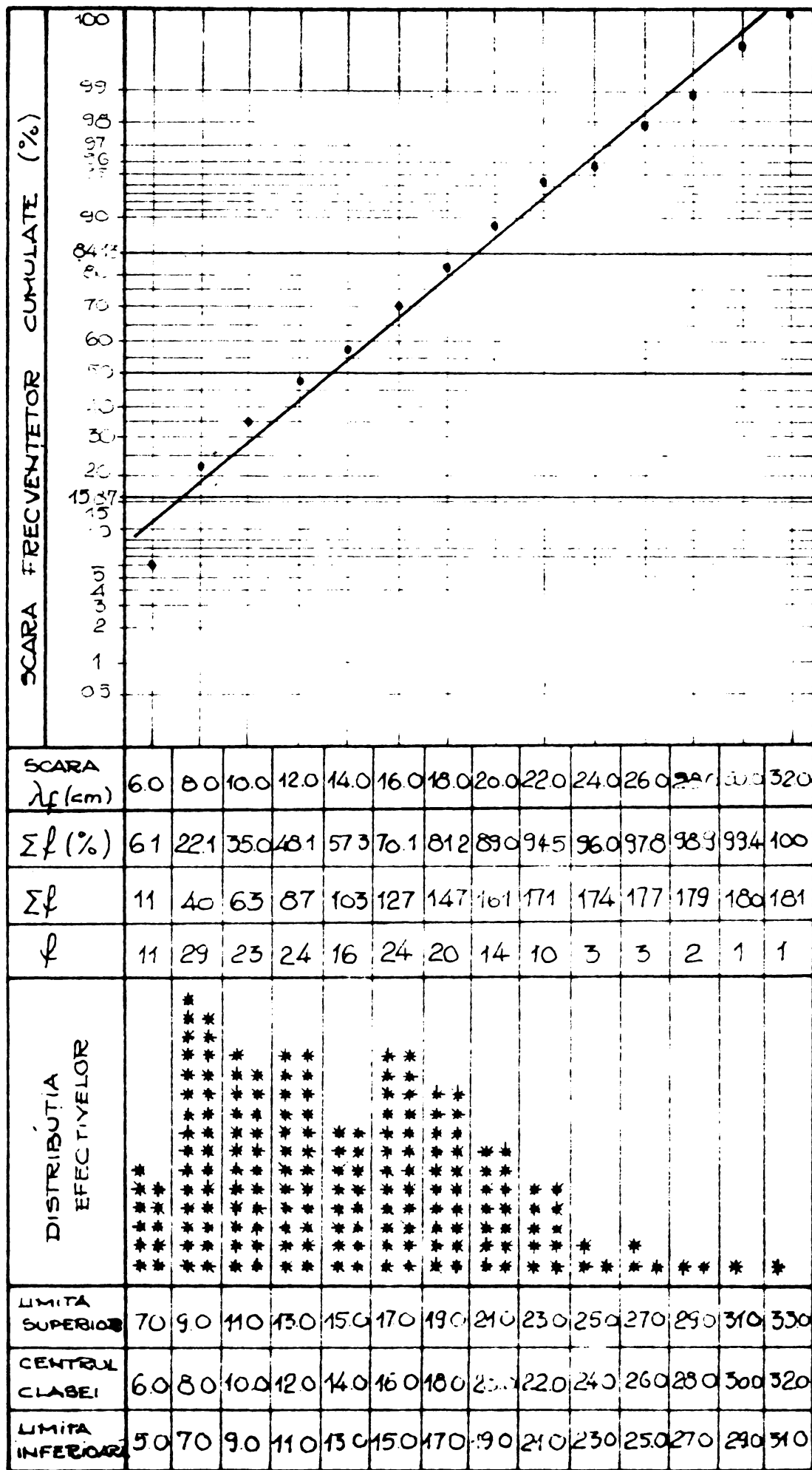


Fig. 5.31. VERIFICAREA NORMALITĂȚII DISTRIBUTIEI DISTANȚEI DINTRE FISURI λ_f

Pe baza valorilor măsurate pentru distanța dintre fisuri λ_f^e și pentru deschiderea fisurilor α_f^e și pe baza variației efortului unitar în armătura pretenționată $\Delta \sigma_p$ s-a calculat coeficientul de conlucrare ψ (Tabelul 5.33-*plc*). Reprezentarea acestor valori în funcție de gradul de pre-comprimare k (Fig. 5.36) conduce la concluzia că între ψ și k există o legătură liniară, deși există o oarecare împrăștiere a rezultatelor.

După cum s-a arătat la punctul 4.3.2 în Instrucțiunile tehnice pentru elementele din beton precomprimat parțial /116/

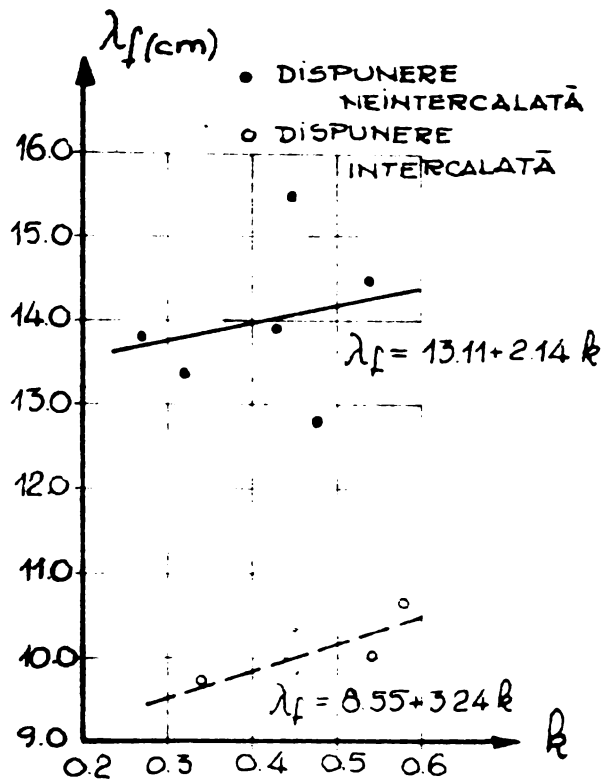


Fig. 5.32 LEGĂTURA DINTRE λ_f ȘI GRADUL DE PRECOMPRIERE k (ETAPA II)

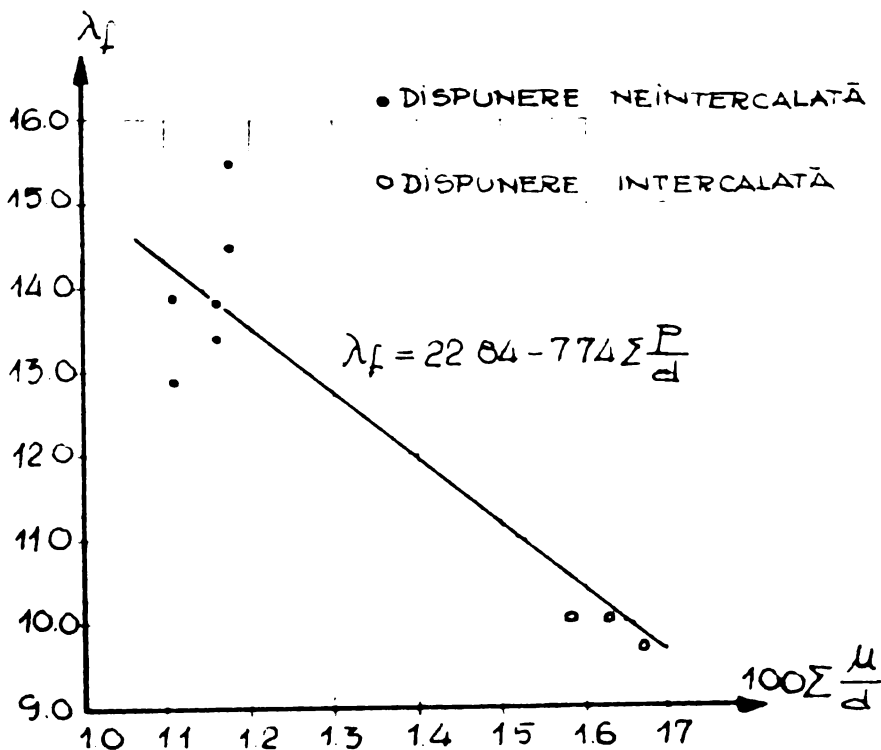


Fig. 5.33 LEGĂTURA DINTRE λ_f ȘI $\Sigma \frac{\mu}{d}$

verificarea închiderii fisurilor se înlocuiește prin limitarea valorii medii a deschiderii fisurilor la 0,03 mm. Se recomandă ca valoarea maximă a deschiderii fisurilor să fie 0,05 mm.

Elementele GP 4...GP 6 au fost supuse la încărcări-descărcări repetate pentru a urmări efectul acestora asupra evoluției fisurilor. Prin îndesirea treptelor de încărcare s-au căutat treptele de încărcare P_1 și P_2 , definite în figura 5.7 (Tabelul 5.15). Deși căutarea acestor valori s-a făcut prin îndesirea treptelor nu s-au putut depista în mod precis valorile prevăzute ale deschiderilor de fisuri, ci valori apropiate. Asupra acestor valori s-a

urmărit efectul încărcărilor-descărcărilor repetate.

Evoluția deschiderii fisurilor după aplicarea repetată a încărcărilor este prezentată în tabelul 5.16.

În privința evoluției valorii medii a fisurilor după cele cinci încărcări-descărcări se constată un spor de 5% în cazul grinzii GP 4, respectiv un spor de 11,8% în cazul grinzii GP5. Deschiderile maxime ale fisurilor nu au suferit modificări. Reducerea valorilor α_f med și α_f max'

în cazul grinzii GP 6 se datorește apariției câtorva fisuri în timpul repetării încărcării, reducându-se în acest fel distanța dintre fisuri.

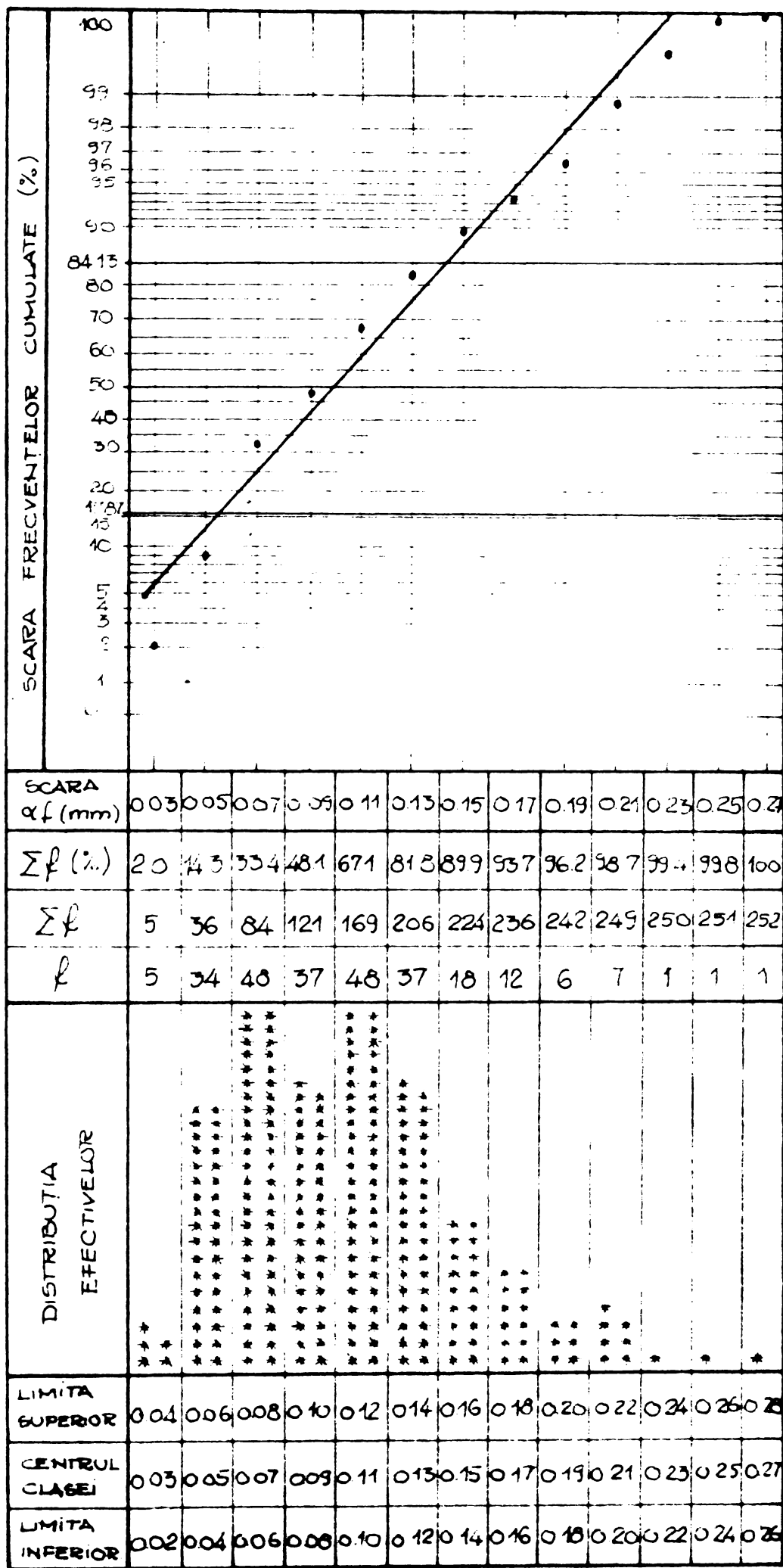


Fig. 5.34. VERIFICAREA NORMALITĂȚII DISTRIBUTIEI DESCHIDERII FISURILOR α_f

In privința deschiderii remanente a fisurilor la treapta de încărcare P_1 , după descărcare de la treapta de supra-sarcina P_2 , se constată la grinzile GP 4 și GP 5 rămânând la valorile α_f med și α_f max după cele cinci cicluri de încărcare-descărcare. La grinda GP 6 α_f med și α_f max au crescut cu 11,6%, dar oricum α_f med și α_f max au rămas sub valorile 0,03 mm. respectiv 0,05 mm.

Deschiderile remanente ale fisurilor la treapta de încărcare P_3 , după descărcarea de la P_2 , sînt mai mari/mici decît valorile de la treapta P_1 , după cum P_2 este mai mare/mic decît P_1 . In urma descărcării repetate de la P_2 la P_3 , la această treap-

Tabelul 5.14
Deschiderea fisurilor la elementele
din etapa II

Element	Mod de dispunere armătură.	α_f (mm)		Caracteristicile distribuției normale α_f		
		medie	max.	media abaterii standard (mm)	coef. variației (%)	
GP 1-1		0,11	0,17			
GP 1-2		0,13	0,27			
GP 2-1	Neintercalat	0,10	0,2	0,113	0,048	42,10
GP 2-2		0,09	0,19			
GP 3-1		0,12	0,17			
GP 3-2		0,12	0,20			
GP 4	Intercalat	0,095	0,14	0,074	0,023	31,54
GP 5		0,062	0,08			
GP 6		0,065	0,10			
Ansamblul elementelor experimentale				0,098	0,044	45,09

Tabelul 5.15

Valorile treptelor de încărcare-descărcare

Element	P_1	P_2	P_3	P_e	$\frac{P_1}{P_e}$	$\frac{P_2}{P_e}$
	(t)	(t)	(t)	(t)		
GP 4	18,9	30,9	20,6	29,4	0,65	1,05
GP 5	19,2	31,2	16,8	24,0	0,8	1,27
GP 6	14,4	36,0	17,4	25,2	0,57	1,43

tă de încărcare nu au survenit modificări importante.

În privința valorilor α_f med și α_f max la treapta de supraîncărcare P_2 acestea sînt mai mici sau cu ceva mai mari (α_f med cu maximum 7%, α_f max cu maximum 11,3%), decît 0,1 mm, respectiv 0,15 mm. Aceste valori corespund ca limite ale deschiderii fisurilor pentru valoarea medie respectiv pentru valoarea maximă la nivelul de încărcare corespunzător treptei de exploatare P_e .

Se poate aprecia

aprecia că sub efectul încărcărilor-descărcărilor repetate modificările survenite nu vor putea afecta siguranța elementelor.

În figurile 5.37 - 5.45 (plac) se prezintă aspecte ale elementelor experimentale sub încărcarea de exploatare. Se constată că în cazul dispunerii intercalate a armăturilor (GP 4....GP 6) distanța dintre fisuri, pe zona de moment încovoietor constant, este mai mică decît în cazul dispunerii neintercalate a armăturilor (GP 1-1... GP 3-2).

În figura 5.46 se prezintă evoluția deschiderii medii și maxime a fisurilor pentru grinziile supuse la oboseală (GP 1-2.... GP 3-2), pentru care coeficientul de asimetrie a fost 0,6. Se constată că pînă la 66% din numărul total de cicluri deschiderea medie și maximă a fisurilor a manifestat o tendință de stabilizare, după care deschiderea fisurilor a început să crească substanțial, lucru care

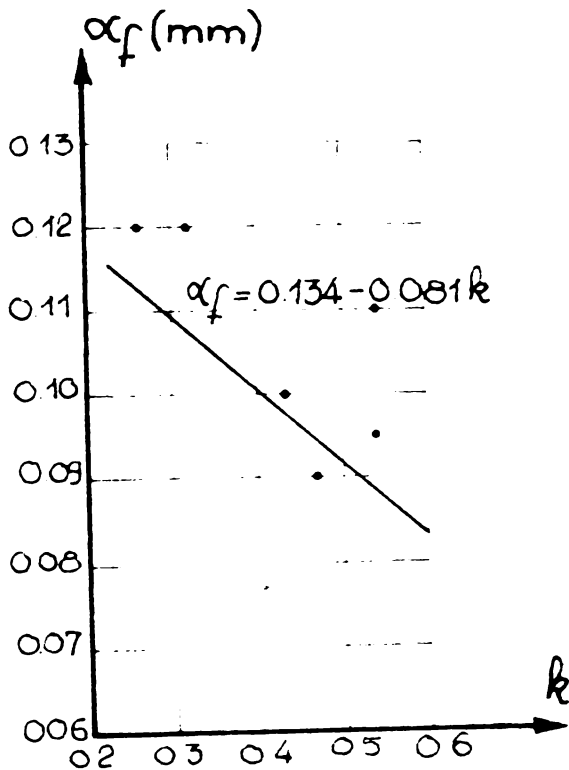


Fig. 5.35. INFLUENȚA GRADULUI DE PRECOMPRESIUNE ASUPRA MĂRIMII DESCHIDERII FISURILOR

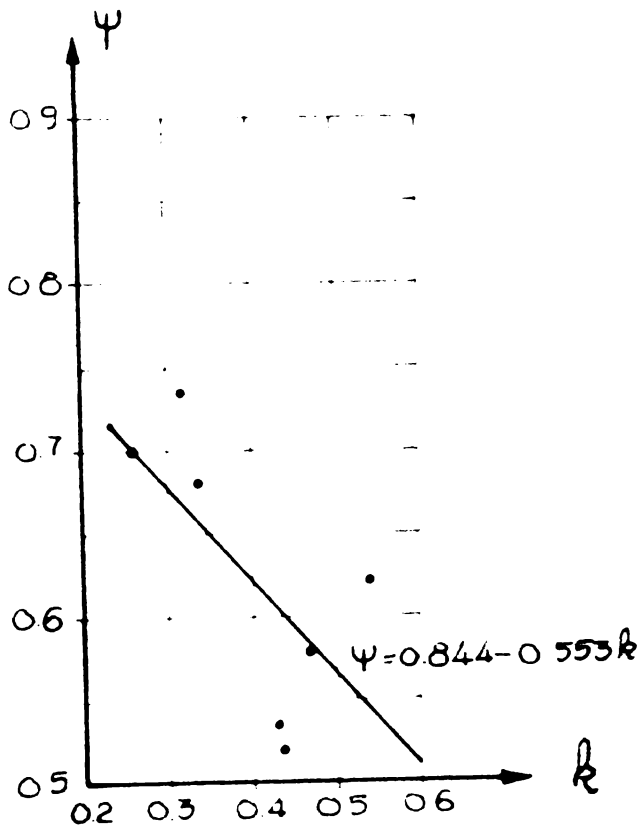


Fig. 5.36. LEGĂTURĂ ÎNTRE COEFICIENȚUL DE CONLUCRARE ψ ȘI GRADUL DE PRECOMPRESIUNE k (ETAPEA II)

se constată mai ales în cazul deschiderii maxime a fisurilor.

5.3.3. Ruperea elementelor

În toate cazurile elementelor încărcate static ruperea s-a produs prin zdrobirea betonului comprimat.

Compararea valorilor teoretice cu cele experimentale este prezentată în tabelul 5.17. La grinzile GP 4....GP 6 s-a constatat o rupere cu un caracter casant mai pronunțat decât la grinzile GP 1-1....GP 3-1. Acest lucru s-a datorat faptului că la grinzile GP 1-1GP 3-1 în zona comprimată betonul a fost de o calitate mai redusă (beton armat). Ruperea mai casantă a elementelor GP 4.... GP 6 este reflectată și în valoarea relativă a săgeții din momentul rupei (Tabelul 5.17).

Procentul de armare al armăturii pretensionate are o influență puternică asupra momentului încovoietor de rupere, la un spor de 100% al procentului de armare corespunzând un spor de oca 70% al capacității portante (Fig.5.47). Același spor a fost constatat și în cazul elementelor experimentale din etapa I.

Gradul de precompresie k nu este corelat cu momentul încovoietor de rupere deoarece k se referă la stadiul de exploatare.

La elementele compuse GP 1-1, GP 2-1, GP 3-1 nu s-au constatat lucrări între cele două tipuri de beton, pe toată

Tabelul 5.16

Descrierile medii maxime α f med / α f max ale fisurilor sub efectul

încărcărilor - descrierilor repetate

Element	Încărcare-descărcare în intervalul P ₁ -P ₂ (mm)		Deschiderea fisurilor la treapta de încărcare P ₁		Înainte după descărcare înainte de de încărcare de la P ₂ la P ₂		după descărcare la ultima încărcare de la P ₂ care la P ₁ înainte de rupere	
	deschiderea fisurilor înainte de încărcare la P ₂	deschiderea fisurilor după încărcarea la P ₂	deschiderea fisurilor înainte de încărcare la P ₂	deschiderea fisurilor după încărcarea la P ₂	deschiderea fisurilor înainte de încărcare la P ₂	deschiderea fisurilor după încărcarea la P ₂	deschiderea fisurilor înainte de încărcare la P ₂	deschiderea fisurilor după încărcarea la P ₂
OP 4	0,037/0,06	0,039/0,06	0,035/0,05	0,035/0,05	0,033/0,05	0,039/0,06	0,0365/0,05	0,037/0,05
OP 5	0,032/0,05	0,038/0,05	0,0345/0,05	0,0395/0,05	0,035/0,045	0,038/0,06	0,037/0,05	0,037/0,05
OP 6	0,021/0,05	0,019/0,03	0,18/0,03	0,017/0,03	0,022/0,03	0,022/0,035	0,025/0,03	0,025/0,03

Tabelul 5.16 (continuare)

Element	Deschiderea fisurilor la P ₃		Deschiderea fisurilor la P ₂ (mm)	
	după prima descărcare de la P ₂ (mm)	la a doua descărcare	la prima încărcare	la a doua încărcare
OP 4	0,049/0,07	0,05/0,07	0,097/0,15	0,098/0,16
OP 5	0,0335/0,05	0,0345/0,05	0,091/0,13	0,09/0,12
OP 6	0,067/0,09	0,068/0,09	0,092/0,16	0,085/0,12

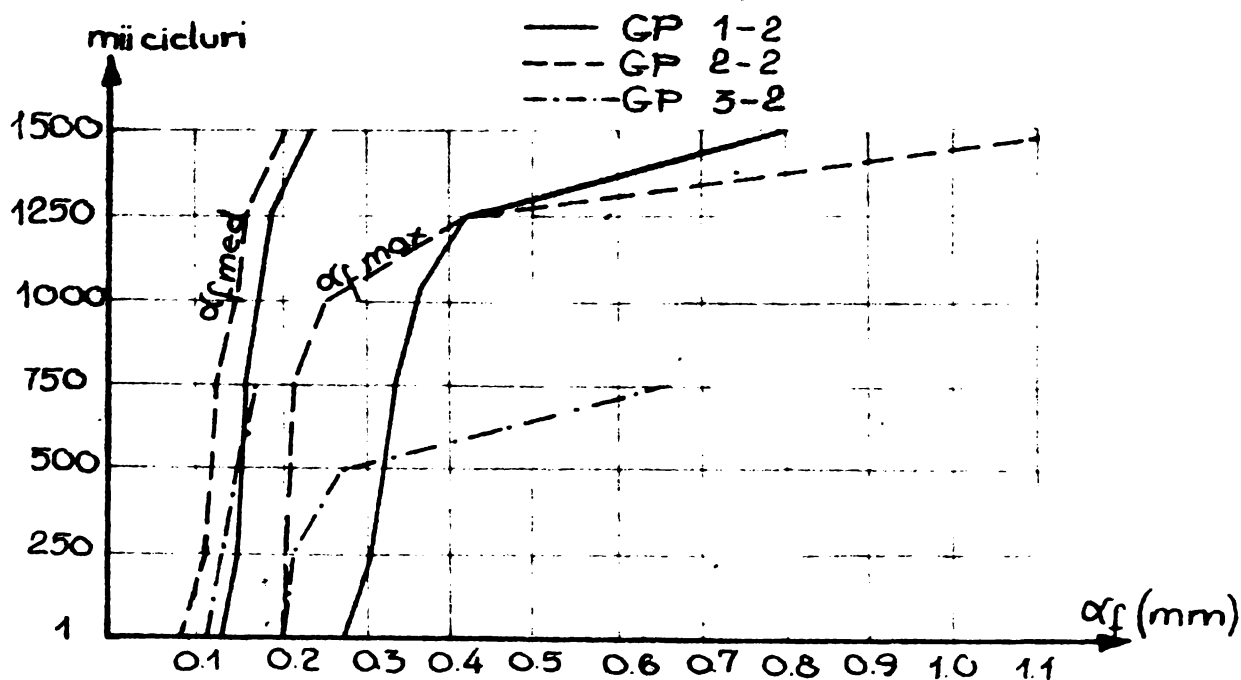


Fig. 5.46. EVOLUTIA DESCHIDERII MEDII SI MAXIME SUB EFECTUL ÎNCĂRCĂRII DE OBOSEALĂ

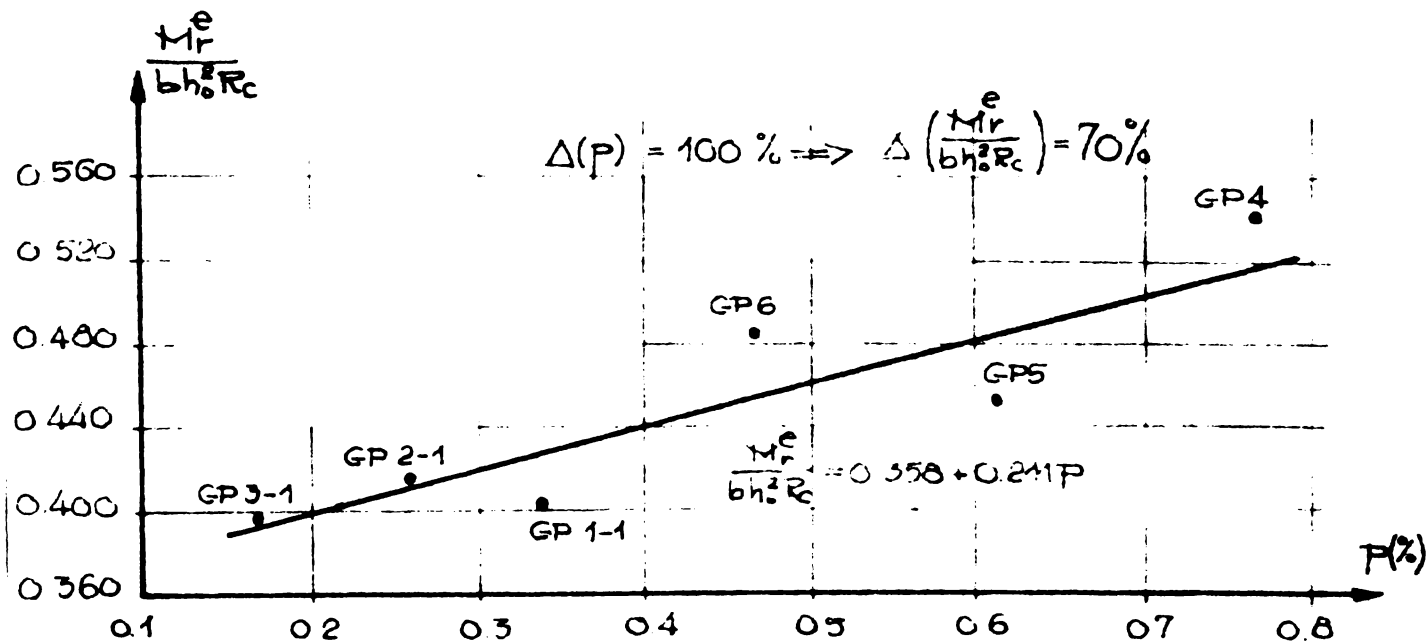


Fig. 5.47 INFLUENȚA PROCENTULUI DE ARMARE AL ARMĂTURII PRETENSIONATE ASUPRA VALORII RELATIVE A MOMENTULUI ÎNCOVOIETOR EXPERIMENTAL DE RUPERE

durata încercării.

În figurile 5.48 - 5.53 (plio) se prezintă aspectul grinzilor rupte la încărcări statice, iar în figurile 5.54 - 5.56 (plio) sînt prezentate grinzile GP 1-2, GP 2-2 și GP 3-2 supuse la oboseală la care ruperea s-a produs prin cedarea armăturii.

5.4. Prelucrarea statistică a datelor experimentale

5.4.1. Stabilirea ecuației de regresie prin metoda celor mai mici pătrate.

Eliminarea valorilor extreme

La prelucrarea datelor experimentale există tendința de a se acorda o importanță mai mare valorilor extreme. De multe ori însă valorile extreme se abat de la regula ce domină majoritatea valorilor și în acest caz ele pot erona rezultatele prelucrării, motiv pentru care ele trebuie excluse.

Tabloul 5.17

Compararea valorilor teoretice ale momentelor încovoietoare de rupere cu cele experimentale (etapa II)

Element	$D(\%)$		k	M_r^e (tm)	M_r^t (tm)	$\frac{M_r^e}{M_r^t}$	$\frac{M_r^e}{M_r^t} \cdot 100$	$\frac{1}{n}$
	A_p	A_a						
GP 1-1	0,34	0,23	0,539	110,5	93,96	1,18	0,403	1/46
GP 2-1	0,26	0,33	0,433	97,6	83,3	1,17	0,416	1/46
GP 3-1	0,17	0,59	0,318	88,5	73,4	1,13	0,399	1/41
GP 4	0,77	0,34	0,540	104,0	92,34	1,12	0,536	1/34
GP 5	0,62	0,56	0,530	86,6	84,8	1,02	0,454	1/107
GP 6	0,46	1,08	0,340	93,3	82,1	1,13	0,439	1/15

Dintre criteriile de eliminare a valorilor extreme se pot aminti cele ale lui Pearson - Hartley, Smirnov-Grubbs, Irwin, etc. În cazul valorilor obținute din măsurători efectuate în domeniul tehnic se apreciază ca cel mai indicat criteriul lui Chauvenet /87/, /95/. Conform acestei metode sînt considerate ca anormale valorile cuprinse în afara intervalului:

$$[x_{\min}, x_{\max}]$$

unde: $x_{\min} = \bar{x} - \sqrt{2} SF_{\text{extr}}$;

$$x_{\max} = \bar{x} + \sqrt{2} SF_{\text{extr}}$$

\bar{x} - media aritmetică a valorilor analizate;

S - abaterea medie pătratică a valorilor analizate;

P_{extr} - valoare tabelară funcție de numărul de elemente.

Verificarea normalității unei distribuții de valori

Pentru a putea stabili o corelație între două șiruri de valori este necesar ca acestea să aibă o distribuție normală. Verificarea

expeditivă a normalității unei distribuții se poate face cu rețeaua de probabilitate a lui Henry /28/, /85/, /95/. În figurile 5.31 și 5.34 este prezentată verificarea normalității distribuției distanței dintre fisuri, respectiv a distribuției deschiderii fisurilor.

Dacă distribuția are puține valori, de regulă sub 30, se consideră că distribuția este normală atunci când:

$$|x_i - \bar{x}| / S \leq t_{1-\alpha, n-1}$$

unde: S este abaterea medie pătratică a șirului $x_i (i=1, 2, \dots, n)$;

$t_{1-\alpha, n-1}$ - valoarea distribuției Student;

α - nivelul de semnificație.

Principalele caracteristici ale unei distribuții normale

În stabilirea coeficienților ecuației de regresie intervin următoarele caracteristici ale distribuției de valori $x_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$:

- media aritmetică: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$

- abaterea medie pătratică: $S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$

Metoda celor mai mici pătrate

În cazul unei mulțimi bidimensionale, formată din perechile x_i și $y_i (i=1, 2, \dots, n)$, când între cele două șiruri este așteptată o relație liniară, acesta se poate exprima prin ecuația:

$$y = a_x + b_x x \tag{5.1}$$

numită și ecuația de regresie a lui y față de x .

Pentru mulțimea bidimensională se poate stabili și ecuația de regresie a lui x față de y :

$$x = a_y + b_y y \tag{5.1'}$$

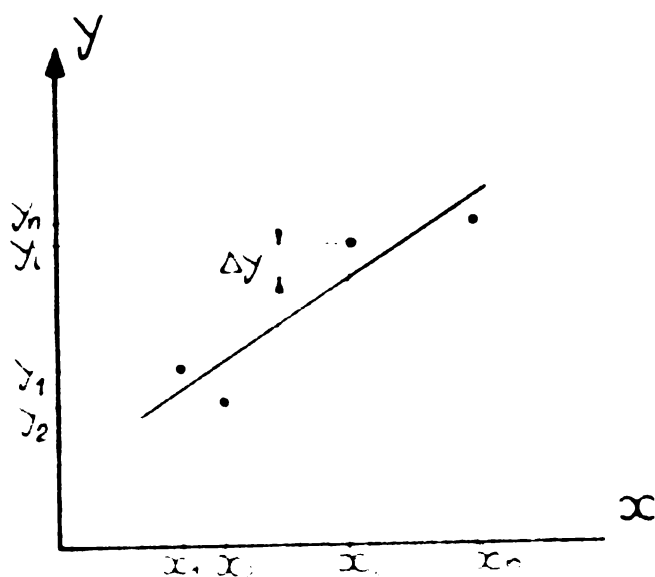
Coefficienții ecuației de regresie a lui y față de x se stabilesc din condiția ca expresia (fig. 5.57):

$$S = \sum y^2 = \sum (y - y_1)^2 = \sum (y - a_x - b_x x)^2 \tag{5.2}$$

să aibă un minim, adică:

$$\frac{\partial (y - y_1)^2}{\partial a_x} = 0; \tag{5.3}$$

$$\frac{\partial (y - y_1)^2}{\partial b_x} = 0 \tag{5.4}$$



In urma efectuării derivatelor parțiale rezultă:

$$na_x + b_x \Sigma x = \Sigma y; \quad a_x \Sigma x + b_x \Sigma x^2 = \Sigma xy \quad (5.3' - 5.4')$$

Rezolvarea sistemului de ecuații (5.3' - 5.4') conduce la:

$$a_x = \bar{y} - R_x \bar{x}; \quad b_x = R_x$$

unde:

$R_x = rS_y/S_x$ - coeficientul de regresie a lui y față de x ;

$r = p/S_x S_y$ - coeficientul de corelație;

S_x - abaterea medie pătratică a șirului x_i ;

S_y - abaterea medie pătratică a șirului y_i ;

$p = \Sigma (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})/n-1$ - covarianța

In mod similar se obțin coeficienții ecuației de regresie a lui x față de y .

Testul de semnificație al corelației este:

$$t = |r| \sqrt{n-2} / \sqrt{1-r^2} \geq t_{\alpha, n-2} \quad (5.5)$$

unde: $t_{\alpha, n-2}$ se determină din repartiția Student pentru nivelul de semnificație α (în mod curent 1% sau 5%) și pentru $n-2$ (în acest caz n se consideră egal cu numărul total de măsurători efectuate).

Dacă inegalitatea (5.5) este satisfăcută atunci se consideră că există o bună dependență între șirurile x_i și y_i .

5.4.2. Determinarea statistică a coeficientului β_f

După cum s-a arătat la 4.4 faptul de a admite că distanța dintre fisuri este egală cu distanța dintre etrieri, conform /108/ și /109/, constituie o ipoteză îndepărtată de realitate, motiv pentru care se propune relația (4.15) în care coeficientul β_f înlocuiește raportul R_t / τ_{am} .

Coeficientul β_f depinde de procentul de armare, diametrul armăturii și de tipul armăturii, fiind acceptată relația:

$$\beta_f = a + b \mu/d$$

Expresiile coeficientului β_f pentru armături din oțel OB 37, PC 52, și PC 60 sînt prevăzute în STAS 10107/0-76 /108/, iar pentru toroane expresia coeficientului β_f a fost dedusă în cadrul Catedrei de Beton armat și clădiri (pct.4.3)

Toate aceste expresii sînt deduse în ipoteza că în secțiune se găsește un singur tip de armătură, ori în prezent tendința generală de realizare a betonului precomprimat este în varianta precomprimării moderate cu armătură complementară. În această situație determinarea coeficientului β_f trebuie făcută global, cu luarea în

considerare a ambelor tipuri de armături, expresia lui β_f devenind:

$$\beta_f = a + b \Sigma \mu/d$$

Avînd în vedere relația (4.15) se obține:

$$\beta_f^e = \lambda_f^e \mu / A_{bf}$$

unde: λ_f^e este valoarea experimentală a distanței dintre fisuri.

Avînd în vedere relația (5.1) șirul x_1 este format din valorile $\Sigma \mu/d$, iar șirul y_1 este format din valorile $\lambda_f^e \mu / A_{bf}$.

În tabelul 5.18 se prezintă valorile $x_1 = \Sigma \mu/d$ și $y_1 = \lambda_f^e \mu / A_{bf}$ (valori medii pentru fiecare grindă).

Verificarea normalității distribuției x_1 este prezentată în tabelul 5.19, iar a distribuției $y_1 = \beta_f^e$ în figura 5.58.

Determinarea coeficienților ecuației de regresie s-a făcut la calculatorul electronic (Anexa 5.3) și luînd în considerare și raportul A_p/A_a a rezultat:

$$\beta_f = \begin{cases} 1,42 + 2,0 \Sigma \mu/d & \text{pentru } A_p/A_a \geq 1,0 \\ 1,37 + 1,82 \Sigma \mu/d & \text{pentru } 0,5 \leq A_p/A_a \leq 1,0 \\ 1,28 + 1,5 \Sigma \mu/d & \text{pentru } 0,3 \leq A_p/A_a \leq 0,5 \end{cases} \quad (5.5)$$

Testul de semnificație este:

$$\begin{aligned} t = 1,93 < t_{\alpha, n-1} = 2,01 & \quad \text{pentru } A_p/A_a \geq 1 \\ t = 2,03 > t_{\alpha, n-1} = 1,99 & \quad \text{pentru } 0,5 \leq A_p/A_a \leq 1,0 \\ t = 2,03 \approx t_{\alpha, n-1} = 2,02 & \quad \text{pentru } 0,3 \leq A_p/A_a \leq 0,5 \end{aligned}$$

5.4.3. Determinarea statistică a coeficientului de conlucrare ψ

După cum a rezultat din prelucrarea datelor din etapa I și II între coeficientul de conlucrare ψ și gradul de precomprimare k poate fi stabilită o legătură liniară sub forma

$$\psi = a + bk$$

Avînd în vedere relația (4.14) se obține:

$$\psi^e = \alpha_f^e \Sigma p / \lambda_f^e \Delta \sigma_p$$

unde: α_f^e este valoarea experimentală a deschiderii fisurii;

λ_f^e - valoarea experimentală a distanței dintre fisuri.

Avînd în vedere relația (5.1) șirul de valori x_1 este format la valorile k , iar șirul y_1 este format din valorile ψ^e .

În Anexa 5.4 se prezintă valorile $x_1 = k$ și $y_1 = \psi^e$ (valori medii pentru fiecare grindă) precum și testul de verificare a normalității distribuțiilor x_1 și y_1 , constatîndu-se că numai două valori din șirul

Tabelul 5.18

Date inițiale pentru stabilirea ecuației $\beta_f = a + b \Sigma \mu/d$

Element	Armătura pre-intinsă		Armătura complementară		tip	A _a (cm ²)	A _p (cm ²)	p _p (%)	p _a (%)	p _p /d	p _a /d	Σ μ/d	Σ μ ² /d ²	Σ μ ³ /d ³	Σ μ ⁴ /d ⁴	Σ μ ⁵ /d ⁵	Σ μ ⁶ /d ⁶	Σ μ ⁷ /d ⁷	Σ μ ⁸ /d ⁸	Σ μ ⁹ /d ⁹	Σ μ ¹⁰ /d ¹⁰	Σ μ ¹¹ /d ¹¹	Σ μ ¹² /d ¹²	Σ μ ¹³ /d ¹³	Σ μ ¹⁴ /d ¹⁴	Σ μ ¹⁵ /d ¹⁵	Σ μ ¹⁶ /d ¹⁶	Σ μ ¹⁷ /d ¹⁷	Σ μ ¹⁸ /d ¹⁸	Σ μ ¹⁹ /d ¹⁹	Σ μ ²⁰ /d ²⁰	Σ μ ²¹ /d ²¹	Σ μ ²² /d ²²	Σ μ ²³ /d ²³	Σ μ ²⁴ /d ²⁴	Σ μ ²⁵ /d ²⁵	Σ μ ²⁶ /d ²⁶	Σ μ ²⁷ /d ²⁷	Σ μ ²⁸ /d ²⁸	Σ μ ²⁹ /d ²⁹	Σ μ ³⁰ /d ³⁰	Σ μ ³¹ /d ³¹	Σ μ ³² /d ³²	Σ μ ³³ /d ³³	Σ μ ³⁴ /d ³⁴	Σ μ ³⁵ /d ³⁵	Σ μ ³⁶ /d ³⁶	Σ μ ³⁷ /d ³⁷	Σ μ ³⁸ /d ³⁸	Σ μ ³⁹ /d ³⁹	Σ μ ⁴⁰ /d ⁴⁰	Σ μ ⁴¹ /d ⁴¹	Σ μ ⁴² /d ⁴²	Σ μ ⁴³ /d ⁴³	Σ μ ⁴⁴ /d ⁴⁴	Σ μ ⁴⁵ /d ⁴⁵	Σ μ ⁴⁶ /d ⁴⁶	Σ μ ⁴⁷ /d ⁴⁷	Σ μ ⁴⁸ /d ⁴⁸	Σ μ ⁴⁹ /d ⁴⁹	Σ μ ⁵⁰ /d ⁵⁰	Σ μ ⁵¹ /d ⁵¹	Σ μ ⁵² /d ⁵²	Σ μ ⁵³ /d ⁵³	Σ μ ⁵⁴ /d ⁵⁴	Σ μ ⁵⁵ /d ⁵⁵	Σ μ ⁵⁶ /d ⁵⁶	Σ μ ⁵⁷ /d ⁵⁷	Σ μ ⁵⁸ /d ⁵⁸	Σ μ ⁵⁹ /d ⁵⁹	Σ μ ⁶⁰ /d ⁶⁰	Σ μ ⁶¹ /d ⁶¹	Σ μ ⁶² /d ⁶²	Σ μ ⁶³ /d ⁶³	Σ μ ⁶⁴ /d ⁶⁴	Σ μ ⁶⁵ /d ⁶⁵	Σ μ ⁶⁶ /d ⁶⁶	Σ μ ⁶⁷ /d ⁶⁷	Σ μ ⁶⁸ /d ⁶⁸	Σ μ ⁶⁹ /d ⁶⁹	Σ μ ⁷⁰ /d ⁷⁰	Σ μ ⁷¹ /d ⁷¹	Σ μ ⁷² /d ⁷²	Σ μ ⁷³ /d ⁷³	Σ μ ⁷⁴ /d ⁷⁴	Σ μ ⁷⁵ /d ⁷⁵	Σ μ ⁷⁶ /d ⁷⁶	Σ μ ⁷⁷ /d ⁷⁷	Σ μ ⁷⁸ /d ⁷⁸	Σ μ ⁷⁹ /d ⁷⁹	Σ μ ⁸⁰ /d ⁸⁰	Σ μ ⁸¹ /d ⁸¹	Σ μ ⁸² /d ⁸²	Σ μ ⁸³ /d ⁸³	Σ μ ⁸⁴ /d ⁸⁴	Σ μ ⁸⁵ /d ⁸⁵	Σ μ ⁸⁶ /d ⁸⁶	Σ μ ⁸⁷ /d ⁸⁷	Σ μ ⁸⁸ /d ⁸⁸	Σ μ ⁸⁹ /d ⁸⁹	Σ μ ⁹⁰ /d ⁹⁰	Σ μ ⁹¹ /d ⁹¹	Σ μ ⁹² /d ⁹²	Σ μ ⁹³ /d ⁹³	Σ μ ⁹⁴ /d ⁹⁴	Σ μ ⁹⁵ /d ⁹⁵	Σ μ ⁹⁶ /d ⁹⁶	Σ μ ⁹⁷ /d ⁹⁷	Σ μ ⁹⁸ /d ⁹⁸	Σ μ ⁹⁹ /d ⁹⁹	Σ μ ¹⁰⁰ /d ¹⁰⁰	Σ μ ¹⁰¹ /d ¹⁰¹	Σ μ ¹⁰² /d ¹⁰²	Σ μ ¹⁰³ /d ¹⁰³	Σ μ ¹⁰⁴ /d ¹⁰⁴	Σ μ ¹⁰⁵ /d ¹⁰⁵	Σ μ ¹⁰⁶ /d ¹⁰⁶	Σ μ ¹⁰⁷ /d ¹⁰⁷	Σ μ ¹⁰⁸ /d ¹⁰⁸	Σ μ ¹⁰⁹ /d ¹⁰⁹	Σ μ ¹¹⁰ /d ¹¹⁰	Σ μ ¹¹¹ /d ¹¹¹	Σ μ ¹¹² /d ¹¹²	Σ μ ¹¹³ /d ¹¹³	Σ μ ¹¹⁴ /d ¹¹⁴	Σ μ ¹¹⁵ /d ¹¹⁵	Σ μ ¹¹⁶ /d ¹¹⁶	Σ μ ¹¹⁷ /d ¹¹⁷	Σ μ ¹¹⁸ /d ¹¹⁸	Σ μ ¹¹⁹ /d ¹¹⁹	Σ μ ¹²⁰ /d ¹²⁰	Σ μ ¹²¹ /d ¹²¹	Σ μ ¹²² /d ¹²²	Σ μ ¹²³ /d ¹²³	Σ μ ¹²⁴ /d ¹²⁴	Σ μ ¹²⁵ /d ¹²⁵	Σ μ ¹²⁶ /d ¹²⁶	Σ μ ¹²⁷ /d ¹²⁷	Σ μ ¹²⁸ /d ¹²⁸	Σ μ ¹²⁹ /d ¹²⁹	Σ μ ¹³⁰ /d ¹³⁰	Σ μ ¹³¹ /d ¹³¹	Σ μ ¹³² /d ¹³²	Σ μ ¹³³ /d ¹³³	Σ μ ¹³⁴ /d ¹³⁴	Σ μ ¹³⁵ /d ¹³⁵	Σ μ ¹³⁶ /d ¹³⁶	Σ μ ¹³⁷ /d ¹³⁷	Σ μ ¹³⁸ /d ¹³⁸	Σ μ ¹³⁹ /d ¹³⁹	Σ μ ¹⁴⁰ /d ¹⁴⁰	Σ μ ¹⁴¹ /d ¹⁴¹	Σ μ ¹⁴² /d ¹⁴²	Σ μ ¹⁴³ /d ¹⁴³	Σ μ ¹⁴⁴ /d ¹⁴⁴	Σ μ ¹⁴⁵ /d ¹⁴⁵	Σ μ ¹⁴⁶ /d ¹⁴⁶	Σ μ ¹⁴⁷ /d ¹⁴⁷	Σ μ ¹⁴⁸ /d ¹⁴⁸	Σ μ ¹⁴⁹ /d ¹⁴⁹	Σ μ ¹⁵⁰ /d ¹⁵⁰	Σ μ ¹⁵¹ /d ¹⁵¹	Σ μ ¹⁵² /d ¹⁵²	Σ μ ¹⁵³ /d ¹⁵³	Σ μ ¹⁵⁴ /d ¹⁵⁴	Σ μ ¹⁵⁵ /d ¹⁵⁵	Σ μ ¹⁵⁶ /d ¹⁵⁶	Σ μ ¹⁵⁷ /d ¹⁵⁷	Σ μ ¹⁵⁸ /d ¹⁵⁸	Σ μ ¹⁵⁹ /d ¹⁵⁹	Σ μ ¹⁶⁰ /d ¹⁶⁰	Σ μ ¹⁶¹ /d ¹⁶¹	Σ μ ¹⁶² /d ¹⁶²	Σ μ ¹⁶³ /d ¹⁶³	Σ μ ¹⁶⁴ /d ¹⁶⁴	Σ μ ¹⁶⁵ /d ¹⁶⁵	Σ μ ¹⁶⁶ /d ¹⁶⁶	Σ μ ¹⁶⁷ /d ¹⁶⁷	Σ μ ¹⁶⁸ /d ¹⁶⁸	Σ μ ¹⁶⁹ /d ¹⁶⁹	Σ μ ¹⁷⁰ /d ¹⁷⁰	Σ μ ¹⁷¹ /d ¹⁷¹	Σ μ ¹⁷² /d ¹⁷²	Σ μ ¹⁷³ /d ¹⁷³	Σ μ ¹⁷⁴ /d ¹⁷⁴	Σ μ ¹⁷⁵ /d ¹⁷⁵	Σ μ ¹⁷⁶ /d ¹⁷⁶	Σ μ ¹⁷⁷ /d ¹⁷⁷	Σ μ ¹⁷⁸ /d ¹⁷⁸	Σ μ ¹⁷⁹ /d ¹⁷⁹	Σ μ ¹⁸⁰ /d ¹⁸⁰	Σ μ ¹⁸¹ /d ¹⁸¹	Σ μ ¹⁸² /d ¹⁸²	Σ μ ¹⁸³ /d ¹⁸³	Σ μ ¹⁸⁴ /d ¹⁸⁴	Σ μ ¹⁸⁵ /d ¹⁸⁵	Σ μ ¹⁸⁶ /d ¹⁸⁶	Σ μ ¹⁸⁷ /d ¹⁸⁷	Σ μ ¹⁸⁸ /d ¹⁸⁸	Σ μ ¹⁸⁹ /d ¹⁸⁹	Σ μ ¹⁹⁰ /d ¹⁹⁰	Σ μ ¹⁹¹ /d ¹⁹¹	Σ μ ¹⁹² /d ¹⁹²	Σ μ ¹⁹³ /d ¹⁹³	Σ μ ¹⁹⁴ /d ¹⁹⁴	Σ μ ¹⁹⁵ /d ¹⁹⁵	Σ μ ¹⁹⁶ /d ¹⁹⁶	Σ μ ¹⁹⁷ /d ¹⁹⁷	Σ μ ¹⁹⁸ /d ¹⁹⁸	Σ μ ¹⁹⁹ /d ¹⁹⁹	Σ μ ²⁰⁰ /d ²⁰⁰	Σ μ ²⁰¹ /d ²⁰¹	Σ μ ²⁰² /d ²⁰²	Σ μ ²⁰³ /d ²⁰³	Σ μ ²⁰⁴ /d ²⁰⁴	Σ μ ²⁰⁵ /d ²⁰⁵	Σ μ ²⁰⁶ /d ²⁰⁶	Σ μ ²⁰⁷ /d ²⁰⁷	Σ μ ²⁰⁸ /d ²⁰⁸	Σ μ ²⁰⁹ /d ²⁰⁹	Σ μ ²¹⁰ /d ²¹⁰	Σ μ ²¹¹ /d ²¹¹	Σ μ ²¹² /d ²¹²	Σ μ ²¹³ /d ²¹³	Σ μ ²¹⁴ /d ²¹⁴	Σ μ ²¹⁵ /d ²¹⁵	Σ μ ²¹⁶ /d ²¹⁶	Σ μ ²¹⁷ /d ²¹⁷	Σ μ ²¹⁸ /d ²¹⁸	Σ μ ²¹⁹ /d ²¹⁹	Σ μ ²²⁰ /d ²²⁰	Σ μ ²²¹ /d ²²¹	Σ μ ²²² /d ²²²	Σ μ ²²³ /d ²²³	Σ μ ²²⁴ /d ²²⁴	Σ μ ²²⁵ /d ²²⁵	Σ μ ²²⁶ /d ²²⁶	Σ μ ²²⁷ /d ²²⁷	Σ μ ²²⁸ /d ²²⁸	Σ μ ²²⁹ /d ²²⁹	Σ μ ²³⁰ /d ²³⁰	Σ μ ²³¹ /d ²³¹	Σ μ ²³² /d ²³²	Σ μ ²³³ /d ²³³	Σ μ ²³⁴ /d ²³⁴	Σ μ ²³⁵ /d ²³⁵	Σ μ ²³⁶ /d ²³⁶	Σ μ ²³⁷ /d ²³⁷	Σ μ ²³⁸ /d ²³⁸	Σ μ ²³⁹ /d ²³⁹	Σ μ ²⁴⁰ /d ²⁴⁰	Σ μ ²⁴¹ /d ²⁴¹	Σ μ ²⁴² /d ²⁴²	Σ μ ²⁴³ /d ²⁴³	Σ μ ²⁴⁴ /d ²⁴⁴	Σ μ ²⁴⁵ /d ²⁴⁵	Σ μ ²⁴⁶ /d ²⁴⁶	Σ μ ²⁴⁷ /d ²⁴⁷	Σ μ ²⁴⁸ /d ²⁴⁸	Σ μ ²⁴⁹ /d ²⁴⁹	Σ μ ²⁵⁰ /d ²⁵⁰	Σ μ ²⁵¹ /d ²⁵¹	Σ μ ²⁵² /d ²⁵²	Σ μ ²⁵³ /d ²⁵³	Σ μ ²⁵⁴ /d ²⁵⁴	Σ μ ²⁵⁵ /d ²⁵⁵	Σ μ ²⁵⁶ /d ²⁵⁶	Σ μ ²⁵⁷ /d ²⁵⁷	Σ μ ²⁵⁸ /d ²⁵⁸	Σ μ ²⁵⁹ /d ²⁵⁹	Σ μ ²⁶⁰ /d ²⁶⁰	Σ μ ²⁶¹ /d ²⁶¹	Σ μ ²⁶² /d ²⁶²	Σ μ ²⁶³ /d ²⁶³	Σ μ ²⁶⁴ /d ²⁶⁴	Σ μ ²⁶⁵ /d ²⁶⁵	Σ μ ²⁶⁶ /d ²⁶⁶	Σ μ ²⁶⁷ /d ²⁶⁷	Σ μ ²⁶⁸ /d ²⁶⁸	Σ μ ²⁶⁹ /d ²⁶⁹	Σ μ ²⁷⁰ /d ²⁷⁰	Σ μ ²⁷¹ /d ²⁷¹	Σ μ ²⁷² /d ²⁷²	Σ μ ²⁷³ /d ²⁷³	Σ μ ²⁷⁴ /d ²⁷⁴	Σ μ ²⁷⁵ /d ²⁷⁵	Σ μ ²⁷⁶ /d ²⁷⁶	Σ μ ²⁷⁷ /d ²⁷⁷	Σ μ ²⁷⁸ /d ²⁷⁸	Σ μ ²⁷⁹ /d ²⁷⁹	Σ μ ²⁸⁰ /d ²⁸⁰	Σ μ ²⁸¹ /d ²⁸¹	Σ μ ²⁸² /d ²⁸²	Σ μ ²⁸³ /d ²⁸³	Σ μ ²⁸⁴ /d ²⁸⁴	Σ μ ²⁸⁵ /d ²⁸⁵	Σ μ ²⁸⁶ /d ²⁸⁶	Σ μ ²⁸⁷ /d ²⁸⁷	Σ μ ²⁸⁸ /d ²⁸⁸	Σ μ ²⁸⁹ /d ²⁸⁹	Σ μ ²⁹⁰ /d ²⁹⁰	Σ μ ²⁹¹ /d ²⁹¹	Σ μ ²⁹² /d ²⁹²	Σ μ ²⁹³ /d ²⁹³	Σ μ ²⁹⁴ /d ²⁹⁴	Σ μ ²⁹⁵ /d ²⁹⁵	Σ μ ²⁹⁶ /d ²⁹⁶	Σ μ ²⁹⁷ /d ²⁹⁷	Σ μ ²⁹⁸ /d ²⁹⁸	Σ μ ²⁹⁹ /d ²⁹⁹	Σ μ ³⁰⁰ /d ³⁰⁰	Σ μ ³⁰¹ /d ³⁰¹	Σ μ ³⁰² /d ³⁰²	Σ μ ³⁰³ /d ³⁰³	Σ μ ³⁰⁴ /d ³⁰⁴	Σ μ ³⁰⁵ /d ³⁰⁵	Σ μ ³⁰⁶ /d ³⁰⁶	Σ μ ³⁰⁷ /d ³⁰⁷	Σ μ ³⁰⁸ /d ³⁰⁸	Σ μ ³⁰⁹ /d ³⁰⁹	Σ μ ³¹⁰ /d ³¹⁰	Σ μ ³¹¹ /d ³¹¹	Σ μ ³¹² /d ³¹²	Σ μ ³¹³ /d ³¹³	Σ μ ³¹⁴ /d ³¹⁴	Σ μ ³¹⁵ /d ³¹⁵	Σ μ ³¹⁶ /d ³¹⁶	Σ μ ³¹⁷ /d ³¹⁷	Σ μ ³¹⁸ /d ³¹⁸	Σ μ ³¹⁹ /d ³¹⁹	Σ μ ³²⁰ /d ³²⁰	Σ μ ³²¹ /d ³²¹	Σ μ ³²² /d ³²²	Σ μ ³²³ /d ³²³	Σ μ ³²⁴ /d ³²⁴	Σ μ ³²⁵ /d ³²⁵	Σ μ ³²⁶ /d ³²⁶	Σ μ ³²⁷ /d ³²⁷	Σ μ ³²⁸ /d ³²⁸	Σ μ ³²⁹ /d ³²⁹	Σ μ ³³⁰ /d ³³⁰	Σ μ ³³¹ /d ³³¹	Σ μ ³³² /d ³³²	Σ μ ³³³ /d ³³³	Σ μ ³³⁴ /d ³³⁴	Σ μ ³³⁵ /d ³³⁵	Σ μ ³³⁶ /d ³³⁶	Σ μ ³³⁷ /d ³³⁷	Σ μ ³³⁸ /d ³³⁸	Σ μ ³³⁹ /d ³³⁹	Σ μ ³⁴⁰ /d ³⁴⁰	Σ μ ³⁴¹ /d ³⁴¹	Σ μ ³⁴² /d ³⁴²	Σ μ ³⁴³ /d ³⁴³	Σ μ ³⁴⁴ /d ³⁴⁴	Σ μ ³⁴⁵ /d ³⁴⁵	Σ μ ³⁴⁶ /d ³⁴⁶	Σ μ ³⁴⁷ /d ³⁴⁷	Σ μ ³⁴⁸ /d ³⁴⁸	Σ μ ³⁴⁹ /d ³⁴⁹	Σ μ ³⁵⁰ /d ³⁵⁰	Σ μ ³⁵¹ /d ³⁵¹	Σ μ ³⁵² /d ³⁵²	Σ μ ³⁵³ /d ³⁵³	Σ μ ³⁵⁴ /d ³⁵⁴	Σ μ ³⁵⁵ /d ³⁵⁵	Σ μ ³⁵⁶ /d ³⁵⁶	Σ μ ³⁵⁷ /d ³⁵⁷	Σ μ ³⁵⁸ /d ³⁵⁸	Σ μ ³⁵⁹ /d ³⁵⁹	Σ μ ³⁶⁰ /d ³⁶⁰	Σ μ ³⁶¹ /d ³⁶¹	Σ μ ³⁶² /d ³⁶²	Σ μ ³⁶³ /d ³⁶³	Σ μ ³⁶⁴ /d ³⁶⁴	Σ μ ³⁶⁵ /d ³⁶⁵	Σ μ ³⁶⁶ /d ³⁶⁶	Σ μ ³⁶⁷ /d ³⁶⁷	Σ μ ³⁶⁸ /d ³⁶⁸	Σ μ ³⁶⁹ /d ³⁶⁹	Σ μ ³⁷⁰ /d ³⁷⁰	Σ μ ³⁷¹ /d ³⁷¹	Σ μ ³⁷² /d ³⁷²	Σ μ ³⁷³ /d ³⁷³	Σ μ ³⁷⁴ /d ³⁷⁴	Σ μ ³⁷⁵ /d ³⁷⁵	Σ μ ³⁷⁶ /d ³⁷⁶	Σ μ ³⁷⁷ /d ³⁷⁷	Σ μ ³⁷⁸ /d ³⁷⁸	Σ μ ³⁷⁹ /d ³⁷⁹	Σ μ ³⁸⁰ /d ³⁸⁰	Σ μ ³⁸¹ /d ³⁸¹	Σ μ ³⁸² /d ³⁸²	Σ μ ³⁸³ /d ³⁸³	Σ μ ³⁸⁴ /d ³⁸⁴	Σ μ ³⁸⁵ /d ³⁸⁵	Σ μ ³⁸⁶ /d ³⁸⁶	Σ μ ³⁸⁷ /d ³⁸⁷	Σ μ ³⁸⁸ /d ³⁸⁸	Σ μ ³⁸⁹ /d ³⁸⁹	Σ μ ³⁹⁰ /d ³⁹⁰	Σ μ ³⁹¹ /d ³⁹¹	Σ μ ³⁹² /d ³⁹²	Σ μ ³⁹³ /d ³⁹³	Σ μ ³⁹⁴ /d ³⁹⁴	Σ μ ³⁹⁵ /d ³⁹⁵	Σ μ ³⁹⁶ /d ³⁹⁶	Σ μ ³⁹⁷ /d ³⁹⁷	Σ μ ³⁹⁸ /d ³⁹⁸	Σ μ ³⁹⁹ /d ³⁹⁹	Σ μ ⁴⁰⁰ /d ⁴⁰⁰	Σ μ ⁴⁰¹ /d ⁴⁰¹	Σ μ ⁴⁰² /d ⁴⁰²	Σ μ ⁴⁰³ /d ⁴⁰³	Σ μ ⁴⁰⁴ /d ⁴⁰⁴	Σ μ ⁴⁰⁵ /d ⁴⁰⁵	Σ μ ⁴⁰⁶ /d ⁴⁰⁶	Σ μ ⁴⁰⁷ /d ⁴⁰⁷	Σ μ ⁴⁰⁸ /d ⁴⁰⁸	Σ μ ⁴⁰⁹ /d ⁴⁰⁹	Σ μ ⁴¹⁰ /d ⁴¹⁰	Σ μ ⁴¹¹ /d ⁴¹¹	Σ μ ⁴¹² /d ⁴¹²	Σ μ ⁴¹³ /d ⁴¹³	Σ μ ⁴¹⁴ /d ⁴¹⁴	Σ μ ⁴¹⁵ /d ⁴¹⁵	Σ μ ⁴¹⁶ /d ⁴¹⁶	Σ μ ⁴¹⁷ /d ⁴¹⁷	Σ μ ⁴¹⁸ /d ⁴¹⁸	Σ μ ⁴¹⁹ /d ⁴¹⁹	Σ μ ⁴²⁰ /d ⁴²⁰	Σ μ ⁴²¹ /d ⁴²¹	Σ μ ⁴²² /d ⁴²²	Σ μ ⁴²³ /d ⁴²³	Σ μ ⁴²⁴ /d ⁴²⁴
---------	----------------------	--	------------------------	--	-----	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------	--------------------	-------------------	-------------------	-------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

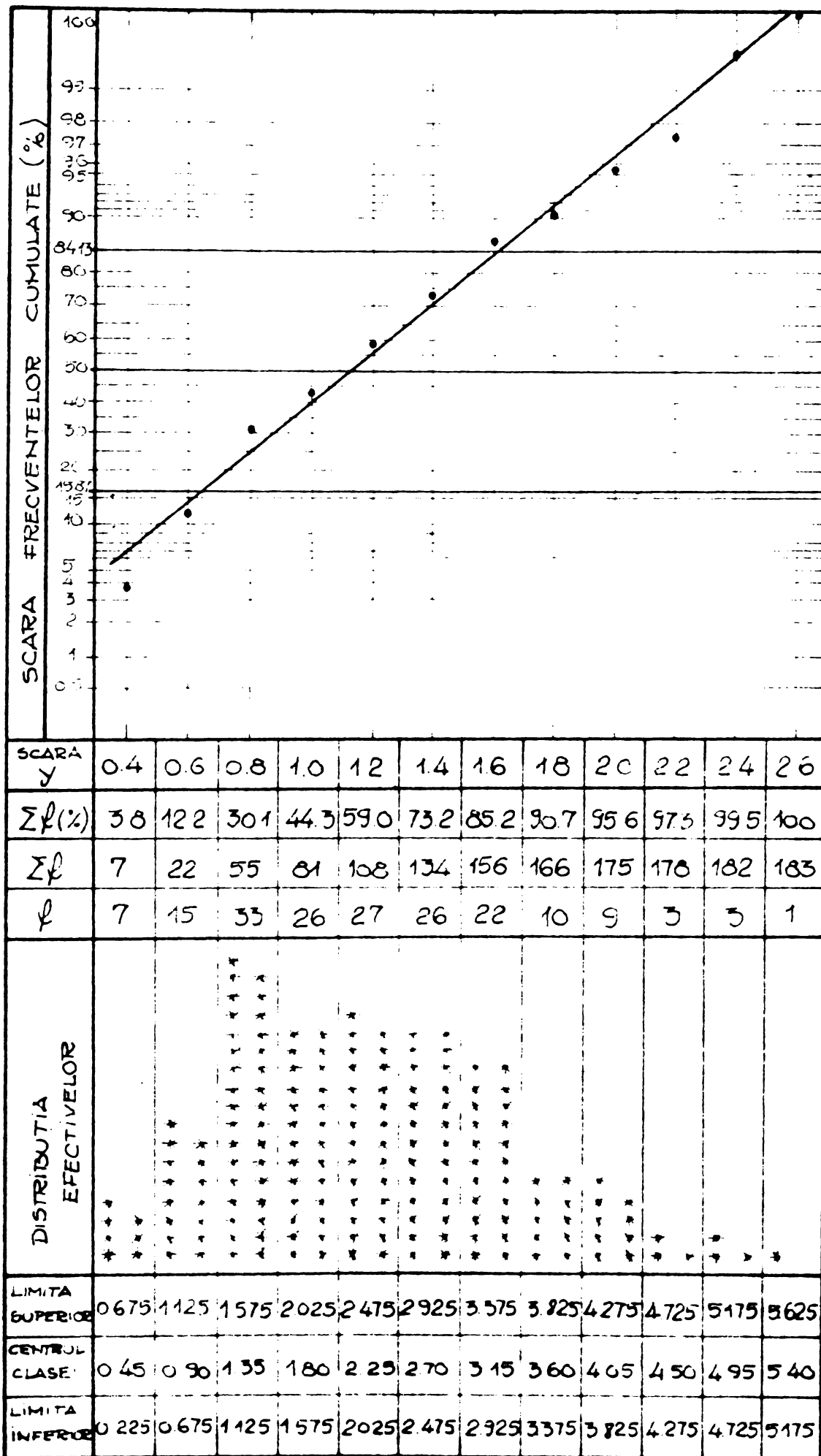


Fig. 5.58. VERIFICAREA NORMALITĂȚII DISTRIBUȚIEI B.

Tabelul 5.19

Verificarea normalității distribuției $\Sigma p/d$					
Element	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$\frac{ x_i - \bar{x} }{s}$	Calculule
GP 1-1	2,260	-0,053	0,0028	0,229	$\bar{x} = \frac{20,819}{9} = 2,313$
GP 1-2	2,260	-0,053	0,0028	0,229	
GP 2-1	2,146	-0,167	0,0279	0,723	$s = \frac{0,4272}{8} = 0,231$
GP 2-2	2,146	-0,167	0,0279	0,723	
GP 3-1	2,227	-0,086	0,0074	0,372	$\alpha = 5 \%$
GP 3-2	2,227	-0,086	0,0074	0,372	
GP 4	2,151	-0,162	0,0262	0,701	$t_{1-\alpha, n-1} = 2,305$
GP 5	2,592	0,279	0,0778	1,207	
GP 6	2,810	0,497	0,0247	2,150	
Σ	20,819	0,002	0,4272		

lul deschiderii fisurilor sînt cele prezentate în 4.4.

În tabelul 5.20 se prezintă rezultatele calculului privind distanța dintre fisuri, constatîndu-se că există o bună corespondență între valorile calculate și cele experimentale. Media raportului $\frac{e}{f} / \frac{t}{f}$ se apropie sensibil de valoarea obținută de Pinglot-Pons și care este 0,973 /73/.

Tabelul 5.20
Rezultatele comparative privind
distanța dintre fisuri

Element	λ_f^e (cm)	β_f	λ_f^t (cm)	$\frac{\lambda_f^e}{\lambda_f^t}$
GP 1-1	14,5	1,071	13,7	1,058
GP 1-2	15,5	1,071	13,78	1,12
GP 2-1	13,9	1,045	13,98	0,994
GP 2-2	12,8	1,045	13,75	0,931
GP 3-1	13,4	1,065	17,07	0,785
GP 3-2	13,8	1,065	14,94	0,924
GP 4	10,05	1,235	9,07	1,108
GP 5	10,65	1,253	10,27	1,037
GP 6	9,7	1,267	11,25	0,800
			Media	0,973

În tabelul 5.21 se prezintă sinteza rezultatelor comparative din tabelul 5.34. (plie). Se constată că media raportelor $\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$ este cea mai apropiată de unitate în cazul rezultatelor obținute prin luarea în considerare a coeficientului de conlucrare ψ ca o funcție de k , relația (5.7), precum și în ca-

zul că acest coeficient este o funcție de $\frac{\sigma_{po}}{R_p^n}$, relația (4.6'). Simplitatea relației (5.7) o face mult mai avantajoasă în comparație cu relația (4.6'). Pe lângă aceasta mai trebuie de avut în vedere faptul că pretensionarea incompletă a armăturii nu este economică.

Media raportelor $\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$ se apropie de unitate și în cazul utilizării relației prevăzută de STAS 10107/0-76 și STAS 10107/0-83. Trebuie însă de precizat că în acest caz există o mare variabilitate a rezultatelor individuale. Astfel pentru elementele din etapa I valoarea medie este supraunitară în timp ce pentru elementele din etapa II valoarea medie este subunitară. O asemenea în-

Tabelul 5.21

Sinteza calculului comparative privind deschiderea fisurilor elementelor din etapa I și II

Relații de calcul pentru deschiderea fisurilor	Media raportului α_f^g / α_f^t	Coefficientul de variație $Cv(\alpha_f)$ al raportului α_f^g / α_f^t
STAS 10107/0-76	0,960	45,3
STAS 10107/0-83	0,972	48,8
Calculul lui α_f^t luând în considerare $\psi = 1,4-1,25 k$	1,019	41,3
Calculul lui α_f^g luând în considerare $\psi = 1,0-0,9 \frac{\sigma_{pe}}{R_p} \frac{A_f}{A_c}$	1,054	41,5
Lloyd-Rejali-Kesler	0,58	55,57
Navy-Huang	0,345	40,3
CEB-FIP	0,696	41,21

prăgțiere a valorilor nu se constată în cazul utilizării relației (5.7). Aceeași concluzie se desprinde și din compararea valorilor coeficienților de variație.

La cele mai cooperitoare valori se ajunge prin utilizarea relației lui Lloyd-Rejali-Kesler și CEB-FIP.

În vederea verificării rezultatelor obținute prin utilizarea relației (5.7) cu alte rezultate experimentale s-a calculat deschiderea fisurilor pentru elementele încercate de Ringlot-Pons (Fig. 2.9). Trebuie de semnalat că pentru unul din elemente, B₁, în lucrarea /78/, din care s-au preluat valorile necesare, s-au semnalat anumite neconcordanțe. Acest lucru se reflectă și în tabelul 5.22 în care se prezintă rezultatele calculului comparative.

Tabelul 5.22

Verificarea relației $\psi = f(k)$ pe rezultate experimentale ale lui Ringlot-Pons

Element	λ_f^g (cm)	$\Delta \sigma_p^g$ (daN/cm ²)	α_f^g (mm)	k	ψ	α_f^t (mm)	$\frac{\alpha_f^g}{\alpha_f^t}$
B ₁	14,6	420	0,065	0,3	1,0	0,023	2,600
C ₁	21,4	550	0,029	0,55	0,7	0,039	0,745
D ₁	19,0	615	0,020	0,75	0,46	0,026	0,770

Se constată că pentru elementele C₁ și D₁ valorilor raportului α_f^g / α_f^t se încadrează în mulțimea valorilor obținute în cazul verificării relației (5.7) pe încercările efectuate în Laboratorul de Beton armat.

Se apreciază că rezultatele calculului indică o bună determinare a relațiilor pentru coeficienții β_f și ψ .

6. CONCLUZII SI VALORIFICAREA REZULTATELOR CERCETARII

Elementele din beton precomprimat parțial, cu și fără suprabetonare, capătă o extindere tot mai largă datorită avantajelor tehnico-economice pe care le prezintă. Dintre cele mai principale se rețin următoarele:

- reducerea consumului de armătură pretensionată cu cca 30%, prin înlocuirea ei cu o cantitate corespunzătoare de armătură complementară;

- reducerea consumului total de armătură cu cca 5%;

- reducerea efortului de precomprimare, și în consecință a operației de pretensionare; în cazul elementelor cu armătură preintinsă, executate în tipare metalice autoportante, vor rezulta economii de metal datorită reducerii forței ce solicită tiparul;

- reducerea consumului de ciment; în urma scăderii efortului de precomprimare se poate reduce marca betonului de la B 600 la B 500, rezultând o diminuare a consumului de ciment cu cca 10%; pe de altă parte datorită reducerii efortului de precomprimare se poate reduce și bulbul de la partea inferioară a elementului;

- reducerea consumului de energie înglobată în element;

- datorită reducerii efortului de precomprimare curgerea lentă se dezvoltă la valori mai mici fiind posibil a se reduce contracția necesară anihilării creșterii deformațiilor sub efectul curgerii lente;

- creșterea ductilității elementelor datorită dispunerii în zona întinsă a armăturii complementare.

Importanța acordată precomprimării parțiale este cel mai sugestiv ilustrată prin organizarea la București, în 1980, a simpozionului FIP avînd ca temă tocmai acest subiect.

Elementele din beton precomprimat pot fi folosite ca atare sau cu suprabetonare de rezistență (elemente compuse beton precomprimat - beton armat).

Utilizarea elementelor compuse aduce câteva avantaje:

- reducerea consumului de ciment prin diminuarea dimensiunilor elementelor și prin utilizarea în zona monolită a unui beton de calitate mai redusă, cu un consum de ciment mai mic;

- posibilitatea creerii continuității pe reazeme, continuitate ce conduce la reducerea momentelor încovoietoare în câmp și a săgeților sub efectul încălzirilor aplicate după realizarea continui-

tății;

- posibilitatea folosirii unor utilaje mai ușoare în urma reducerii greutateii elementelor;

- crearea unei șaibe monolite la nivelul planșeelor și implicit îmbunătățirea comportării structurii la sarcini orizontale.

Avantajele utilizării secțiunilor compuse beton precomprimat - beton armat au condus la o extindere a acestei soluții și la noi în țară, fapt ce se poate constata prin numărul tot mai ridicat de elemente precomprimate tipizate prevăzute cu suprabetonare. Avantajele devin cu atât mai evidente dacă se are în vedere faptul că utilizarea tot mai largă a acestei soluții se face în condițiile absenței unui mecanism de calcul bine pus la punct. Absența acestui mecanism se reflectă prin numărul redus de materiale bibliografice și prin existența a numeroase ipoteze simplificatoare.

Pentru buna funcționare a elementelor din beton precomprimat parțial, cu și fără suprabetonare, trebuie respectate anumite valori limită pentru deschiderea fisurilor sub efectul încărcărilor de lungă durată cît și sub efectul încărcărilor totale, atunci cînd precomprimarea se realizează cu armături sensibile la coroziune.

Evaluarea corectă a mărimii deschiderii fisurilor depinde de anumiți factori:

- evaluarea corectă a pierderilor de tensiune;

- determinarea variației efortului unitar în secțiunea fisurată, determinare care este influențată, în cazul elementelor cu suprabetonare, de diferența de contracție și curgere lentă ce există între cele două tipuri de beton;

- luarea în considerare a aportului betonului întins dintre fisuri;

- influența armăturii complementare și a modului ei de dispunere asupra distanței dintre fisuri, distanță ce determină mărimea deschiderii fisurilor.

De asemenea constituie o problemă evoluția deschiderii fisurilor sub efectul unor încărcări-descărcări repetate, în regim de solicitare statică.

Efortul real de precomprimare

Printre pierderile de tensiune ce influențează evaluarea corectă a efortului de precomprimare se află și pierderea de tensiune

datorită scurtării elastice a betonului sub efectul acestui efort. Codul Model CEB - FIP /112/ recomandă ca această pierdere de tensiune să fie luată în considerare atât în cazul elementelor cu armătura preîntinsă cât și a celor cu armătură postîntinsă.

În cazul elementelor cu armătură postîntinsă valoarea reală a efortului unitar σ_{pp} , în fază inițială, în armătură se obține scăzând din efortul unitar de control σ_{pk} pierderile de tensiune ce se produc la transfer, conform relației (2.6). Pentru aflarea efortului unitar, în faza finală, $\bar{\sigma}_{pp}$ se scad pierderile de tensiune reologice din valoarea σ_{pp} .

În cazul elementelor cu armătură preîntinsă determinarea pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului este mai dificilă deoarece pe măsura deformării betonului efortul de precomprimare scade din cauza detensionării armăturii (Fig.2.2). Se produce o autoreducere a deformației elastice și în consecință și a pierderii de tensiune din scurtarea elastică.

Pentru evaluarea pierderii de tensiune din scurtarea elastică Herberg /50/, Kurt-Martinek /53/, Leonhardt /56/ propun o relație ce conduce la o supraevaluare a acestei pierderi de tensiune cu 10,4 %, în timp ce relația propusă de Ghibșman /46/ conduce la o supraevaluare cu 18,5%. Cea mai mică supraevaluare o dă relația propusă de Branson /86/ și anume 5,1%.

Pentru evaluarea corectă a pierderii de tensiune din scurtarea elastică a betonului se scrie egalitatea dintre deformația specifică a betonului, sub efectul efortului real de precomprimare, și variația deformației specifice a armăturii în urma detensionării armăturii.

Efortul unitar real din armătura A_p și A'_p se calculează cu relațiile (2.28' - 2.28"), iar cînd în element este prevăzută numai armătură A_p cu relația (2.28'''):

$$\sigma_{pp} = \frac{\sigma_{D2}}{\omega_1}$$

Efortul real din armătura preîntinsă este mai mic, în medie, cu 6,5 ... 9,5 % decît efortul unitar de calcul care se ia în considerare la determinarea efortului de precomprimare.

Coeficientul ω_1 este supraunitar și el arată în ce măsură efortul unitar real din armătura preîntinsă și efortul real de precomprimare, este mai mic decît efortul unitar de calcul, respectiv decît efortul convențional de precomprimare N_0 .

Din studiul statistic întreprins pe 193 de elemente precomprimare tipizate a rezultat o valoare medie a coeficientului $\omega_1=1,077$, limitele extreme fiind 1,021 și 1,287. Acceptînd că efectul scurtării elastice poate fi neglijat cînd ω_1 este sub 1,03, a rezultat că numai la 1,56 % din cele 193 de elemente studiate se poate neglija acest efect.

Pentru ușurarea calculelor au fost întocmite abace pentru determinarea coeficienților necesari, coeficienți ce au fost deduși în lucrare.

Neglijarea efortului real de precomprimare are efecte defavorabile asupra verificărilor în stadiul de exploatare (punctul 2.4.1). Din prelucrarea datelor experimentale privind momentul încovoietor de fisurare au rezultat valorile medii ale raportului M_f^t/M_f^e din tabelul 6.1. Aproximarea raportului M_f^t/M_f^e de unitate este mai mare în cazul

Tabelul 6.1.

Efectul neglizării efortului real de precomprimare
asupra raportului M_f^t/M_f^e

Relația de calcul	Normativ P 3-62	INCERC- Bucu- resti I.P. Iasi	Normele sovie- tice Normele CAER
Luarea în considerare a efortului convențional de precomprimare N_0	0,765	0,803	0,849
Luarea în considerare a efortului real de precomprimare N_p	0,781	0,834	0,873

evaluării momentului încovoietor de fisurare cu ajutorul efortului real de precomprimare. În aprecierea valorilor din tabelul 6.1 trebuie de avut în vedere faptul că pentru elementele experimentale coeficientul ω_1 a avut valori relativ reduse, cuprinse între 1,02 și 1,078.

Efectul scurtării elastice a betonului poate fi neglijat atunci cînd procentul de armare al armăturii pretensionate $p_p = 100 A_p/A_{bi}$ este situat sub valorile din tabelul 6.2.

Tabelul 6.2.

Valori limită ale procentelor de armare cînd se poate neglija efectul pierderii de tensiune din scurtarea elastică

Marca betonului	$y_p/i \leq 0,45$	$y_p/i \leq 0,75$	$y_p/i < 1,00$	$y_p/i < 1,75$	$y_p A < 225$
B 500	0,430	0,345	0,259	0,172	0,086
B 600	0,463	0,370	0,278	0,185	0,093

Faptul că nu s-a ajuns la situații neplăcute, în exploatare, deși efortul real de precomprimare este mai mic decât cel pe care se contează se poate explica și prin aceea că frecvența de apariție, a valorilor maxime ale încărcărilor este redusă.

Determinarea stării de eforturi unitare în secțiunile normale ale elementelor cu secțiune compusă

Secțiunea transversală reală se transformă într-o secțiune de calcul prin înmulțirea lățimii zonei de beton armat cu coeficientul de echivalență n_p al acestui beton. În funcție de etapa de calcul, eforturile unitare produse de încărcările exterioare se determină cu caracteristicile geometrice ale secțiunii prefabricate sau cu cele ale secțiunii compuse de calcul. Eforturile unitare totale se determină prin însumarea eforturilor unitare determinate în diferitele etape.

Eforturile unitare totale se vor modifica în timp datorită diferențelor ce există între deformațiile din contracție și curgere lentă ale celor două tipuri de beton. Aceste diferențe sînt produse de două cauze:

- calitatea diferită a celor două betoane;
- diferența de timp de la efectuarea transferului armăturii preîntinse și pînă la realizarea efectivă a secțiunii compuse, realizare care se produce conform lui Branson /86/ și Beukel /19/, atunci cînd betonul armat atinge cea 70% din marcă.

Diferența dintre contracția și curgerea lentă a celor două tipuri de beton va introduce o stare suplimentară de eforturi unitare. Determinarea acestei stări suplimentare de eforturi unitare se poate face prin metoda fibrelor conjugate sau prin interacțiunea deformațiilor specifice.

Mecanismul de calcul al metodei fibrelor conjugate, metodă concepută de Busemann, este relativ simplu însă el trebuie reluat pentru fiecare etapă de aplicare a încărcărilor.

Interacțiunea deformațiilor specifice, concepută în lucrare pe baza teoriei eforturilor unitare inițiale, este ceva mai laborioasă însă are avantajul că nu este necesară aplicarea repetată a ei.

În privința luării în considerare a efectului contracției se admite că diferența dintre contracția betonului armat și cea a betonului precomprimat produce o compresiune excentrică asupra secțiunii compuse și o întindere centrică în betonul armat /5/, /28/, /86/, /117/. Această procedură nu ține cont de faptul că între fibrele ve-

cine trebuie să existe o egalitate a deformațiilor specifice.

În privința prinderii în calcule a efectului curgerii lente opiniile diferiților autori diferă în mod sensibil: Cestelli-Guidi /28/ consideră că cele două betoane au proprietăți reologice identice, Guyon /48/ ia în considerare numai efectul curgerii lente a betonului precomprimat și pune condiția de egalitate a deformațiilor specifice la nivelul de contact dintre cele două betoane, Ghibșman /46/ utilizează procedeul fibrelor conjugate și aplică coeficienți de corecție datorită prezenței armăturii, Branson /86/ tratează diferența de curgere lentă în același mod ca și contracția.

Pentru calculul eforturilor unitare în secțiunile normale nefisurate se poate folosi metoda asimilării cu secțiunile compuse oțel-beton /5/ sau prin utilizarea metodei interacțiunii deformațiilor specifice.

Calculul prin metoda asimilării cu secțiunile compuse oțel-beton presupune că deformațiile specifice din contracție și curgere lentă au aceeași viteză de dezvoltare. După consumarea deformațiilor specifice din contracție și curgere lentă ale betonului precomprimat urmînd să se consume restul de deformații specifice ale betonului armat. Elementul compus beton precomprimat - beton armat găsindu-se din acest moment în aceeași situație ca și elementul compus oțel-beton.

Restul de deformație de curgere lentă a betonului armat va produce o reducere a modulului de elasticitate al betonului armat:

$$E_{ba} = \frac{E_b}{1 + \Delta\varphi}$$

În această situație centrul de greutate al secțiunii va coborî, calculîndu-se caracteristicile geometrice ale secțiunii pentru încărcările de lungă durată.

Eforturile unitare produse de încărcările de scurtă durată se vor determina cu caracteristicile geometrice ale secțiunii compuse de calcul, iar cele produse de încărcările de lungă durată, inclusiv forța excentrică produsă de restul de contracție a betonului armat, se determină cu caracteristicile geometrice pentru încărcările de lungă durată. Eforturile unitare totale se obțin prin însumarea eforturilor obținute mai sus.

Pentru determinarea eforturilor unitare prin metoda interacțiunii deformațiilor specifice la eforturile unitare, determinate din diferitele trepte de încărcare, pe secțiunea compusă de calcul, se

adună eforturile unitare rezultate din interacțiunea deformațiilor specifice din contracție și curgere lentă.

Din compararea rezultatelor conferite de cele două metode au rezultat următoarele:

- în cazul precomprimării puternice starea de eforturi unitare în betonul precomprimat, sub încărcările totale, este aceeași indiferent de metoda utilizată existînd diferențe în privința eforturilor unitare în betonul armat;

- diferențele semnalate mai sus se datoresc efectului puternic al interacțiunii deformațiilor specifice de curgere lentă, interacțiune ce creează întinderi cu caracter permanent în betonul armat;

- în cazul precomprimării reduse metoda asimilării conduce la eforturi unitare mai mari în betonul precomprimat;

- între eforturile unitare în armături nu există diferențe sensibile.

Avînd în vedere cele de mai sus, precum și caracterul exact al metodei interacțiunii deformațiilor specifice, precum și volumul de muncă cerut:

- se poate accepta utilizarea metodei asimilării cu secțiunile compuse oțel-beton pentru elementele cu precomprimare puternică ($k = 0,9 \dots 1,0$);

- în cazul elementelor principale și al elementelor secundare (cu precomprimare redusă) se recomandă utilizarea metodei interacțiunii deformațiilor specifice.

Pentru calculul mărimii deschiderii fisurilor este necesară valoarea variației $\Delta \sigma_p$ a efortului unitar în armătura pretensionată. Determinarea valorii $\Delta \sigma_p$ în cazul elementelor compuse nu este posibilă cu relațiile prevăzute pentru elementele precomprimare din următoarele cauze:

- existența unei diferențe de timp în privința aplicării încărcărilor asupra betonului precomprimat și asupra betonului armat;

- existența unei diferențe între deformațiile specifice de contracție și curgere lentă ale celor două tipuri de beton.

Pentru determinarea valorii $\Delta \sigma_p$ se pleacă de la starea de decomprimare peste care se suprapune starea de eforturi unitare produsă de diferența de moment încovoietor dintre momentul încovoietor de exploatare și momentul încovoietor de decomprimare. În ecuațiile de echilibru static intervine și o parte din betonul comprimat care este capabil de a prelua întinderi. În lucrare sînt deduse relațiile de calcul pentru cazul comportării elastice, în zona comprimată, a

betonului precomprimat și a betonului armat. De asemenea sînt deduse relațiile de calcul în cazul comportării elasto-plastice a betonului precomprimat și/sau betonului armat.

Deoarece rezolvarea sistemului de ecuații ce se formează este laborioasă în lucrare au fost elaborate, pentru cazul comportării elastice, două procedee aproximative pentru calculul lui $\Delta \sigma_p$. Procedeele rapoartelor admite că între eforturile unitare din betonul comprimat, în secțiunea fisurată, există aceleași rapoarte că și în starea de decomprimare sau în starea de exploatare în ipoteza că betonul este capabil de a prelua întinderi. Procedeele corecției ulterioare admite în primă aproximație că variația efortului unitar din armătura pretensionată se obține ca pentru o secțiune supusă la încovoiere sub acțiunea diferenței dintre momentul încovoiător de exploatare și cel de decomprimare. Această valoare se corectează prin luarea în considerare a betonului comprimat din starea de decomprimare, beton capabil de a prelua întinderi, astfel că valoarea inițială a lui $\Delta \sigma_p$ se reduce.

Din compararea celor două procedee aproximative cu procedeul exact au rezultat următoarele erori în privința valorii $\Delta \sigma_p$:

- procedeul rapoartelor: -9,0....-11,0%
- procedeul corecției ulterioare: 0,5....1,5%

Avînd în vedere aceste valori și faptul că principalul element al stării de eforturi unitare, în secțiunile fisurate, îl constituie valoarea $\Delta \sigma_p$ se recomandă pentru un calcul rapid cu ajutorul riglei de calcul procedeul corecției ulterioare.

Avînd în vedere faptul că momentul de realizare a porțiunii de beton armat are un rol important asupra stării de eforturi unitare, s-a efectuat o analiză teoretică a acestei influențe. Din această analiză, efectuată pentru situația că betonul armat se toarnă la 1, 2, 3 săptămîni, 1, 2, 3, 4, 5, 6 luni, 1, 2 și 3 ani, s-au desprins cîteva concluzii dintre care se rețin următoarele:

- eforturile unitare din interacțiunea deformațiilor de curgere lentă au un efect favorabil de reducere a eforturilor unitare din interacțiunea deformațiilor de contracție;
- efectul favorabil al interacțiunii deformațiilor de curgere lentă este maxim atunci cînd zona de beton armat se realizează într-un interval de una pînă la trei luni de la transferul armăturii preîntinse.

Influenta prezentei si distributiei armăturii nepretensionate de rezistență asupra comportării la fisurare a elementelor precomprimate cu armături preîntinse.

Unul din principalele avantaje ale betonului precomprimat parțial îl constituie înlocuirea unei părți din armătura pretensionată cu armătură nepretensionată de rezistență. În cazul precomprimării limitate această armătură nu are un rol deosebit adoptându-se de aceea denumirea de armătură pasivă. În cazul precomprimării moderate armătura nepretensionată are un rol important atât în stadiul de exploatare cât și în stadiul de rupere. Având în vedere această diferență esențială s-a adoptat pentru armătura nepretensionată de rezistență noțiunea de armătură complementară pentru cazul precomprimării moderate /79/.

Pentru studiul elementelor cu precomprimare parțială este de asemenea importantă stabilirea unei definiții a gradului de precomprimare. Având în vedere faptul că durabilitatea elementului este asigurată de o corectă funcționare sub încărcările de exploatare s-a ajuns la concluzia că cea mai adecvată definiție pentru gradul de precomprimare este cea dată de raportul dintre momentul încovoietor de decomprimare și momentul încovoietor de exploatare relația (4.4), respectiv (4.4').

Deschiderea fisurilor este direct proporțională cu distanța dintre fisuri. Din cercetările întreprinse la INCERC - București a rezultat că dispunerea intercalată a armăturilor complementare cu cele pretensionate conduce la reducerea distanței dintre fisuri /38/, /79/, /81/.

Normele românești pentru calculul elementelor precomprimate folosite în construcții civile și industriale admit că distanța dintre fisuri este egală cu distanța dintre etrieri, fapt ce nu corespunde realității.

Pentru elementele precomprimate realizate numai cu toroane TBP în cadrul Catedrei de Beton armat și clădiri a I.P. "Traian Vuia" din Timișoara s-a dedus expresia coeficientului β_f ce intră în calculul distanței dintre fisuri /8/, /75/:

$$\beta_f = 0,40 + 30 \sqrt{\frac{\mu}{\sigma}} \quad (4.6')$$

Pentru calculul deschiderii fisurilor normale românești /108/ admit pentru coeficientul de conlucrare ψ al betonului întins dintre fisuri valoarea $\psi = 1$, iar normele /109/ admit valoarea $\psi = 0,8$. Ambele valori nu corespund realității, acest coeficient depinzând de

treapta de solicitare a betonului, această treaptă exprimându-se prin gradul de precomprimare k . Cu cât gradul de precomprimare este mai mic cu atât treapta de solicitare a betonului este mai mare, deci coeficientul ψ va fi mai mare.

Rezultatele cercetărilor experimentale privind apariția fisurilor și comportarea în exploatare.

În privința momentului încovoietor de fisurare s-au constatat următoarele:

- procentul de armare are o influență nesemnificativă asupra treptei de fisurare M_f^e / M_R^e ;
- gradul de precomprimare are o influență semnificativă asupra treptei de fisurare M_f^e / M_R^e .

Din prelucrarea datelor privind distanța dintre fisuri s-au constatat următoarele:

- gradul de precomprimare k are o influență redusă asupra distanței dintre fisuri; reducerea gradului de precomprimare conducând la reducerea distanței dintre fisuri;
- distanța dintre fisuri este puternic influențată de $\Sigma \frac{u}{d}$, creșterea acestei valori conducând la reducerea distanței dintre fisuri.
- dispunerea intercalată a armăturilor complementare conduce la sporirea $\Sigma \frac{u}{d}$ și astfel se explică scăderea distanței dintre fisuri.

Pentru calculul distanței dintre fisuri în lucrare se propune relația:

$$\lambda_f = \beta_f \frac{A_{bf}}{u} \quad (4.15)$$

În relația (4.15) s-a introdus aria de înglobare în beton A_{bf} pentru a se face alinierea la noile norme românești /109/ unde această arie intervine în calculul distanței dintre fisuri la elementele din beton armat.

Expresia coeficientului β_f a fost dedusă pe baza prelucrării statistice a datelor experimentale și are expresia:

$$\beta_f = \begin{cases} 1,42 + 2,0 \Sigma u/d & \text{pentru } A_p/A_n \geq 1 \\ 1,37 + 1,82 \Sigma u/d & \text{pentru } 0,5 \leq A_p/A_n < 1,0 \\ 1,28 + 1,5 \Sigma u/d & \text{pentru } 0,3 \leq A_p/A_n < 0,5 \end{cases} \quad (5.6)$$

Din prelucrarea datelor privind deschiderea fisurilor s-a constatat următoarele:

- deschiderea fisurilor scade cu creșterea gradului de precomprimare;
- între coeficientul de conlucrare ψ și gradul de precomprimare există o legătură liniară.

Pe baza prelucrării statistice a datelor experimentale se propune următoarea expresie a coeficientului de conlucrare :

$$\psi = 1,4 - 1,24 k \quad (5.7)$$

Pentru asigurarea unei durabilități corespunzătoare este necesar ca sub efectul încărcărilor de lungă durată deschiderea medie a fisurilor să nu depășească valoarea de 0,03 mm, iar sub efectul încărcărilor totale deschiderea fisurilor să nu depășească 0,1 mm /116/. Aceste valori limită trebuie respectate și după un număr repetat de încărcări-descărcări între cele două limite de încărcare. În urma încărcării-descărcării repetate a elementelor experimentale s-a constatat că nu au intervenit modificări substanțiale în deschiderea fisurilor, modificări care ar putea să afecteze siguranța elementelor.

Pe baza cercetărilor efectuate pe elemente din beton precomprimat parțial, cu și fără suprabetonare, s-a elaborat redactarea I-a și a II-a a Recomandărilor privind proiectarea elementelor din beton precomprimat parțial, cu suprabetonare, folosind armături pretensionate și nepretensionate complementare.

B I B L I O G R A F I E

1. Abeles P.W. - Design of partially-prestressed concrete, JACI, No 10, 1967
2. Abeles P.W., Czuprynski L. - Partial prestressing. Its history, research, application and future developments, Annales de Travaux Publics de Belgique, nr 12, Bruxelles, 1966
3. Abeles P.W., Brown I.E., Ha H.C. - Tests of composite concrete beams with prestressed planks, RILEM, Materials and structures, nr 25, Paris, 1972
4. Avram C. - Betonul armat - proiectarea și dimensionarea secțiunilor, Editura Tehnică, București, 1952
5. Avram C., Bota V. - Structuri compuse oțel-beton și beton precomprimat - beton armat, Editura Tehnică, 1975
6. Avram C., Făcioaru I., Filimon I., Miryu O., Terteș I., - Rezistențele și deformațiile betonului, Editura Tehnică, București, 1971
7. Avram C., Filimon I. - Curs de Beton armat, I.P."T.Vuia", Timișoara, 1976
8. Avram C., Filimon I., Deutsch I., Păiuș S. - Aspects concernant la vérification par le calcul aux états-limites de fissuration des éléments linéaires en béton partiellement précontraint, FIP Symposia on partial prestressing, București, 1980
9. Avram C., Filimon I. - Aspecte practice privind calculul elementelor încovoiate de beton precomprimat la starea limită de apariție a fisurilor, Revista Construcțiilor și materialelor de construcții, nr 12, București, 1965
10. Avram C., Filimon I. - Curs de Beton armat, Editura de Stat Didactică și Pedagogică, București, 1962
11. Avram C., Pescaru I. - Elemente de plaseu din beton și beton precomprimat, Buletinul Științific și Tehnic al I.P."T.Vuia", Tom 2 (16), fasc.2, Timișoara, 1957
12. Bachman H. - From full to partial prestressing, Institut für Baustatik und Konstruktion ETH, Zürich, 1982
13. Bachman H. - 10 Theses on partial prestressing, FIP Symposia on partial prestressing, București, 1980
14. Bachman H. - Precomprimarea parțială a structurilor din beton (traducere), Buletinul Informativ IPT, 3, București, 1981
15. Brumekreef S.H. - The behaviour of partially prestressed concrete beams loaded in pure bending, Heron, Volume 23, No 1, Delft, 1978

16. Beeby A.W. - A brief note concerning certain aspects of flexural cracking, May 1971
17. Beeby A.W., Taylor H.P.J. - Cracking in partially prestressed members, VIth International Congress of the FIP, Prague, 1970
18. Bennett E.W. - Behaviour of partially prestressed concrete with reference to the CEB-FIP Model Code, FIP Symposia on partial prestressing, București, 1980
19. Beukel A. van den - Composite beams, Heron, Volume 23, no 2, Delft, 1978
20. Birkeland W.H. - Differential shrinkage in composite beams, JACI, vol.31, no 11, 1960
21. Bob C. - Prelucrarea datelor experimentale, Buletinul Stiintific al Sesiunii interjudetene de referate și comunicări tehnico-stiintifice, vol.I, Baia Mare, 1980
22. Bob C. - Curs de încercarea construcțiilor, I.P."T.Vuia", Timișoara, 1981
23. Bota V., Clipii T. - Considerații privind determinarea efortului real de precompresie, Buletinul Stiintific și Tehnic al I.P."T.Vuia", Timișoara, 1982
24. Bota V., Clipii T. - Aplicarea datelor cu secțiuni compuse la realizarea suprastructurilor de poduri, Buletinul Stiintific al Sesiunii interjudetene de referate și comunicări tehnico-stiintifice, Baia Mare, 1980
25. Brondum Nielsen T. - Serviceability limit state analysis of cracked concrete cross-section (Informare CKB), Danmarks Tekniske Hojskole, 1981
26. Busenmann R. - Kriechberechnung von Verbundträgern unter Benutzung von zwei Kriechfasern, Bauingenieur, 5, S.418, 1950
27. Cărare T. - Oțeluri superioare pentru betonul armat și betonul precomprimat, Editura Tehnică, București, 1969
28. Cestelli Guidi C. - Cemento armate precompresse, Hoepli, Milano 1976
29. Clipii T., Bota V., Deutsch I., Filimon I. - Considerații privind determinarea stării de eforturi unitare în secțiunile normale nefisurate ale elementelor compuse beton precomprimat-beton armat, Buletinul Stiintific și Tehnic al I.P."T.Vuia" Timișoara, Tom 27 (41), Fascicola 1-2, 1982
30. Clipii T., Bota V., Deutsch I., Filimon I. - Influența contracției și curgerii lente asupra eforturilor unitare din elementele compuse beton precomprimat-beton armat, Buletinul Stiintific și

Tehnic al I.P."T.Vuia", Tom 27(41) Fascicola 1-2, Timișoara, 1982

31. Clippi T. - Determinarea stării de eforturi unitare în secțiunile normale fisurate ale elementelor compuse beton precomprimat-beton armat, Volumul "40 de ani de învățământ superior de construcții" Iași, 1981

32. Clippi T., Friedrich R., Tudor Agneta - Näherungsverfahren zur Bestimmung der Spannungen in gerissenen Querschnitten zusammengesetzter Spannbeton-Stahlbetonelemente, Buletinul Științific și Tehnic al I.P."T.Vuia", Tom 28 (42), Timișoara, 1983

33. Clippi T. - Stress determination in the cracked normal sections of prestressed concrete - reinforced concrete composite members considering the elastoplastic behaviour of concrete, Buletinul Științific și Tehnic al I.P."T.Vuia", Tom 28(42), Timișoara, 1983

34. Dreux G. - Practica betonului precomprimat, Editura Tehnică, București, 1971

35. Dumitrescu D., ș.a. - Indrumător pentru proiectarea și calculul construcțiilor din beton, beton armat și beton precomprimat, Editura Tehnică, București, 1978

36. Dumitrescu D., Popăescu A. - Design aspects of partial prestressed concrete in Romanian Codes, Symposia on partial prestressing București, 1980

37. Dumitrescu D., Popăescu A. - Curs de Beton precomprimat, Institutul de Construcții, București, 1980

38. Dumitrescu D., ș.a. - Recherches concernant le béton précontraint partiellement en Roumanie, FIP Symposia on partial prestressing, București, 1980

39. Filimon I., Deutsch I., Clippi T. - Analiza calculului la starea limită de apariție a fisurilor la elementele din beton precomprimat după diferite norme, Construcții, nr 5, București, 1976

40. Filimon I. - Quelques aspects concernant le calcul à la fissuration des éléments flechis en béton précontraint, Béton, Revue C - Tijdschrift III - 7, Gand, 1964

41. Filimon I., Deutsch I., Friedrich R., Clippi T., Jiva C., Tudor Agneta, Iovan Simina, Florea Aurora, Marcu Constanța - Elemente din beton parțial precomprimat folosite în construcții industriale, A XI-a Conferința de Betoane, Timișoara, 1982

42. Filimon I., Deutsch I. - Studiul teoretic și experimental privind fisurarea elementelor de beton armat precomprimat solicitate la încovoiere cu forță tăietoare, A V-a Conferință de Betoane, Timișoara

43. Filimon I., Deutsch I. - Curs de Beton armat și beton pre-comprinat, I.P."T.Vuia", Timișoara, 1979
44. Filimon I., Deutsch I., Toma Al. - Studiul teoretic și experimental privind apariția și dezvoltarea fisurilor la elementele încoovate din beton precomprinat solicitate la încărcări statice și dinamice, Buletinul Științific și Tehnic al I.P."T.Vuia", Seria Construcții, Tom 19/33/, fasc.1, Timișoara, 1974
45. François D. - Concrete resistance to cracking, Cahiers de l'A.F.B., nr 183, 1981
46. Ghibșan E.B., Ghibșan M.E. - Teoria și calculul podurilor de beton armat precomprinat, Editura Transporturilor și Telecomunicațiilor, Moscova, 1963
47. Grouni H.M. - Prestressed Concrete - A Simplified Method for Loss Computation, JACI, February, 1973
48. Guyon Y. - Constructions en béton précontraint, Cours CHERAP, Eyrolles, Paris, 1966
49. L'Hermite R., Mamillan M. - Nouveaux résultats et récentes études sur la fluage du béton, RILEM - Matériaux et Constructions, No 7 1969
50. Herberg W. - Spannbetonbau, B.G.Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1956
51. Holmberg A., Lindgren S. - Crack spacing and crack widths due to normal force or bending moment, National Swedish Building Research, D2, Stockholm, 1970
52. Hötner M. - Der Einfluss des Verspanngrades auf die Materialökonomie in Eisenbahnbrückenbau, FIP Symposia on partial prestressing, București, 1980
53. Kurt E., Martinek F. - Grundlagen des Spannbetonbaus, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1972
54. Lazić J., Lazić Vera - Prévision des effets du fluage du béton dans les structures mixte et précontraintes, Annales de l'ITBTP, No 399, Paris, 1981
55. Leonhardt F. - Recommendations for the degree of prestressing in prestressed concrete structures, FIP Notes Nr 69, 1977
56. Leonhardt F. - Spannbeton für die Praxis, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1962
57. Leonhardt F. - Vorlesungen über Massivbau, Springer Verlag, Berlin, 1980
58. Leonhardt F. - Partial prestressing improves servicea-

bility, VIP Symposia on partial prestressing, București, 1980

59. Lloyd J.P., Rejali H.M., Kesler C.E. - Crack control in one-way slabs reinforced with deformed welded wire fabric, JACI, vol. 66, no 5, 1969

60. Lopatto A.E. - Spravocnik po proectirovaniu elementov jelesobetonih construcții, Golovoe izdatelstvo "Vigcia Scola", Kiev, 1978

61. Magnel G. - Le béton précontraint, Editions Fechey, Gand, 1953

62. Mazars J. - Evolution of microcracks in concrete: the formation of cracks, Cahiers de l'A.F.B., nr 133, 1981

63. Mihoc Gh., ș.a. - Teoria probabilităților și statistică matematică, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970

64. Moenaert P. - Béton armé et béton précontraint, Dunod, Paris, 1967

65. Naaman A.E. - Partially prestressed beams: A unified design procedure for strength and serviceability, Symposia on partial prestressing, București, 1980

66. Navy E.G., Huang P.T. - Crack and deflection control of pretensioned prestressed beams, JPCI, vol.22, no 3, 1977

67. Negoită Al., Dumitrag M. - Calculul elementelor încovoiate din beton armat și beton precomprimat pe baza deformațiilor specifice din secțiunea transversală, Sesiunea Științifică a I.P.Cluj-Napoca, 1968

68. Nemirovski I.M., Nikitin N.V. - O koefitsiente dlia rasciota jelesobetonnih elementov, Beton i jelesobeton, Moskva, 1969

69. Nemirovski I.M. - Issledovanie napriajemo-deformirovanovo sostoiania jelesobetonnih elementov s uciotom raboti rastiamutovo betona nad tresciami i perezmotri na etoi osnove teorii rasciota deformații i raskritia trescii, Stroisdat, Moskva, 1968

70. Nicula I., Onuț T. - Beton armat, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982

71. Niculescu S - Inițiere în Portran, Editura Tehnică, București, 1972

72. Neur D. - Contribuții la studiul stărilor limită de fisurare și rezistență în secțiunile normale la elementele precomprimat armate cu bare grosă PC 90 și teroane TBP, Teză de doctorat, I.P."T.Vuia", Timișoara, 1976

73. Okada K., Kobayashi K., Matsumura H. - Effects of supplementary reinforcement on flexural and long-term behaviours in

unbonded prestressed concrete beams, FIP Symposia on partial prestressing, București, 1980

74. Okada K., Toyofuku T. - Class three prestressed concrete beams in flexure and shear, FIP Symposia on partial prestressing, București, 1980

75. Păiuș S. - Contribuții privind studiul aderenței și influența ei asupra procesului de fisurare a elementelor din beton armat precomprimat cu armătură preîntinsă de tipul toroanelor, Teză de doctorat, I.P. "T.Vuia", Timișoara, 1977

76. Pătraș M. - Contribuții la studiul stărilor limită de fisurare și rezistență, în secțiuni înclinate, la elementele precomprimat cu bare groase PC 90 și toroane TBP, Teză de doctorat, I.P. "T.Vuia", Timișoara, 1975

77. Petruș O., Constantin O. - Biblioteca matematică generală SANDIA - versiunea FELIX C-256, Buletinul Român de Informatică, vol. III/6, București, 1982

78. Pinglot M., Pens G. - Contribution à l'étude du béton partiellement précontraint, 7^e Congrès de la FIP, Contributions Techniques Françaises, New-York, 1974

79. Popăescu A. - Probleme ale comportării și calculului elementelor încovoiate din beton precomprimat cu precomprimare parțială, Teză de doctorat, Institutul de Construcții, București, 1983

80. Popăescu A., Löbel I., Tannenbaum M. - Probleme ale calculului la fisurare al elementelor din beton precomprimat, Revista Construcțiilor și materialelor de construcții, nr 6, București 1970

81. Popăescu A., Dumitrescu D. - Influența distribuției armăturii pretensionate și nepretensionate de rezistență asupra comportării sub încărcări a elementelor din beton precomprimat, Construcții, nr.4, București, 1977

82. Radogna E.P. - Some relevant stages of international activity on behaviour in service, maintenance and repair of concrete bridges, Bulletin d'Information CEB, No 163, Paris, 1983

83. Reagan S.R., Krahl W.N. - Behaviour of prestressed composite beams, Journal of the Structural Division, vol 93, 1967

84. Rungiski L.Z. - Prelucrarea matematică a datelor experimentale, Editura Tehnică, București, 1974

85. Rüsck H. - Interpretation statistique des essais de résistance du béton, Recommandation CEB II, Annexe 4, München, 1984

86. Sabnis G.M. - Handbook of composite construction engineering, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1979

87. Sklăgean T. - Statistica în suduri, CSIO, Timișoara, 1973
88. Tertea I. - Betonul precomprimat, Editura Tehnică, București, 1981
89. Tertea I., Oneș T. - Verificarea calității construcțiilor de beton armat și beton precomprimat, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1979
90. Tiron M. - Prelucrarea statistică și informațională a datelor de măsurare, Editura Tehnică, București, 1976
91. Toma Magdalena - Betonul parțial precomprimat verigă de legătură între betonul armat și betonul precomprimat, Construcții, nr 12, București, 1972.
92. Toma Magdalena, Mircea D., Filip M., Popa P. - Aspecte privind comportarea sub încărcări de durată a elementelor încovoiate din beton obişnuit și ușor parțial precomprimate cu toroane sau cu bare PC 90, A IX-a Conferință de Betoane, Timișoara, 1982
93. Viespescu D., ș.a. - Tehnologia lucrărilor de beton precomprimat, Editura Tehnică, București, 1979
94. Yule U.G., Kendall M.G. - Introducere în statistică, Editura Științifică, București, 1969
95. Worthing A.G., Geffner J. - Prelucrarea datelor experimentale, Editura Tehnică, București, 1959
96. x x x - Influența tipului și distribuției armăturii pre-tensionate asupra rezistenței la fisurare a elementelor din beton precomprimat - Cercetări experimentale etapa I, contract 4110/72, Referat I.P."T.Vuia", Timișoara, 1973
97. x x x - Influența tipului și distribuției armăturii pre-tensionate asupra rezistenței la fisurare a elementelor din beton precomprimat - Cercetări experimentale etapa II, contract 4110/72, Referat I.P."T.Vuia", Timișoara, 1975
98. x x x - Influența tipului și distribuției armăturii pre-tensionate asupra rezistenței la fisurare a elementelor din beton precomprimat - Concluzii finale și recomandări de proiectare, contract 4110/72, Referat I.P."T.Vuia", Timișoara, 1975
99. x x x - Metodă perfecționată de calcul pentru elementele din beton armat și beton precomprimat privind formarea și deschiderea fisurilor sub acțiunea momentelor încovoietoare, forțelor tăietoare și torsiunii, Studiu final și propuneri provizorii de perfecționare, Referat INCERC, București, 1974
100. x x x - Metodă perfecționată de calcul pentru elementele din beton armat și beton precomprimat privind formarea și deschiderea fisurilor sub acțiunea momentelor încovoietoare, forțelor tăietoare

și tosiunii, Studiu final și propuneri previzorii de perfecționare, Referat I.P.Iași, 1974

1o1. x x x - Studiu privind folosirea diferențiată a pre-comprimării parțiale în corelare cu condițiile de încărcare și exploatare la elemente și structuri. Propuneri pentru introducerea în proiecte tip, contract 9o/1983, Referat INCERC, București, 1983

1o2. x x x - Noi soluții teoretice și experimentale pentru elemente din beton parțial precomprimat folosite în construcții civile și industriale, Cercetări experimentale, etapa I, contract 87o/1981, ICCPDC - Filiala Timișoara, 1982

1o3. x x x - Noi soluții teoretice și experimentale pentru elemente din beton parțial precomprimat folosite în construcții civile și industriale, Cercetări experimentale, etapa II, contract 87o/1981, ICCPDC - Filiala Timișoara, 1983

1o4. x x x - Noi soluții teoretice și experimentale pentru elemente din beton parțial precomprimat folosite în construcții civile și industriale, Instrucțiuni privind proiectarea elementelor din beton precomprimat parțial, cu suprabetonare, folosind armături pretensionate și nepretensionate complementare de rezistență, contract 87o/1981, ICCPDC - Filiala Timișoara, 1982

1o5. x x x - Noi soluții teoretice și experimentale pentru elemente din beton parțial precomprimat folosite în construcții civile și industriale, Instrucțiuni privind proiectarea elementelor din beton precomprimat parțial, cu suprabetonare, folosind armături pretensionate și nepretensionate complementare de rezistență, contract 87o/1981, ICCPDC - Filiala Timișoara, 1983

1o6. x x x - Normativ condiționat pentru calculul construcțiilor la stările limită, P 8-62, CSCAS, București, 1962

1o7. x x x - STAS 10102-75, Construcții din beton, beton armat și beton precomprimat. Prevederi fundamentale pentru calculul și alcătuirea elementelor, București, 1975

1o8. x x x - STAS 10107/e-76, Construcții civile și industriale. Calculul și alcătuirea elementelor din beton, beton armat și beton precomprimat, București, 1976

1o9. x x x - STAS 10107/o-83, Construcții civile și industriale. Calculul și alcătuirea elementelor din beton, beton armat și beton precomprimat, București, 1983

11o. x x x - STAS 10111/2-77, Peduri din beton, beton armat și beton precomprimat. Calculul suprastructurilor, București, 1976

111. x x x - STAS 10111/2-77 (Revisuire), Poduri din beton, beton armat și beton precomprimat. Calculul suprastructurilor, Redactarea I, București, 1983
112. x x x - Code-Model CEB-FIP pour les structures en béton, Bulletin d'Information CEB 124/125-F, Paris, 1978
113. x x x - Manuel CEB de Calcul "Fissuration et Deformation" (Final Draft), Bulletin d'Information, No 143, Paris, 1981
114. x x x - SNIP II-21-75, Normă proiectivă, Beton și железобетонне construcții, Moskva, 1976
115. x x x - PC 119/74, Norme de proiectare pentru elementele de construcții din beton, beton armat și beton precomprimat, 1974
116. x x x - Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea elementelor din beton precomprimat parțial, folosind armături pretensionate și nepretensionate complementare, P 103-32, București, 1983
117. x x x - Îndrumător tehnic departamental pentru alcătuirea și calculul structurilor de poduri și podețe de șosea cu suprastructuri monolite și prefabricate, IPTANA, București, 1982
118. x x x - Perfecționarea metodelor de calcul și alcătuire a elementelor (liniare și bidimensionale) și structurilor de beton armat, beton precomprimat și compuse oțel-beton la solicitări statice și alternante de tip seismic, contract 873/1981, ICCPDC - Filiala Timișoara, 1981
119. x x x - Catalog de elemente prefabricate din beton armat și beton precomprimat, vol. I, IPT, București, 1981
120. x x x - Recommendations de "Nordic Concrete Federation", Informare scrisă Comisia IV-a CEB, Liège, 1974

Tabelul 5.1

Momente incovoietoare și forțe de fisurare

Element	V_o (cm ³)	A_{bi} (cm ²)	r_s (cm)	r_o	W_f (cm ³)	R_t (daN/cm ²)	L_o^s (daNm)	L_f^t (daNm)	P_f^t (daN)
A1	5232	586	8,91	1,5	7850	43,2	4100	6330	4681
A2							4123	6350	4704
A3	2021	421	4,80	1,75	3540	39,1	3340	4490	3326
A4							3340	4490	3326
B1	5208	567	9,19	1,5	7810	43,8	4230	6630	4911
B2							4250	6630	4911
B3	2220	420	5,28	1,75	3890	44,2	3260	4525	3352
B4							3280	4525	3352
C1	5033	551	9,22	1,5	7630	39,5	2320	4650	3444
C2							2320	4650	3444
C3	2354	404	5,8	1,75	3920	45,0	2790	4890	3622
C4							2790	4890	3622
D1	5119	556	9,2	1,5	7680	43,6	2680	5130	2085
D2							2770	4130	2085
D3	2400	409	5,9	1,75	4000	37,6	2550	4710	3483
D4							2550	4710	3483
E11	5100	573	8,9	1,5	7650	43,5	4890	7830	5800
E12							4900	7840	5810
E21	5040	569	8,80	1,5	7550	36,7	2140	4570	3385
E22							2160	4590	3400
F11	5050	565	8,94	1,5	7560	38,5	3570	6220	4607
F12							3350	6210	4600
F21	5090	560	9,07	1,5	7640	43,3	1530	4790	3548
F22							1540	4800	3555
G11	5050	565	8,94	1,5	7560	44,0	2150	5340	3955
G12							2160	5360	3970
G21	5090	560	9,07	1,5	7640	40,7	940	3940	2919
G22							930	3920	2904

Tabelul 5.2

Momente încovoietoare și forțe de rupere

Element	σ_{p1} (daN/cm ²)	R_o (daN/cm ²)	α_p	x (cm)	$h_o - \frac{x}{2}$ (cm)	$L \cdot x$ (daNm)	P_2^t (daN)
A1, A2	14900	357	0,415	3,75	32,13	7400	5481
A3, A4	14600	344	0,475	3,82	29,09	6500	4815
B1	16050	368	0,359	3,27	32,37	6540	4844
B2							
B3	15700	375	0,427	3,19	26,4	5260	3896
B4							
C1	15850	337	0,221	2,11	32,95	3970	2941
C2							
C3	16000	378	0,197	1,90	33,05	5050	3741
C4							
D1	16700	371	0,237	2,25	32,88	4670	3459
D2							
D3	16500	357	0,271	2,31	29,85	5120	3793
D4							
E11	14650	326	0,459	4,03	31,96	8240	6103
E12							
E21	16600	334	0,265	2,49	32,76	5620	4162
E22							
F11	14900	355	0,418	3,75	32,13	7270	5385
F12							
F21	16500	317	0,279	2,61	32,70	5600	4148
F22							
G11	14900	357	0,417	3,73	32,14	7320	5482
G12							
G21	16400	302	0,293	2,73	32,64	4600	3407
G22							

Tabelul 5.23

Caracteristicile elementelor experimentale din etapa I

Element	Amplifura puzosens.		Armaro trenuv.		Zona centrala	Zona marg.	St. unitar in arm. la transfer (dal/cm ²)	Unita in ello dela trenuf. la facareare (zile)	La data incercarii		n _o (dal)	θ _o (cm)
	A _p (cm ²)	p (%)	UB 3/	UB 3/					σ _{po} (dal/cm ²)	R _p (dal)		
A1 A2	1,75	0,377	ø6/20	ø5/10			9305	35	8902	0,523	16100	14,58
A3 A4	1,79	0,377	ø6/20	ø6/10			9430	37	9009	0,535	16250	
B1 B2	1,498	0,74	ø6/20	ø6/10			9210	53	8655	0,510	15500	16,92
B3 B4	1,493	0,74	ø6/20	ø6/10			11700	51	8655	0,510	15500	
C1 C2	0,895	0,438	ø6/20	ø6/10			11740	39	11069	0,615	16550	14,59
C3 C4	0,895	0,438	ø6/20	ø6/10			11260	42	11195	0,620	16750	
D1 D2	0,999	0,49	ø6/20	ø6/10			11030	60	10723	0,615	16200	16,03
D3 D4	0,999	0,49	ø6/20	ø6/10			11030	64	10731	0,615	16200	
E1 E2	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			11080	49	10415	0,650	9370	14,27
E3 E4	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			11030	47	10415	0,650	9370	
F1 F2	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			11080	63	10316	0,545	9250	16,73
F3 F4	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			11080	62	10316	0,545	9250	
G1 G2	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			9360	46	8890	0,495	8890	14,4
G3 G4	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			9360	44	9254	0,515	9250	
H1 H2	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			9360	53	8890	0,495	8890	16,05
H3 H4	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			9360	56	8890	0,495	8890	
I1 I2	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			11350	45	10842	0,639	19410	14,55
I3 I4	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			11445	43	10928	0,644	19560	
J1 J2	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			14005	29	13649	0,758	13640	14,4
J3 J4	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			14100	30	13683	0,76	13670	
K1 K2	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			8475	64	8068	0,475	14440	14,55
K3 K4	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			8425	62	7999	0,470	14320	
L1 L2	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			9530	57	9515	0,528	9500	14,4
L3 L4	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			10020	60	9755	0,542	9750	
M1 M2	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			4960	57	4911	0,290	8790	14,55
M3 M4	1,79	0,877	ø6/30	ø6/10			5050	59	4934	0,291	8830	
N1 N2	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			6220	41	6084	0,330	6080	14,4
N3 N4	0,999	0,49	ø6/30	ø6/10			6090	39	5948	0,328	5940	

Tabelul 5.24

Caracteristicile betonului folosit în etapa I

Element	Marca betonului	Rezistența la compresiune (daN/cm ²)			Rezistența la întindere (daN/cm ²)		Modulul de elasticitate E _b (daN/cm ²)
		R _b	R _c	R _{pr}	experimentală R _{ft}	calculată R _{ct}	
A1	440	460	357	295	43,2	28,5	266000
A2	442	460	357	295	43,2	28,5	266000
A3	412	440	344	290	39,1	27,5	262000
A4	410	440	344	290	39,1	27,5	262000
B1	452	475	368	300	43,8	29,5	270000
B2	447	475	368	300	43,8	29,5	270000
B3	435	485	375	295	44,2	29,8	270000
B4	430	385	375	295	44,2	29,8	270000
C1	407	430	337	290	39,5	27,0	260000
C2	410	430	337	290	39,5	27,0	260000
C3	455	490	378	315	45,0	32,5	285000
C4	455	490	378	315	45,0	32,5	285000
D1	455	480	371	305	43,6	31,5	277000
D2	455	480	371	305	43,6	31,5	279000
D3	435	460	357	295	37,6	28,5	265000
D4	435	460	357	295	37,6	28,5	268000
E11	390	414	326	256	43,5	26,9	304000
E12	390	414	326	256	43,5	26,9	304000
E21	423	426	334	270	36,7	27,4	335000
E22	423	426	334	270	36,7	27,4	335000
F11	412	456	355	262	38,5	28,6	317000
F12	412	456	355	262	38,5	28,6	300000
F21	370	402	317	258	43,3	26,5	312000
F22	370	402	317	258	43,3	26,5	312000
G11	420	460	357	287	44,0	28,7	328000
G12	420	460	357	287	44,0	28,7	328000
G21	353	380	302	247	40,7	25,7	307000
G22	353	380	302	247	40,7	25,7	307000

$$R_c = (0,87 - 0,0002 E_b) R_b$$

$$R_{ft} = 0,57 R_c^{2/3}$$

Tabelul 5.25

Caracteristicile elementelor experimentale din etapa II

Element	Arm. Longitudinală				Durata de la transfer la încercare (zile)	Durata de la turnarea betonului armat la încercare (zile)
	A_s (cm ²)	$\rho = \frac{A_s}{A_{bo}}$ (%)	A_u (cm ²)	$\rho = \frac{A_u}{A_{bo}}$ (%)		
GP 1-1		0,62		0,41	133	28
GP 1-2	7,16	0,34	4,71	0,23	145	48
GP 2-1		0,46		0,59	187	34
GP 2-2	5,37	0,26	6,79	0,33	226	62
GP 3-1		0,31		1,04	196	41
GP 3-2	3,58	0,17	12,06	0,59	281	120
GP 4	8,95	0,77	4,02	0,34	126	-
GP 5	7,16	0,62	6,53	0,56	118	-
GP 6	5,37	0,46	12,56	1,08	105	-

Tabelul 5.26

Caracteristicile betonului folosit în etapa II

Element	Marca betonului (daN/cm ²)	Rezistența la compresiune (daN/cm ²)			Rezistența la întindere (daN/cm ²)		Modulul de elasticitate (daN/cm ²)	
		R_b	R_0	R_{pr}	experimentală R_t^e	calculată R_t^c		
GP 1-1	b. arm.		345	276	259	-	24,2	259550
	b. prec.	518	532	406	451	38,9	31,3	324970
GP 1-2	b. arm.		373	297	260	-	25,4	266950
	b. prec.	518	558	423	447	41,0	32,1	324720
GP 2-1	b. arm.		337	271	239	-	23,8	279650
	b. prec.	430	498	357	345	43,0	28,7	291660
GP 2-2	b. arm.		341	273	247	-	24,0	279900
	b. prec.	430	463	359	353	44,0	23,8	292000
GP 3-1	b. arm.		300	243	266	-	22,2	278830
	b. prec.	428	431	338	272	34,7	27,6	292000
GP 3-2	b. arm.		313	253	270	-	21,7	279310
	b. prec.	428	460	358	265	43,8	28,7	292300
GP 4		504	515	395	399	42,6	30,7	333540
GP 5		458	504	388	308	38,1	30,4	305360
GP 6		447	504	388	333	40,0	30,4	297680

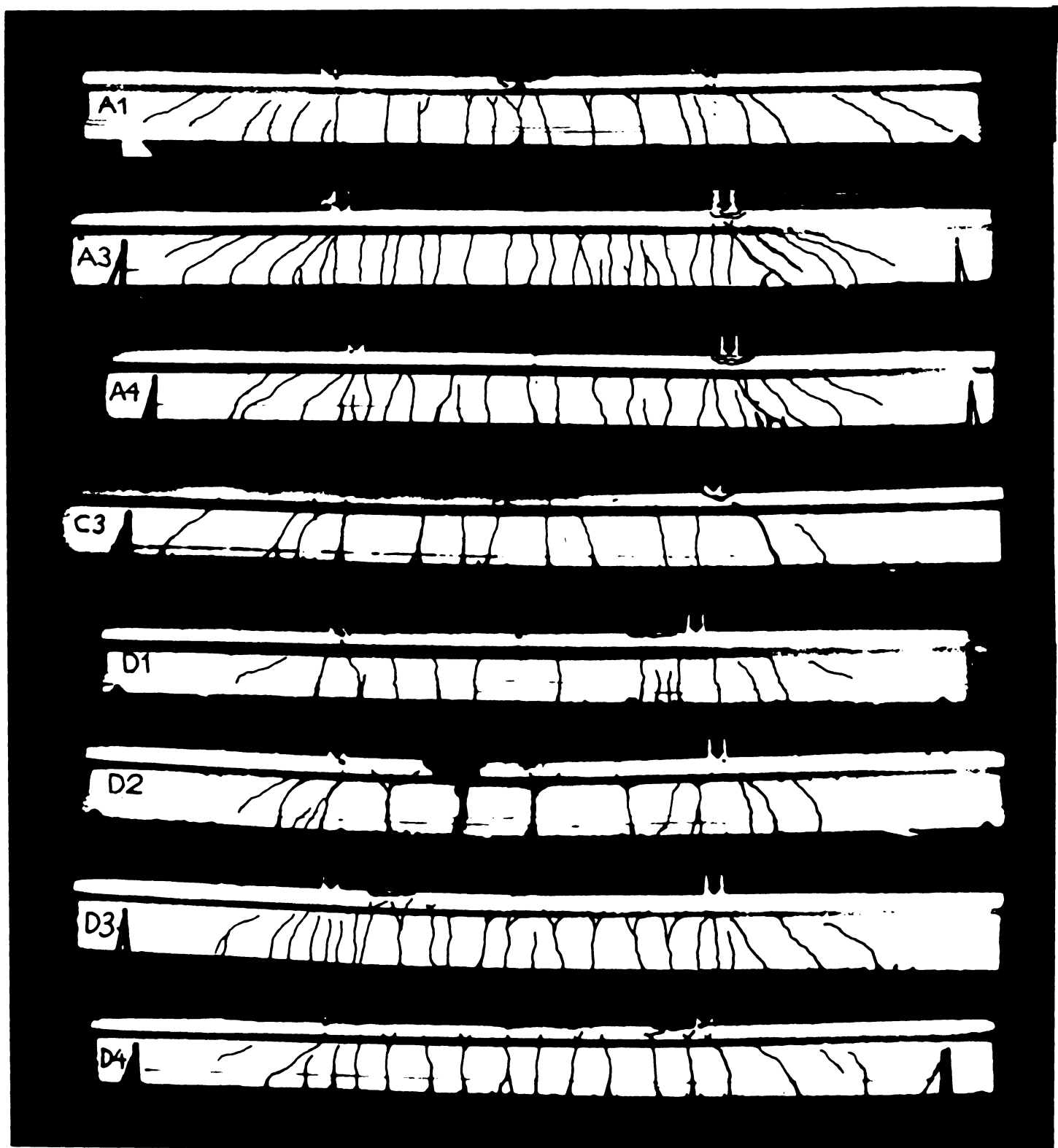


Fig.5.19

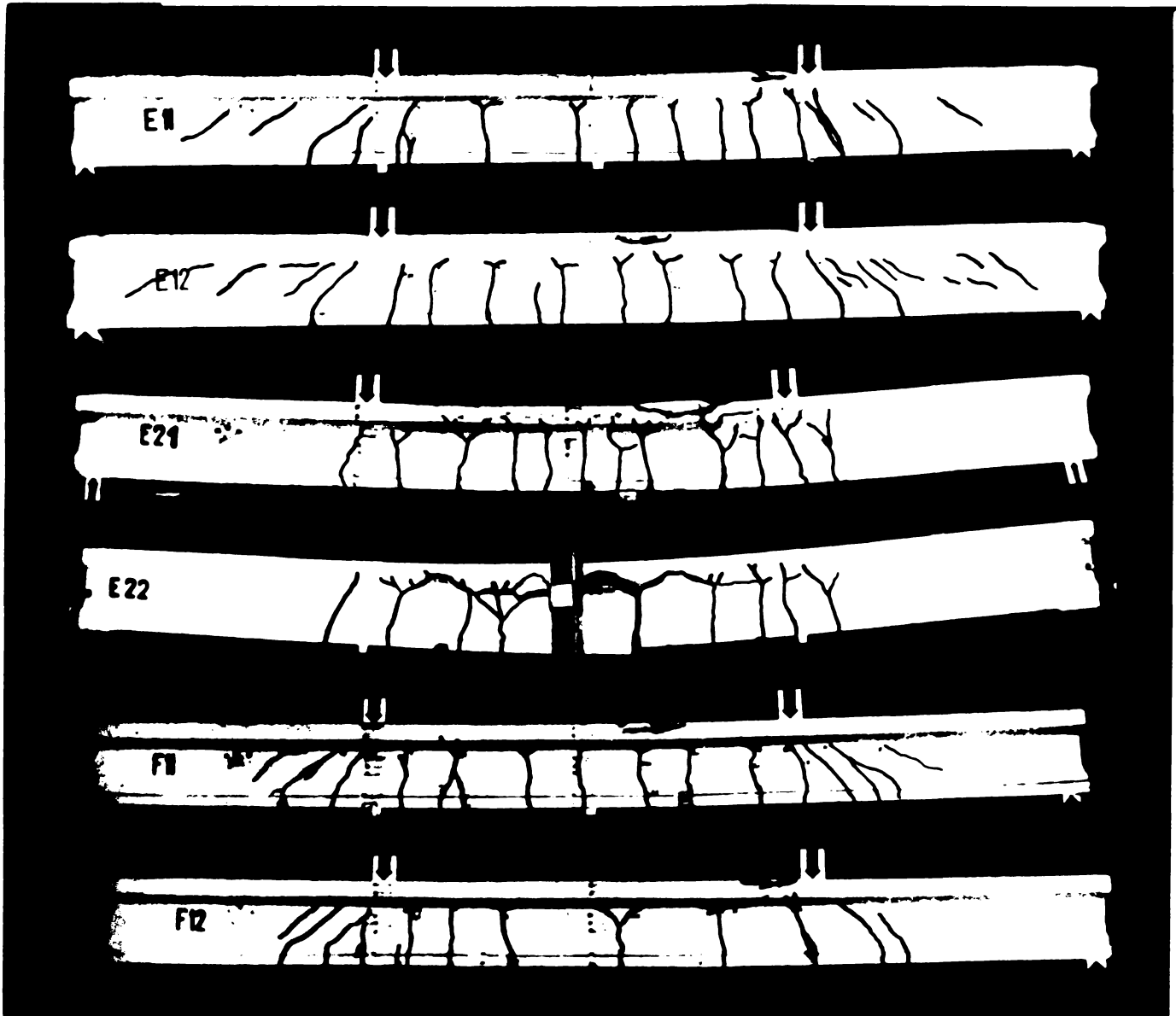


Fig.5.20 a

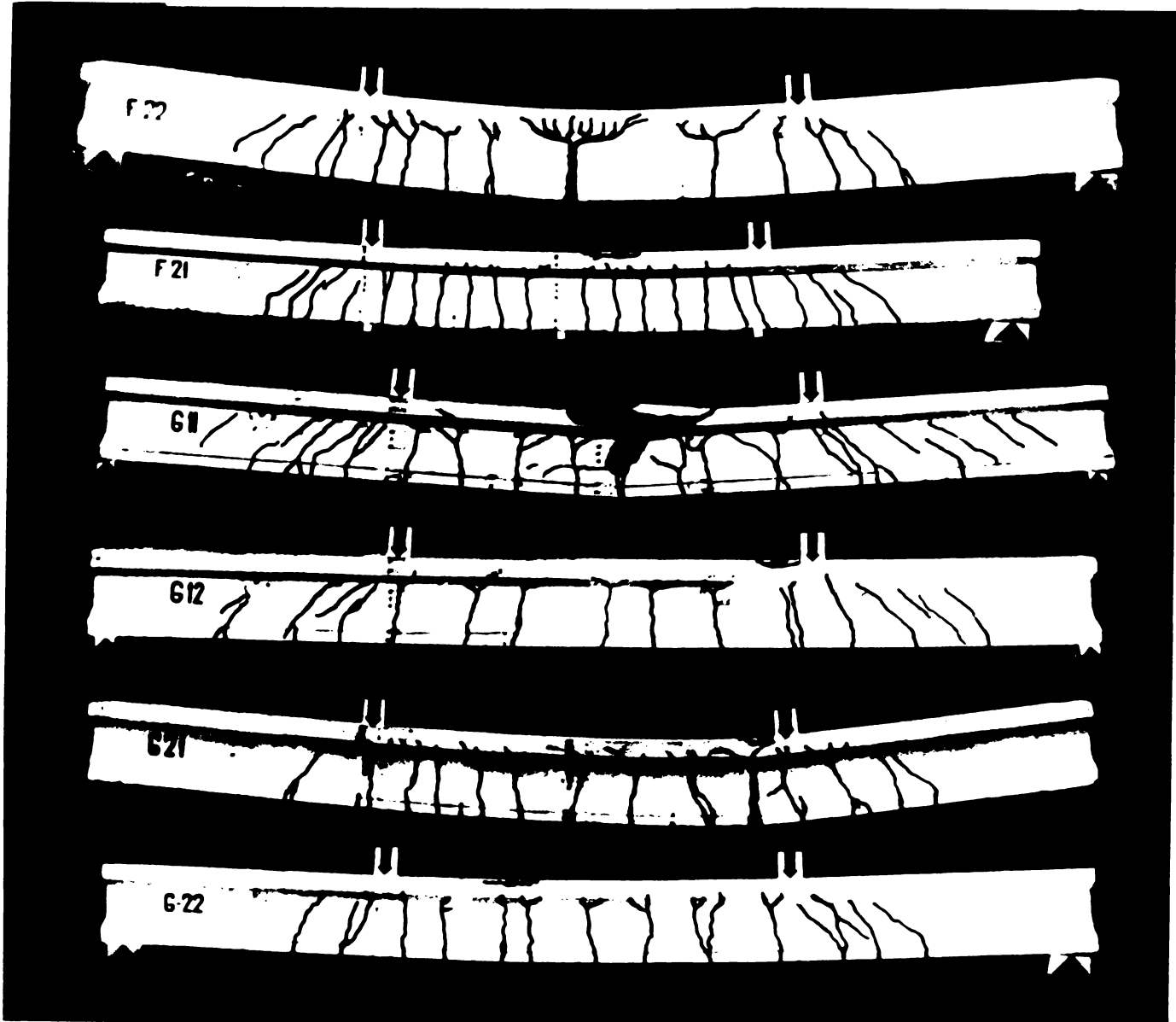


Fig. 5.20 b

Labelul 5.27

Caracteristicile armăturilor (etapa II)

Tipul armăturii	$\sigma_{0,2}$ (daN/cm ²)	σ_r (daN/cm ²)	Modul de elasticitate (daN/cm ²)
TBP 12	16930	18000	2276000
Ø8 PC52	3760	5535	2093000
Ø10 PC52	3930	5460	1915000
Ø12 PC52	4093	5360	2212500
Ø16 PC52	3532	5175	1658000

Labelul 5.28

Determinarea stării de decompresiune la elementele compuse

Ele- ment	Nivel de calau	Eforturi unitare (daN/cm ²)					Moment de incoov. de de- compr. (daNm)	Starea de de- compre- siune (daN/cm ²)	
		fasii inter- med.	greut. plăcii b.a.	interacti- une curge- re len- tu	daN/cm ² contra- ție	pierde- re de fort. de pres.			in mo- mentul de inco- urii
GP1-1	(ba)s		0,58	-1,39	-2,29	0,15	-2,96	30391	46,02
	(ba)i		0,40	-0,39	-3,05	0,05	-2,99		31,35
	(bp)s	-18,5	0,51	1,76	4,34	0,06	-11,38		31,61
	(bp)i	100,5	-1,11	-1,70	-2,28	-0,09	94,51		0
GP1-2	(ba)s		0,58	-2,32	-3,40	0,27	-4,87	20412	43,11
	(ba)i		0,41	-0,61	-4,56	0,08	-4,68		28,85
	(ba)s	-18,4	0,50	2,91	7,21	0,10	-7,72		33,07
	(bp)i	100,0	-1,11	-2,9	-3,40	-1,60	91,07		0
GP2-1	(ba)s		0,62	-1,10	-2,11	0,12	-2,46	21058	34,27
	(ba)i		0,43	-0,23	-2,98	0,03	-2,76		22,50
	(bp)s	-10,7	0,45	1,30	4,65	0,03	-4,29		22,06
	(pb)i	68,59	-1,08	-1,28	-2,20	-0,67	63,36		0
GP2-2	(ba)s		0,62	-2,87	-4,58	0,36	-6,73	18921	26,27
	(ba)i		0,43	-0,56	-6,86	0,09	-6,90		15,79
	(bp)s	-10,74	0,45	3,38	10,71	0,10	3,86		27,50
	(bp)i	68,68	-1,08	-3,58	-5,07	-2,02	56,93		0
GP3-1	(ba)s		0,63	-0,80	-2,33	0,10	-2,41	11578	17,80
	(ba)i		0,43	-0,16	-3,33	0,03	-3,02		11,01
	(bp)s	-4,28	0,45	0,94	5,28	0,03	2,42		17,11
	(bp)i	39,42	-1,06	-1,0	-2,91	-0,55	34,11		0
GP3-2	(ba)s		0,63	-2,92	-5,91	0,49	-7,72	8523	7,20
	(ba)i		0,43	0,43	-8,43	0,13	-8,35		1,98
	(bp)s	-4,29	0,45	3,32	13,38	0,14	13,00		23,81
	(bp)i	39,44	-1,08	-4,13	-6,35	-2,65	25,25		0

Tabelul 5.29.

Calculul momentului încovoietor și al forței de fisurare pentru elementele compuse

Element	R_t (daN/cm ²)	x (cm)	ΔL_f (daNm)	L_d (daNm)	L_f^t (d-Nm)	L_f^t (daN)
GP 1-1	38,9	43,08	19320	30391	49711	28420
GP 1-2	41,0	42,88	20419	29412	49831	28450
GP 2-1	43,0	38,05	21326	21058	42384	24200
GP 2-2	44,0	39,69	22037	18921	40958	23400
GP 3-1	34,7	37,81	17157	11578	28735	16430
GP 3-2	43,8	38,57	21754	8523	30277	17300

Tabelul 5.30

Calculul momentului încovoietor și al forței de fisurare pentru elementele precomprinate

Element	W_o (cm ³)	A_{bi} (cm ²)	r_o (cm)	γ_o	V_f (cm ³)	R_t (daN/cm ²)	k_o^s (daNm)	L_f^t (daNm)	L_f^t (daN)
GP 4	23428	1471	15,93	1,5	35142	42,6	30212	45183	25819
GP 5	24165	1484	16,28	1,5	36248	38,1	23525	37336	21335
GP 6	25428	1514	16,79	1,5	38142	40,0	16169	31427	17958

Calculul momentului încovoietor și al forței de rupere (etapa II) Tabelul 5.31

Element	A_p (cm^2)	A_a (cm^2)	$\frac{C_{0.2} (dan/cm^2)}{A_p}$	α_p	α_a	C_{pl} (dan/cm^2)	Întinse zonei compres. (cm)	x (cm)	M_T^t ($danm$)	P_T^t (dan)	P^t ($d.N$)
GP 1-1	7,16	4,71	16980	0,119	0,153	15302	54,4	8,52	93960	53600	30000
GP 1-2	7,16	4,71	16980	0,117	0,149	16302	56,2	8,50	93990	53600	30000
GP 2-1	5,37	6,79	16980	0,083	0,029	16379	60,7	7,66	83329	47700	26400
GP 2-2	5,37	6,79	16980	0,083	0,029	16379	60,8	7,66	83329	47700	26400
GP 3-1	3,58	12,06	16980	0,076	0,039	16400	57,5	5,71	78404	44700	24800
GP 3-2	3,58	12,06	16980	0,074	0,037	16400	56,5	5,71	78460	44700	24800
GP 4	8,95	4,02	16980	0,153	0,142	16142	40	10,1	92840	53000	29400
GP 5	7,16	6,53	16980	0,123	0,227	16254	40	9,06	84800	48500	24000
GP 6	5,38	12,56	16980	0,092	0,046	16289	40	8,66	82100	46900	23200

Taboulul 5.32

Gradul de precomprimare k

Element	N ₀ (daN)	e ₀ (cm)	r _g (cm)	N ₀ (e ₀ +r _g) (tln)	Treapta de încurcare pentru k		Treapta de încurcare pentru α					
					M _e (tln)	k	M _e (tln)	k	M _e (tln)	k		
B11	19410	14,45	8,9	4,55	6,07	0,750	6,60	0,689	7,44	0,612	7,72	0,589
E12	19550	14,45	8,9	4,59	6,75	0,686	7,10	0,646	7,45	0,616	8,10	0,567
E21	13640	14,40	8,8	3,18	4,05	0,785	4,20	0,757	5,00	0,636	5,27	0,604
B22	13670	14,40	8,8	3,18	4,39	0,724	4,85	0,656	5,05	0,630	5,27	0,604
F11	14440	14,45	8,94	3,39	5,53	0,613	5,80	0,584	5,95	0,570	6,40	0,530
F12	14320	14,45	8,94	3,36	4,73	0,710	5,20	0,646	5,56	0,604	5,94	0,566
F21	9500	14,40	9,07	2,23	3,51	0,635	3,80	0,587	3,92	0,569	4,59	0,486
F22	9750	14,40	9,07	2,29	-	-	-	-	3,37	0,680	3,57	0,644
G11	8790	14,45	8,94	2,06	3,544	0,582	3,71	0,555	4,21	0,489	4,86	0,424
G12	8830	14,45	8,94	2,07	3,71	0,558	3,71	0,557	3,98	0,520	4,59	0,451
G21	6080	14,40	9,07	1,43	1,92	0,747	2,03	0,704	2,59	0,552	2,84	0,504
G22	5940	14,40	9,07	1,39	1,86	0,747	2,00	0,695	2,26	0,615	2,29	0,606

Tabelul 5.33

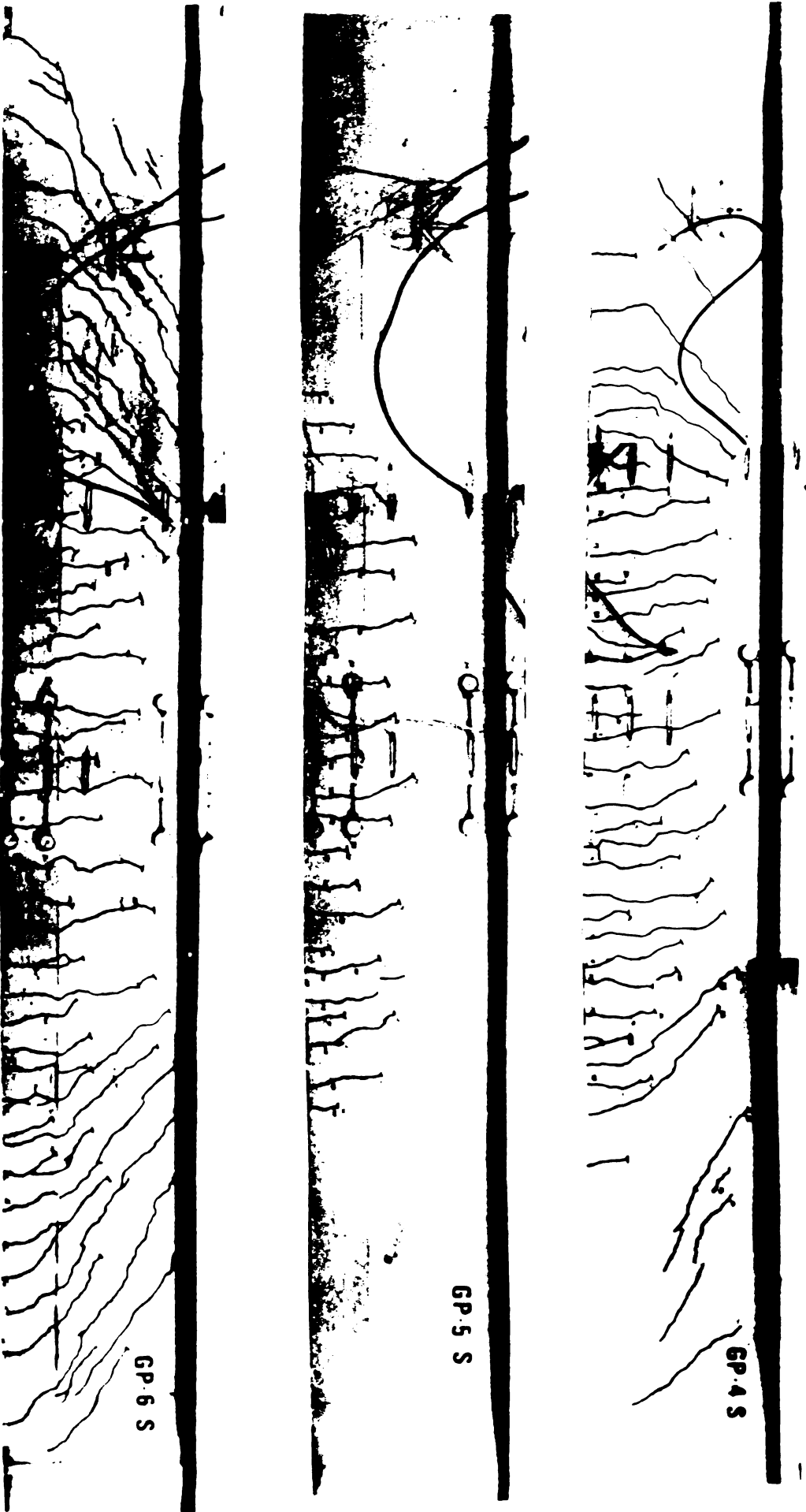
Coeficientul de conjugare ψ (etapa II)

Element	M_p (tm)	$\Delta \sigma_p$ (daN/cm ²)	λ_f (cm)	α_f (mm)	ψ
GP 1-1	55,0	2202	14,5	0,110	0,620
GP 1-2	56,5	2913	15,5	0,130	0,519
GP 2-1	48,9	2411	13,9	0,100	0,537
GP 2-2	48,9	2171	12,8	0,090	0,582
GP 3-1	47,0	2192	13,4	0,120	0,736
GP 3-2	45,5	2239	13,8	0,120	0,699
GP 4	51,5	1543	10,05	0,095	-
GP 5	42,0	1210	10,65	0,062	0,866
GP 6	44,2	1768	9,7	0,065	0,682

Tabelul 5.34

Rezultatele comparative pentru elementele din etapa I și II

Element	$\Delta \sigma_p$	Relația propusă $\alpha_{p,0}$ baza																
		α_f^e (real)	α_f^t (mm/m)	$\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$	α_f^t (mm/m)	$\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$	α_f^t (mm/m)	$\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$	$\frac{1+\mu_f}{\psi \sqrt{g_0}/l_p}$	$\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$ (mm/m)	$\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$	Lloyd- Rejali- Keller	Heavy- Huang	GB- PL				
A1	2635	0,100	0,147	0,680	0,118	0,544	0,123	0,813	0,171	0,586	0,279	0,358	0,154	0,649	0,266	0,376		
A2	2635	0,130	0,147	0,807	0,118	0,544	0,120	1,082	0,169	0,769	0,279	0,466	0,154	0,844	0,269	0,434		
A3	1850	0,100	0,110	0,900	0,088	1,135	0,060	1,667	0,078	1,280	0,137	0,729	0,072	1,389	0,095	1,054		
A4	1850	0,108	0,108	1,000	0,087	1,240	0,074	1,459	0,072	1,510	0,137	0,788	0,072	1,500	0,095	1,140		
B1	2303	0,110	0,074	1,406	0,059	1,189	0,158	0,696	0,112	0,983	0,235	0,468	0,153	0,719	0,197	0,558		
B2	2303	0,139	0,074	1,804	0,059	1,491	0,133	1,038	0,111	1,243	0,235	0,587	0,153	0,902	0,196	0,703		
B3	1924	0,100	0,065	1,538	0,052	1,230	0,075	1,333	0,068	1,470	0,150	0,667	0,078	1,282	0,094	0,943		
B4	1908	0,095	0,083	1,142	0,066	0,629	0,080	1,188	0,063	1,510	0,150	0,633	0,077	1,234	0,094	1,007		
C3	1203	0,130	0,100	1,300	0,080	1,250	0,107	1,215	0,073	1,780	0,089	1,461	0,041	3,170	0,096	1,354		
C4	1203	0,133	0,110	1,210	0,088	1,245	0,093	1,430	0,073	1,821	0,089	1,494	0,041	3,240	0,096	1,356		
D3	3103	0,108	0,145	0,744	0,116	0,595	0,140	0,771	0,106	0,650	0,219	0,493	0,081	1,333	0,189	0,489		
U4	2120	0,104	0,063	1,650	0,050	1,320	0,136	0,765	0,105	0,990	0,148	0,702	0,067	1,552	0,121	0,856		
B11	1140	0,095	0,101	0,940	0,081	1,172	0,079	1,202	0,056	1,696	0,121	0,785	0,101	0,941	0,118	0,804		
B12	2103	0,095	0,096	0,989	0,077	0,791	0,141	0,674	0,115	0,830	0,223	0,426	0,137	0,693	0,206	0,519		
E21	1127	0,107	0,073	1,460	0,058	1,850	0,055	1,945	0,062	1,725	0,089	1,202	0,089	1,259	0,166	0,645		
E22	2000	0,115	0,080	1,440	0,064	1,800	0,149	0,772	0,122	0,942	0,157	0,732	0,116	0,991	0,222	0,517		
F11	2024	0,100	0,147	0,680	0,118	0,544	0,249	0,402	0,184	0,543	0,279	0,358	0,153	0,654	0,265	0,398		
F12	1438	0,105	0,081	1,295	0,072	1,458	0,068	1,544	0,097	1,082	0,153	0,686	0,114	0,921	0,099	1,095		
F21	3069	0,120	0,120	1,000	0,096	0,800	0,323	0,372	0,183	0,615	0,241	0,500	0,141	0,851	0,351	0,341		
G11	2218	0,105	0,110	1,050	0,089	0,840	0,267	0,393	0,188	0,558	0,236	0,445	0,141	0,745	0,218	0,482		
G12	2496	0,100	0,132	0,757	0,106	0,606	0,250	0,400	0,211	0,473	0,265	0,377	0,156	0,667	0,249	0,406		
G21	1562	0,100	0,061	1,640	0,056	1,783	0,100	1,000	0,162	0,617	0,123	0,813	0,102	0,900	0,183	0,548		
G22	1552	0,100	0,060	1,666	0,048	2,040	0,100	1,000	0,151	0,662	0,122	0,819	0,102	0,980	0,183	0,548		
OP1-1	2202	0,110	0,245	0,449	0,196	0,561	0,090	1,220	0,104	1,058	0,343	0,301	0,229	0,480	0,154	0,714		
OP																		
1-2	2913	0,130	0,324	0,401	0,259	0,501	0,190	0,684	0,150	0,867	0,453	0,284	0,254	0,512	0,209	0,622		
OP																		
2-1	2411	0,100	0,268	0,373	0,214	0,466	0,160	0,625	0,119	0,840	0,375	0,267	0,211	0,474	0,163	0,613		



PLG.5.43-5.45

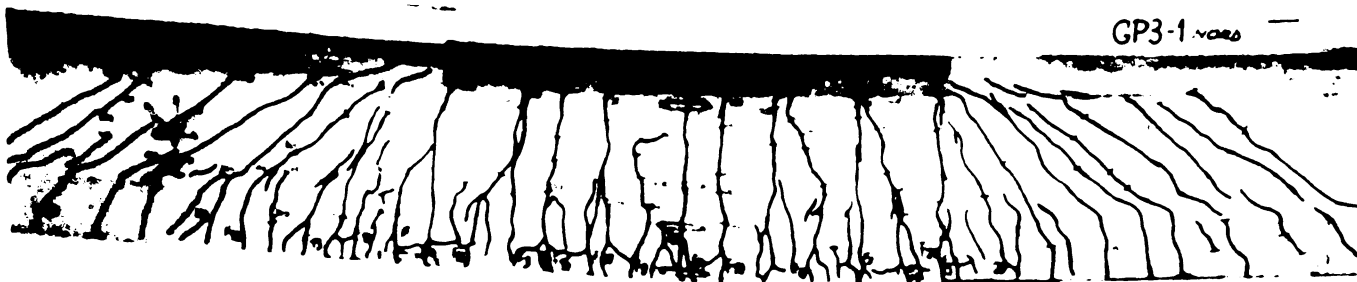
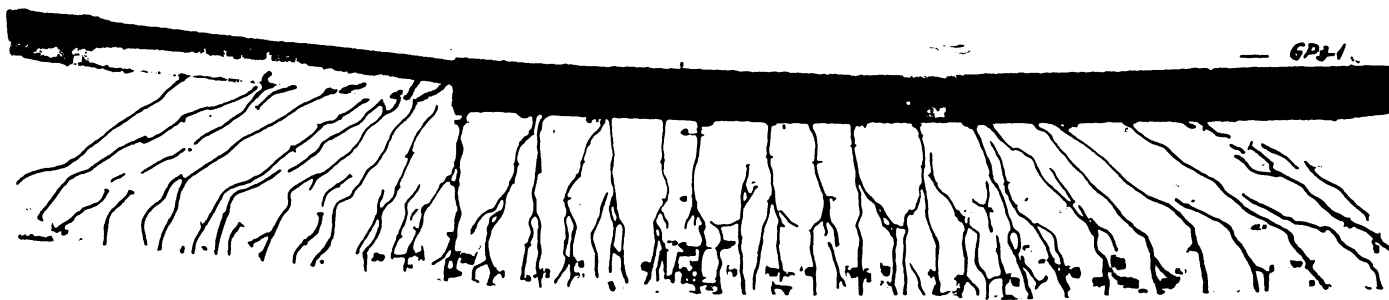
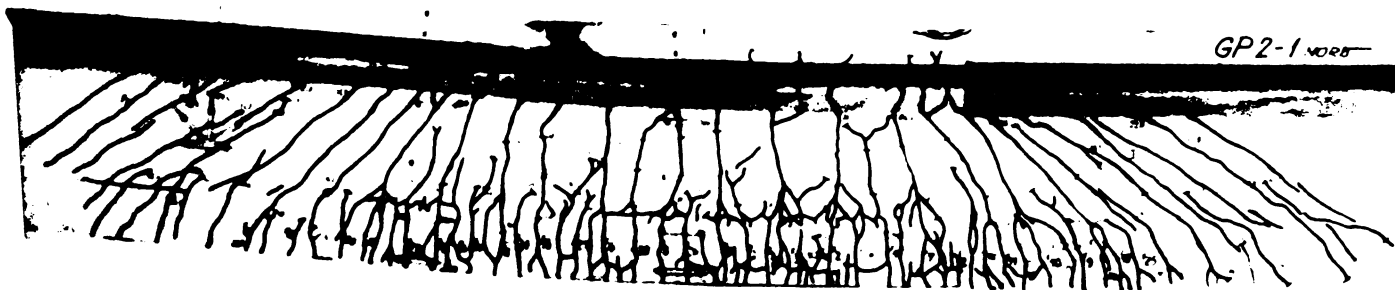
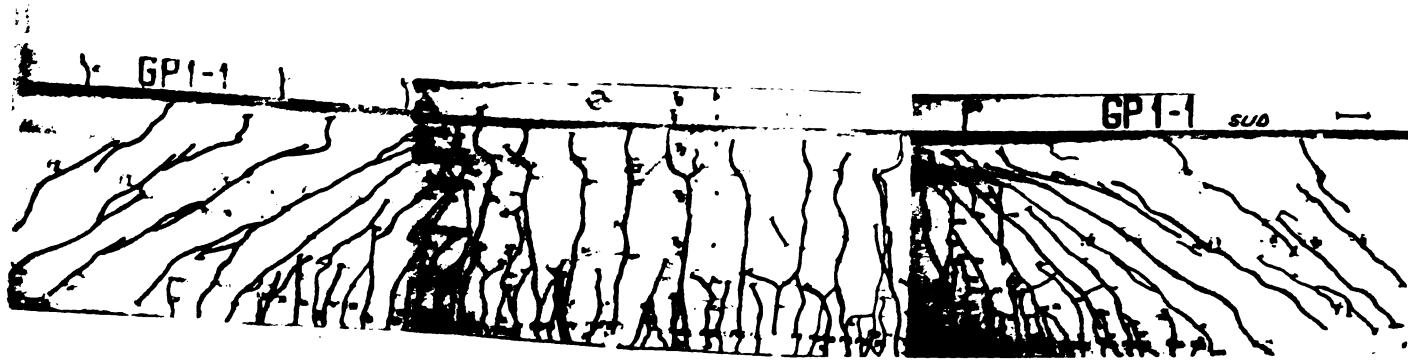


Fig. 5.48 - 5.50

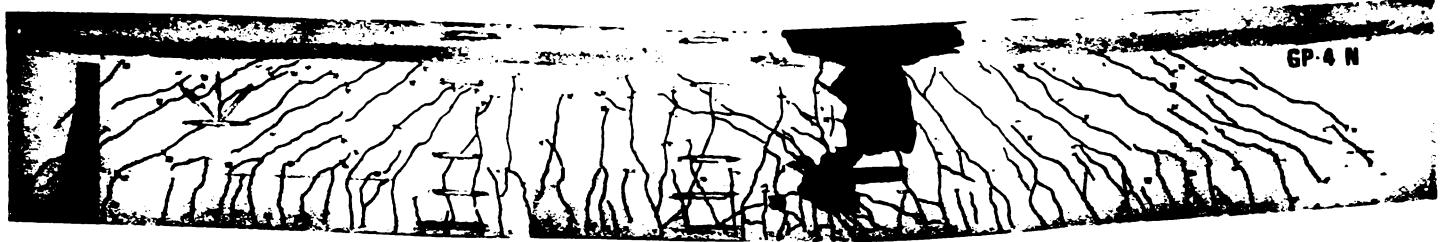
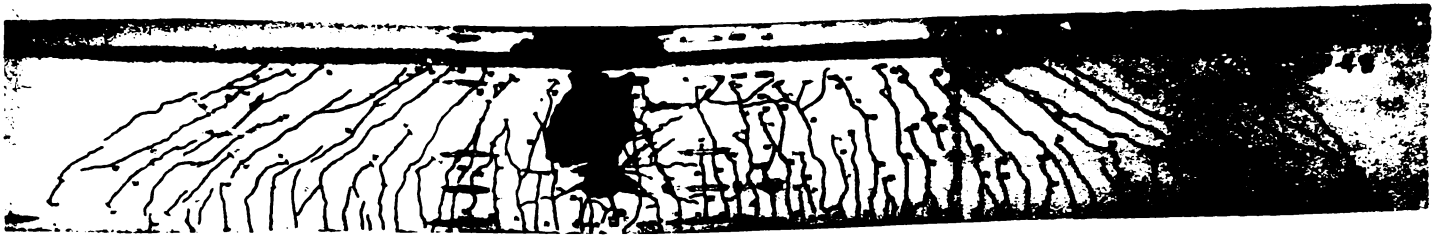


Fig.5.51 - 5.53

