

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII
CATEDRA DE BETON ARMAT ȘI CLĂDIRI

ing. SORIN PĂIUȘ

CONTRIBUȚII PRIVIND STUDIUL ADERENȚEI ȘI
INFLUENȚA EI ASUPRA PROCESULUI DE FISURARE
A ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT PRECOMPRESAT
CU ARMATURĂ PREÎNȚINSĂ DE TIPUL TOROANELOR

Conducător științific :

Prof.dr.doc.ing. IOAN FILIMON

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

T I M I Ș O A R A

- 1 9 7 7 -

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
Volume	344 820
Dulap	214 A

T A B L A D E M A T E R I E

PARTEA I STUDIU TEORETIC

INTRODUCERE

- Cap.1. PRIVIRE CRITICĂ ASUPRA TEORIILOR REFERITOARE LA
CONLUCRAREA BETONULUI CU ARMATURĂ
- 1.1. Natura și factorii care influențează conlucrarea
betonului cu armătura
 - 1.2. Repartiția eforturilor unitare de aderență
 - 1.3. Influența aderenței asupra fisurării elementelor din
beton armat și beton precomprimat cu armătură preîntinsă
- Cap.2. INFLUENȚA DIFERIȚILOR FACTORI ASUPRA FORMARII, APARI-
ȚIEI SI DESCHIDERII FISURILOR LA ELEMENTELE DIN BETON
ARMAT PRECOMPRIMAT
- 2.1. Comportarea la fisurare a elementelor din beton pre-
comprimat cu armătură aderentă
 - 2.2. Influența procentului de armare asupra procesului de
fisurare
 - 2.3. Influența mărimii efortului unitar din armătură și a
gradului de precomprimare asupra procesului de fisurare
 - 2.4. Considerații asupra stabilirii lungimii de transmitere
a eforturilor de pretensionare asupra betonului, la
elementele din beton precomprimat
- Cap.3. CONLUCRAREA BETONULUI CU ARMATURA LA ELEMENTELE DIN
BETON ARMAT PRECOMPRIMAT
- 3.1. Aspecte generale
 - 3.2. Influența diferiților factori asupra coeficientului de
conlucrare dintre beton și armătură
 - 3.3. Calculul coeficientului de conlucrare dintre beton și
armătură

PARTEA II STUDIU EXPERIMENTAL

- Cap.4. PROGRAMUL EXPERIMENTAL SI EFECTUAREA INCERCĂRILOR
- 4.1. Scopul programului experimental
 - 4.2. Programul experimental
 - 4.3. Pregătirea și efectuarea încercărilor experimentale

Cap.5. REZULTATELE INCERCARILOR EXPERIMENTALE

- 5.1. Studiul statistic al distanței dintre fisuri. Verificarea normalității distribuției dintre fisuri.
- 5.2. Ecuația liniilor de regresie ale distanței dintre fisuri în funcție de procentul de armare și diametru
- 5.3. Determinarea coeficientului β_f prin metode statistice
- 5.4. Studiul statistic al deschiderii fisurilor. Verificarea normalității deschiderii fisurilor
- 5.5. Corelația dintre deschiderea fisurilor și caracteristicile probelor.
- 5.6. Determinarea experimentală a parametrilor coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură ψ pe baza studiului statistic

Cap.6. SINTEZA SI CONCLUZII

BIBLIOGRAFIE

INTRODUCERE

Congresul al XI-lea al Partidului Comunist Român a elaborat programul de dezvoltare a societății noastre socialiste pentru următorii ani, program indisolubil legat de progresul științei, de intensificarea cercetărilor fundamentale și aplicative în toate ramurile. Dezvoltarea economiei noastre în următorii ani necesită un volum mare de investiții în domeniul construcțiilor, investiții care trebuie realizate folosind soluțiile constructive cele mai adecvate și materialele cu cea mai mare eficiență tehnico-economică.

Datorită avantajelor mari pe care le prezintă din punct de vedere tehnic și economic, betonul precomprimat este folosit din ce în ce mai mult în construcțiile civile și mai ales în cele industriale.

Elementele din beton precomprimat, în conformitate cu recomandările CEB-FIP, au fost clasificate din punct de vedere al fisurabilității în 3 clase și anume :

- clasa I, din care fac parte elementele din beton precomprimat integral. La aceste elemente nu se admit eforturi de întindere;
- clasa II, din care fac parte elementele din beton parțial precomprimat. La aceste elemente se admit eforturi de întindere, dar nu se admit fisuri;
- clasa III, din care fac parte elementele din beton armat precomprimat. Aceste elemente funcționează sub sarcinile de exploatare cu zona întinsă fisurată, ca și elementele din beton armat obișnuit.

În conformitate cu normativele românești de calcul /119/, elemente care funcționează cu zona întinsă fisurată sînt :

- a) elemente din clasa a IIa de fisurabilitate armate cu armături pretensionate tip SBP și TBP situate în medii fără agresivitate sau cu agresivitate slabă la care se limitează mărimea deschiderii fisurilor normale;
- b) elemente din clasa a IIIa de fisurabilitate armate cu armături pretensionate de tip PC care funcționează tot timpul cu zona întinsă fisurată.

Recomandările internaționale CEB-FIP ca și literatura tehnică străină de specialitate prevăd însă un domeniu mai larg de aplicare pentru elementele din clasa a III-a de fisurabilitate și anume, elementele din beton armat precomprimat. De asemenea, o aplicare tot mai largă o au elementele din beton precomprimat cu

armătură pasivă, care fac parte din clasa a III-a de fisurabilitate.

Sub denumirea de beton armat precomprimat considerăm ca făcând parte toate elementele din beton precomprimat care la o anumită stare de eforturi prezintă fisuri în zona întinsă.

Pentru elementele din beton armat precomprimat o importanță deosebită o are calculul la starea limită de deschidere a fisurilor în scopul limitării mărimii lor.

Procesul formării, apariției și deschiderii fisurilor la elementele din beton armat precomprimat diferă de cel al elementelor din beton armat obișnuit, depinzând atât de condițiile specifice de aderență, cât și de tipul armăturii, de repartizarea armăturii în secțiunea transversală a elementului și de gradul de precomprimare.

Pornind de la teoria generală a fisurării elementelor din beton armat precomprimat și a calculului mărimii deschiderii fisurilor, în lucrare se pune în evidență influența diferiților parametri asupra procesului de fisurare la aceste elemente, insistându-se asupra aderenței. Acesta este principalul parametru care influențează distanța dintre fisuri, precum și mărimea deschiderii fisurilor.

Elementele încercate în lucrare sînt grinzi din beton armat precomprimat cu armătură preîntinsă de tipul toroanelor, avînd grade diferite de precomprimare ($\bar{\sigma}_0/R_p^n = 0; 0,3; 0,5$ și $0,7$).

Folosirea armăturilor de tipul toroanelor s-a făcut cu scopul de a se extinde domeniul de aplicare a elementelor din clasa a III-a de fisurabilitate.

Elementele din beton parțial precomprimat pot fi realizate fie prin folosirea cu exclusivitate a oțelurilor superioare, fie prin folosirea asociată a oțelurilor semidure, cu armături pasive, cu oțeluri superioare, ca armături active. Principalele teorii și concepții de realizare aparțin cercetătorilor Abeles /1/, Guyon /39/ ș.a.

Concepția lui Abeles de realizare a precomprimării parțiale prin folosirea cu exclusivitate a oțelurilor superioare are două variante :

- oțelurile superioare sînt tensionate la un efort unitar mai mic decît cel necesar unei precomprimări totale, astfel încît, sub sarcinile maxime ce apar ocazional, să poată apărea eforturi de întindere în beton, respectiv fisuri cu deschideri limitate;

- numai o parte din oțelurile superioare ale elementului sînt tensionate.

Stadiul limită de rupere este cel care determină pentru un element secțiunea totală de armătură; stadiul limită de fisurare determină gradul de precomprimare, starea limită de deformație fiind cea care determină rigiditatea elementului.

A doua concepție de realizare a precomprimării parțiale - betonul armat precomprimat - urmărește întrunirea într-un singur element a avantajelor betonului armat cu cele ale betonului precomprimat.

Armătura pasivă, alcătuită din oțel obișnuit, conferă betonului proprietăți de preluare a alungirilor, în timp ce armătura activă, alcătuită din oțel superior, micșorează alungirile betonului sub efectul sarcinilor, astfel încît se pot aplica elementului sarcini net mai mari decît unui element similar din beton armat.

Această concepție de realizare a precomprimării parțiale, care utilizează în modul cel mai rațional proprietățile ambelor tipuri de oțel, ar corespunde în mare măsură condițiilor concrete din țara noastră.

Pentru betonul armat precomprimat, determinarea și limitarea deschiderii fisurilor constituie problema fundamentală. Limitarea deschiderii fisurilor este guvernată în primul rînd de riscul coroziunii, care constituie principala cauză pentru care betonul precomprimat are un regim diferit de cel al betonului armat; oțelurile de diametre mici, supuse la eforturi ridicate, sînt mult mai sensibile la coroziune.

Problema principală tratată în lucrare este studiul aderenței și influența acesteia asupra procesului formării, apariției și deschiderii fisurilor la elementele de beton armat precomprimat cu armătură preîntinsă alcătuită din toroane.

În lucrare sînt stabilite relații de calcul pentru coeficientul de conlucrare dintre beton și armătură ψ care ține seama de o serie de factori nestudiați pînă acum și anume: lucrul betonului întins dintre fisuri și deasupra lor, precum și gradul de precomprimare.

Actualele normative românești /119/ nu țin seama de factorii enumerați mai sus și stabilesc pentru acest coeficient valoarea 1, ceea ce duce la un calcul aproximativ al mărimii deschiderii fisurilor.

Formulele stabilite în lucrare duc la un calcul mai exact confirmat de rezultatele teoretice și experimentale obținute în cadrul unui contract de cercetare încheiat între Catedra de Beton armat și clădiri din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara și INCERC București (fără din planul de cercetare CAER 5.5.2.5.), elaborându-se în acest sens recomandări de proiectare, încheiate, în faza finală, cu instrucțiuni de calcul.

Lucrarea cuprinde două părți :

- partea I (studiu teoretic), cu 3 capitole;
- partea a II-a (studiu experimental), cu 2 capitole.

În cadrul studiului teoretic se face o privire critică asupra teoriilor referitoare la conlucrarea betonului cu armătura (cap.1).

Se tratează natura fenomenului de aderență, insistându-se asupra efectului de pană. Factorii care influențează aderența au fost grupați în 4 categorii : factori relativi la beton, la armătură, la modul de solicitare sau tipul de încercare și la geometria epruvetelor. Se descrie repartiția eforturilor unitare de aderență, transversal și în lungul armăturii, precum și ecuațiile diferențiale ale conlucrării. Tot în capitolul 1 se tratează despre influența aderenței asupra fisurării elementelor din beton armat și beton precomprimat cu armătură aderentă. Capitolul se încheie cu descrierea stadiilor de lucru la aderență.

În capitolul 2 se tratează influența diferiților factori asupra formării, apariției și deschiderii fisurilor la elementele din beton armat precomprimat. Se analizează comportarea la fisurare a elementelor din beton precomprimat cu armătură aderentă. Se tratează apoi influența procentului de armare, a mărimii efortului unitar și a gradului de precomprimare asupra procesului de fisurare. Se fac apoi câteva considerații privind stabilirea lungimii de transmitere a eforturilor de pretensionare asupra betonului la elementele din beton precomprimat.

În capitolul 3 se tratează conlucrarea betonului cu armătura la elementele din beton armat precomprimat. Se studiază natura coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură ψ , precum și influența diferiților factori care influențează valoarea lui ψ . Astfel, se studiază aportul zonei întinse de beton dintre fisuri, precum și aportul betonului întins deasupra fisurilor, stabilindu-se o serie de relații.

Partea a II-a cuprinde programul experimental. După ce se prezintă scopul programului experimental, se descrie programul experimental și modul de efectuare a încercărilor experimentale.

În capitolul 5 sînt prezentate rezultatele încercărilor experimentale. Se face un studiu statistic al distanței dintre fisuri la grinzi încercate. Se stabilesc apoi liniile de regresie $\lambda_f = f\left(\frac{d}{\mu}\right)$. Se determină coeficientul β_f pe baza studiului statistic. Se face apoi un studiu statistic al deschiderii fisurilor. Se stabilește apoi o corelație între deschiderea fisurilor și caracteristicile probelor. Capitolul 5 se încheie cu un paragraf privind determinarea experimentală a parametrilor coeficientului de conlucrare între beton și armătură ψ pe baza studiului statistic.

În ultimul capitol al lucrării (6) sînt redată concluziile ce rezultă în urma studiului teoretic și experimental și se fac propuneri pentru proiectarea economică.

Relațiile stabilite în lucrare sînt accesibile pentru proiectare și conduc la rezultate destul de exacte față de rezultatele experimentale.

Prin rezultatele teoretice și experimentale obținute se completează un gol în domeniul studiilor teoretice și experimentale referitoare la aderența dintre beton și armătură de tipul toroanelor, precum și al influenței acestora asupra procesului de formare, apariție și deschidere a fisurilor la elementele din beton armat precomprimat.

PARTEA I STUDIU TEORETIC

Cap.1. PRIVIRE CRITICA ASUPRA TEORIILOR REFERITOARE LA CONLUCRAREA BETONULUI CU ARMATURA.

1.1. Natura și factorii care influențează conlucrarea betonului cu armatura.

Natura complexă a fenomenului de aderență determină dependența acestuia de o mulțime de factori. Dacă influența unor factori nu lasă nici o îndoială, nu este întotdeauna ușor a determina corect această influență, pe de altă parte, este greu de pus în evidență separat influența certă a fiecărui factor, deoarece fie că acționează împotriva aderenței, fie că există o influență directă unul asupra altuia.

Factorii care influențează conlucrarea betonului cu armătura pot fi grupați în 4 categorii și anume :

- factori relativi la beton (marca betonului, raportul A/C, compoziția mineralogică a cimentului, agregatele, punerea în operă a betonului, tasarea betonului, condițiile de întărire a betonului, vârsta betonului, etc.);
- factori relativi la armătură (calitatea suprafeței barelor, diametrul barelor, tipul profilului de bară, lungimea de ancorare, armătura transversală : etrieri și freta);
- factori relativi la modul de solicitare sau tipul de încercare (natura solicitării, durata și repetarea încărcării, viteza de încărcare, încărcări alternante);
- factori relativi la geometria epruvetelor (forma și dimensiunile epruvetei, grosimea și calitatea acoperirii barelor, distanța dintre bare, condițiile de turnare a epruvetelor).

Pentru a explica natura aderenței dintre armătură și beton, s-au făcut o serie de studii și cercetări, încă în secolul trecut : Bauschinger (1887), Todesco (1894). Ele au fost continuate apoi de Bach, Graff, Glanville, Nakken, Emperger, Bichara etc. La noi în țară problema aderenței a fost abordată în lucrările lui Vasilescu-Karpen, Gogu Constantinescu, Mihail Hangan, V.Nicolau ș.a.

Primele încercări efectuate au explicat fenomenul de aderență prin interacțiunea a două cauze și anume : capacitatea de încliere a pastei de ciment pe suprafața barei și frecarea barei în beton datorită eforturilor radiale de compresiune pe suprafața barei, provocate de contracția betonului.

Alți cercetători au considerat că aderența este asigurată numai de contracția betonului (Glanville, Vasilescu-Karpen) sau numai de contracție și forțele capilare (Nakken).

Aceste concluzii au fost contestate de încercările efectuate de Bach pe elemente păstrate în mediu umed, arătându-se că aderența este mai mare la aceste elemente decât la cele similare păstrate în mediu uscat.

Pe baza studiilor și cercetărilor experimentale se poate afirma că aderența dintre beton și armătură este asigurată prin : încliere, înclăstare, frecare și efectul de pană în cazul elementelor precomprimate.

Incleierea reprezintă adeziunea moleculară a pastei de ciment la armătură. La suprafața de contact dintre armătură și beton se dezvoltă, datorită componentelor gelice ale pastei de ciment, în perioada de priză și întărire a betonului, o serie de procese fizico - chimice, între care procesul de absorbție are un rol important. Acest proces constă în acoperirea suprafeței armăturii cu moleculele din gelurile pastei de ciment, atât în perioada de punere în operă, cât și în timpul prizei betonului. Efectul încleierii este în funcție de compoziția betonului, natura suprafeței barelor și condițiile de întărire. Incleierea influențează aderența pînă în momentul începerii lunecării barei în beton, după care practic se poate considera nulă.

Incleștarea reprezintă conlucrarea între beton și armătură și este asigurată de pătrunderea pastei de ciment și a betonului în neregularitățile suprafeței armăturilor și constituie factorul esențial care explică aderența dintre armătură și beton. Efectul încleștării este funcție de dimensiunile neregularităților de pe suprafața barei. Barele cu profil periodic au o încleștare mai bună decît barele rotunde, care prezintă neregularități superficiale din laminare.

Frecarea dintre armătură și beton, în timpul smulgerii barei, constituie una din cele mai vechi explicații date aderenței, ca urmare a modificărilor de volum ce au loc în procesul de întărire a betonului în timp. Efortul unitar de aderență, datorită frecării, crește, în momentul în care bara începe să lunece în beton. În afara modificărilor de volum, frecarea poate fi atribuită și efectului de împănare pe care-l manifestă armătura în momentul începerii lunecării.

Referitor la mecanismul aderenței dintre armătură și beton se poate trage următoarele concluzii :

- încleierea pastei de ciment pe armătură acționează simultan cu încleștarea, iar efectul său dispare în momentul începerii lunecării barei în beton;
- încleștarea este cu atât mai importantă, cu cât neregularitățile suprafeței barelor sînt mai pronunțate;
- frecarea armăturii în beton se manifestă atât înainte, cât și după lunecarea barei în beton, cînd mai poate asigura aderența în proporție de 50-70 %;

- alunecarea armăturilor în beton este însoțită de microfisuri transversale pe armătură;
- contracția betonului nu influențează decît în mică măsură aderența armăturii cu betonul.

În afara încleierii, încleștării și frecării, fenomene care apar și la armătura pasivă a elementului din beton armat, lunecarea spre interior în beton a armăturii preîntinse este împiedicată și de efectul de pană, care se produce imediat după transfer, prin revenirea armăturii preîntinse, la capetele ei, la diametrul inițial d ; umflarea armăturii produce presiuni normale pe suprafața de contact, respectiv forțe de frecare care se opun tendinței de intrare a armăturii în beton. Presiunile normale sînt maxime la transfer; ele se realizează parțial cu timpul, datorită fenomenului de curgere lentă; în schimb, influența încleierii, contracției betonului și încleștării crește cu timpul, ca urmare a procesului de hidratare a cimentului și întărire a betonului (fig.I.1).

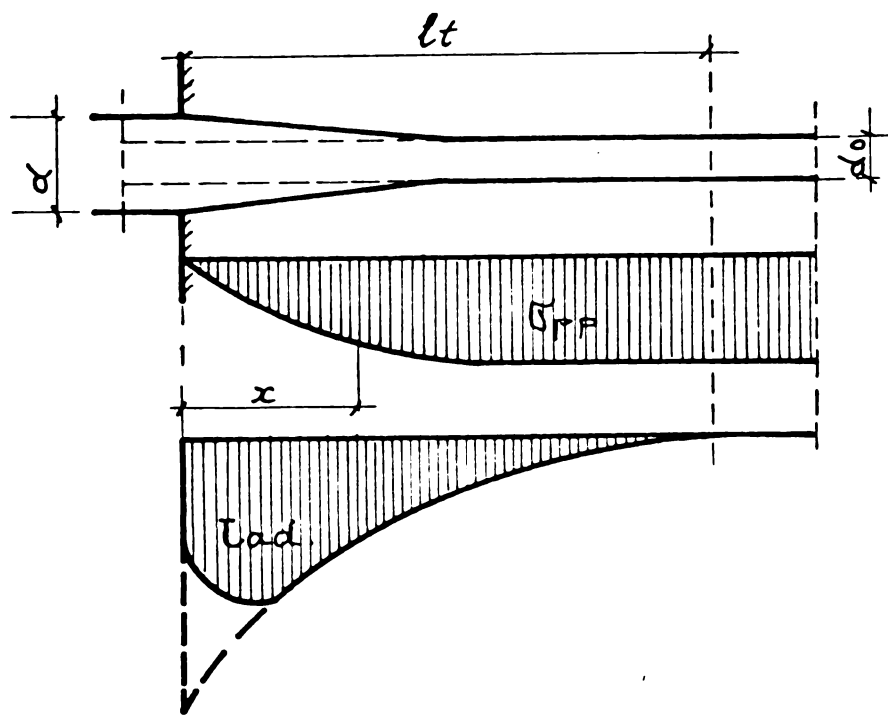


FIG. I. 1

Fretea are un rol important în sporirea aderenței, datorită repartizării eforturilor unitare de aderență în beton. În primul rînd, datorită contracției, se va produce o anumită scădere a rezistenței de întindere a betonului. Această scădere de rezistență poate fi micșorată sau anulată de prezența fretei. Explicația principală trebuie căutată în împiedecarea fisurării betonului, la de-

plasarea armăturilor. După deplasarea armăturilor, aderența continuă să crească prin împănarea vergelelor în beton. Această împănare poate duce la fisurarea betonului, care însă va fi redusă, prin prezența fretei.

Factorii care influențează aderența armăturii cu betonul.

Analiza naturii aderenței precum și a repartizării eforturilor unitare în armătură, în beton și la suprafața de contact dintre armătură și beton demonstrează complexitatea fenomenelor și a factorilor care intervin în asigurarea aderenței armăturii cu betonul pînă în momentul pierderii capacității portante a elementului.

Influența acestor factori se manifestă în felul următor :

- Cimentul influențează aderența prin dozaj, marcă și compoziție mineralogică. Aderența crește cu mărirea dozajului de ciment. Cimenturile cu compoziție mineralogică în care predomină produșii gelici de hidratare sau cu adao-suri hidraulice și active, asigură o conlucrare mai bună a armăturii cu betonul. Conținutul ridicat de geluri permite o înclieiere mai bună și o plasticizare mai avansată a pietrei de ciment și implicit o repartizare mai uniformă a eforturilor unitare de aderență înainte de smulgerea barei.
- Factorul A/C reduce aderența pe măsura creșterii sale. Diminuarea aderenței se explică prin reducerea rezistenței betonului, datorită formării unor lentile de apă sub bare.
- Agregatele influențează aderența în măsura în care influențează și rezistența betonului.
- Punerea în operă a betonului influențează ancorarea armăturii în beton. O compactare mecanică, o înglobare perfectă a barei în beton, un contact mai intim între armătură și mortar asigură o înclieiere superioară.
- Tasarea betonului influențează aderența în funcție de poziția barelor în timpul turnării. La turnarea betonului în elemente cu armătura în poziție orizontală, sedimentarea și tasarea betonului conduc la formarea de pungi de apă sau pori de dimensiuni mari sub bare, constituind un strat izolator între beton și suprafața barei. La elementele cu armătura verticală, unde nu se manifestă efectul

- tasării betonului, aderența este de două ori mai mare decât la elementele cu armătura orizontală.
- Temperaturile negative influențează aderența armăturii cu betonul în timpul întăririi betonului. Scăderea temperaturii sub 0°C reduce aderența. Înghețul întrerupe hidratarea cimentului și implicit întărirea betonului, fenomene care se reactivizează după ce betonul capătă temperaturi pozitive. Aderența finală scade cu atât mai mult, cu cât vârsta la care a înghețat betonul a fost mai redusă.
 - Vârsta betonului influențează aderența în aceeași măsură în care influențează rezistența betonului la întindere R_t .
 - Viteza de încărcare a armăturii se reflectă de asemenea asupra aderenței, în sensul că aderența crește cu cât viteza de încărcare este mai mare. Întrucât aderența este funcție de microfisurarea betonului înconjurător, aplicarea rapidă a încărcării nu permite formarea microfisurilor, mărinđ aderența. Sub acțiunea unei încărcări aplicate lent sau în cazul încărcărilor de durată, are loc dezvoltarea microfisurilor în beton, precum și a curgerii lente în zona de contact, avînd ca efect o scădere a rezistenței la întindere și, evident, a aderenței.
 - Încărcările alternante micșorează aderența armăturii cu betonul. Ciclurile repetate de încărcare - descărcare distrug parțial aderența, armătura lunecînd în beton. Scăderea aderenței sub acțiunea ciclurilor repetate de încărcare - descărcare se explică prin microfisurarea betonului în jurul barei și lunecarea armăturii în beton.
 - Stratul de acoperire a armăturii asigură transmiterea efortului între armătură și beton în procesul de încărcare a elementelor portante. Stratul de acoperire trebuie să fie cu atât mai gros, cu cât diametrul armăturilor de rezistență este mai mare.
 - Natura solicitării se reflectă sensibil asupra aderenței dintre armătură și beton. Încercările experimentale au arătat că aderența la întindere este mai redusă decât aderența la compresiune. Explicația constă în faptul că barele comprimate, mărinđu-și diametrul sub acțiunea unui anumit efort unitar σ_a , presează asupra betonului încon-

jurător și măresc frecarea dintre armătură și beton. La întindere, prin micșorarea diametrului la suprafața de contact, apar eforturi radiale de întindere care micșorează în mod corespunzător aderența.

- Calitatea suprafeței barelor mărește aderența cu cât suprafața este mai rugoasă, crescînd efectul încleștării, prin : neregularitățile provenite din laminarea barelor, rugina aderentă, pojghița de laminare și profilul periodic al suprafeței barelor.
- Armarea transversală sub formă de fretă mărește aderența dintre armătură și beton prin împiedicarea deformării transversale a betonului, în special în cazul barelor cu profil periodic. Prin încleștarea betonului în renurile transversale ale barei, efortul din bară dă naștere în beton nu numai la forfecare și compresiune locală, ci și la eforturi de întindere. Pericolul de despicare a betonului, sub acțiunea acestor eforturi, este cu atît mai pronunțat, cu cît grosimea stratului de acoperire a barei cu beton este mai redusă.

La elementele cu armătura preîntinsă, unde ancorarea armăturii se face în mod obișnuit prin aderență, o importanță deosebită o are lungimea de transmitere și zona de transmitere. Lungimea de transmitere este lungimea necesară transmiterii prin aderență la transfer, a întregii forțe de precomprimare de la armătura pretenționată la beton, iar zona de transmitere este porțiunea dintr-un element precomprimat, pe lungimea căreia forța de precomprimare se difuzează pe întreaga secțiune transversală și la capătul căreia eforturile unitare locale devin neglijabile, distribuția eforturilor unitare normale putînd fi considerată liniară.

Mărimea aderenței depinde de natura suprafeței armăturii, de diametrul ei, de rezistența betonului la transfer și de condițiile de întărire, de forma secțiunii elementului, de numărul și poziția armăturilor în secțiune, de armătura transversală etc.

În zonele de transmitere de la capetele elementelor din beton precomprimat se prevede în mod obișnuit o armare transversală bidimensională, care mărește rezistența betonului la compresiune locală sub ancoraj și preia eforturile transversale de întindere ce ar putea fisura longitudinal betonul, în planul armăturilor sau între armături.

Pentru elementele cu armătură preîntinsă ancorată prin aderență, armarea transversală a zonelor de transmitere este destul de simplă, efortul de precomprimare avînd valoarea zero la capătul elementului și crescînd progresiv, pînă la valoarea maximă pe lungimea de transmitere (fig.I.2).

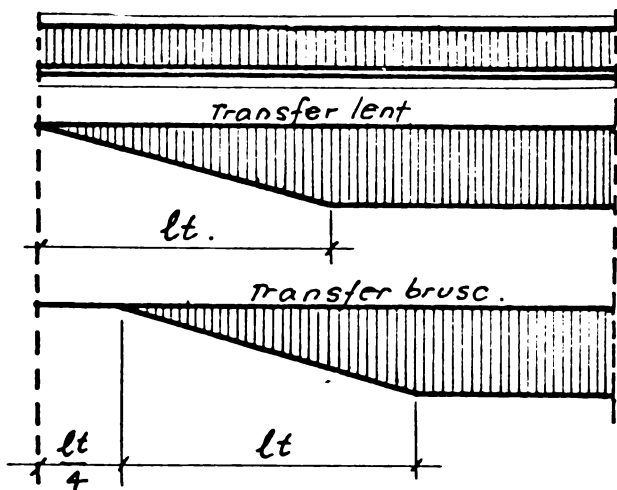


FIG. I. 2

La capătul elementului, pe o lungime egală cu $l_t/4$, se dispun suplimentar (față de armătura transversală constituită din etrieri închiși dispuși pe toată lungimea elementului) 3 ... 5 armături transversale sub formă de etrieri închiși, carcace, frete sau grătare.

Dacă se folosesc armături pretensionate din bare PC 90 cu diametrul $d > 16$ mm, atunci se prevăd în mod obligatoriu în jurul fiecărei bare, pe lungimea $10 d$ frete realizate din

oțel-beton cu diametrul de 6 ... 8 mm și pasul de 30 ... 50 mm. Pe restul zonei de transmitere se prevăd armături transversale sub formă de etrieri închiși sau carcace din bare cu diametrul de 6...8 mm, la distanța de maximum 150 mm.

În cazul elementelor din beton precomprimat cu sîrme preîntinse SBPA I și avînd secțiuni transversale de dimensiuni reduse, se poate renunța la prevederi de armături transversale.

Zonele de transmitere ale elementelor din beton precomprimat se verifică la :

- compresiune locală sub fiecare ancoraj, pentru armăturile pretensionate prevăzute cu ancoraje la capete;
- fisurare în planul fiecărei armături pretensionate;
- fisurare între armături sau grupuri de armături (armături preîntinse) și între ancoraje (armături postîntinse).

1.2. Repartiția eforturilor unitare de aderență.

Conlucrarea monolită dintre armătură și beton are ca efect transmiterea treptată a eforturilor de la armătură la beton prin intermediul aderenței.

Eforturile unitare transmise de la armătură la beton nu se repartizează uniform în masa acestuia, valoarea efortului unitar

depinzînd de un complex de factori.

Repartizarea eforturilor unitare de aderență transversal armăturii

Gradul de antrenare a betonului de o bară solicitată la un efort unitar $\hat{\sigma}_a$, este funcție de modul de dispunere a armăturii în secțiune și de distanța de la armătură la punctul considerat.

Datorită tasării betonului la barele betonate în poziție orizontală, se realizează la partea inferioară un gol (umplut cu apă) din cauza căruia efortul de aderență scade simțitor.

În cazul unei bare întinse acționînd în centrul unei secțiuni de beton, acesta se deformează pe o anumită zonă, limitată de raza r_0 , denumită rază de acțiune sau zonă de influență (fig.I.3).

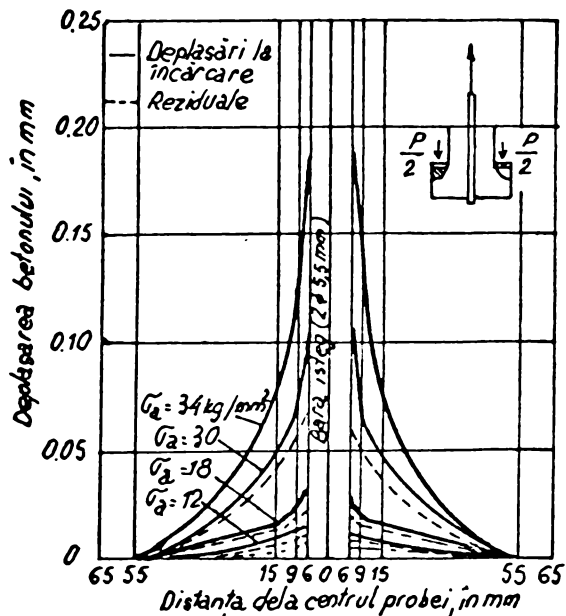


FIG. I. 3.

Betonul este puternic antrenat în deformație în imediata vecinătate a armăturii, însă deformația scade odată cu creșterea distanței.

La o anumită distanță r_0 de armătură, deformația betonului este nulă, indiferent de valoarea efortului unitar din armătură.

Pornind de la condiția de echilibru a forțelor în zona de interacțiune :

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} \hat{\sigma}_a = \alpha \pi \left(r_0^2 - \frac{d^2}{4} \right) \hat{\sigma}_{t_0} \quad (I.1)$$

$\hat{\sigma}_{t_0}$ este efortul unitar maxim în beton,

iar :

$$\alpha = \frac{\hat{\sigma}_{tm}}{\hat{\sigma}_{t_0}} \leq 0,5$$

rezultă valoarea lui r_0 :

$$r_0 = \frac{d}{2} \sqrt{1 + \frac{2\hat{\sigma}_a}{\hat{\sigma}_{t_0}}} \quad (I.2)$$

Admițînd la limită

$$\hat{\sigma}_{t_0} = R_t \quad \text{și} \quad \bar{E}_t = 0,1 \cdot 10^{-3}$$

expresia lui r_0 din relația (I.2) devine :

Handwritten notes: 344 825, 44, A

$$r_0 = \frac{d}{2} \sqrt{1 + \frac{420}{R_t}} \quad (I.3)$$

Rezultă că raza de acțiune (zona de influență) a armăturii este funcție de rezistența și deformația limită a betonului la întindere, precum și de diametrul barei.

De asemenea rezultă că zona de influență scade, cu creșterea mărcii betonului, și că pentru mărci obișnuite de betoane, r_0 este egal cu (3 ... 4) d.

Dacă în secțiunea de beton sînt diapuse mai multe bare, pentru analiza stării de eforturi în secțiune, se poate admite suprapunerea de efecte (fig.I.4).

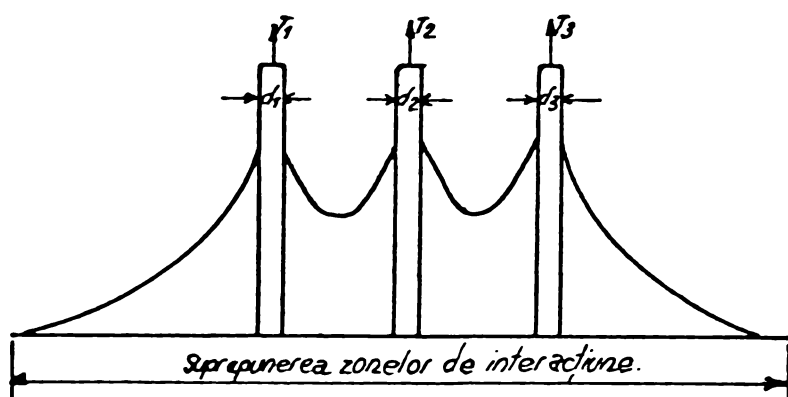


FIG. I.4.

În acest caz, se introduce o caracteristică constructivă a betonului armat și anume raza de armare r_a , care se determină cu relația :

$$r_a = \frac{A}{\sum n_i \cdot d_i} \quad (I.4)$$

în care :

A - suprafața zonei întinse a secțiunii elementului, limitată de conturul secțiunii sau de raza de ac-

țiune r_0 ; n_i - numărul de bare; d_i - diametrul barelor.

Valoarea razei de armare interesează în special pentru procesul de dezvoltare a fisurilor în acele secțiuni la care dimensiunile sînt sensibil diferite de dimensiunile zonei de interacțiune.

Repartizarea eforturilor de aderență în lungul armăturii.

Pentru calculul deschiderii fisurilor, este necesar să se cunoască epura distribuției eforturilor unitare de aderență în lungul barei. Această repartiție este variabilă, depinzînd atît de mecanismul aderenței, de deformarea masivului de beton, cît și de repartizarea corespunzătoare a eforturilor unitare.

În elementul de beton armat se produc tensiuni, datorită armăturii, care împiedică contractia betonului simplu. De asemenea, agregatele joacă și ele rolul de frînă în mortar și beton, micșorînd deformațiile libere ale pietrei de ciment, dar produc în ace-

lași timp tensiunii. Prezența armăturilor accentuează acest fenomen.

Variația eforturilor σ_x și τ_x

Modul de variație a eforturilor unitare σ_x în armătura de rezistență a stat în atenția mai multor cercetători, dintre care amintim pe : Glanville, Emperger, Guyon, Brice, Garay, Bernander, Amsturz ș.a.

Dacă la început, diagramele de variație a eforturilor unitare σ_x s-au determinat pentru încercări pînă aproape de ruperea elementului, cercetările ulterioare au analizat procesul de variație a eforturilor din momentul încercării pînă în momentul smulgerii armăturii.

În fig.I.5 sînt prezentate rezultatele încercărilor efectuate de Garay.

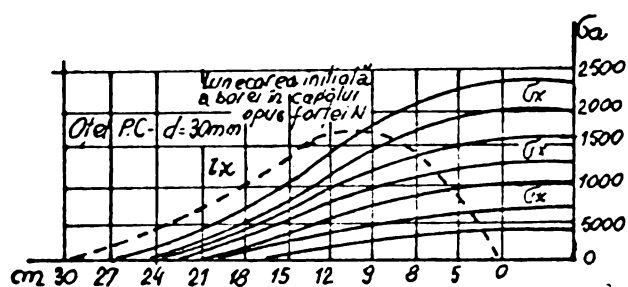


FIG. I.5.

Bernander concluzionează, pe baza încercărilor efectuate, că natura suprafeței barelor influențează variația lui τ_x , modificându-se odată cu creșterea efortului unitar din armătură (fig.I.6).

Amstutz ajunge la aceleași concluzii și arată că pînă la lunecarea barei în beton, diagrama σ_x către capătul barei, are o formă concavă, și după lunecare, o formă convexă.

Din analiza rezultatelor încercărilor experimentale rezultă că forma diagramelor σ_x și τ_x în lungul barei este funcție de starea de eforturi și deformații care se dezvoltă la suprafața de contact dintre armătură și beton.

O serie de cercetători, printre care Stolerov, Dimitriev, consideră aderența ca rezultat al frecării dintre

armătură și beton. Sub acțiunea forței N , care acționează în armătură la suprafața de contact dintre armătură și beton, se dezvoltă eforturi unitare de aderență τ_x care se opun lunecării armăturii în beton (fig.I.7).

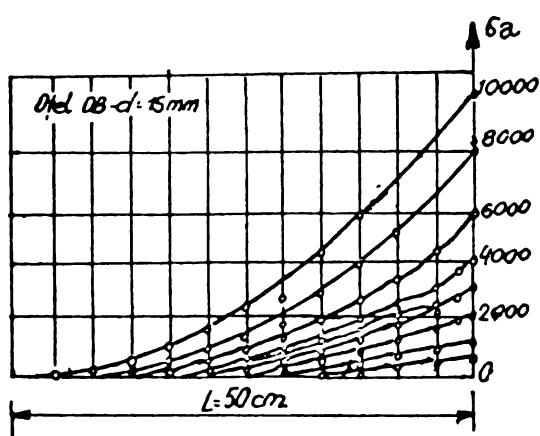


FIG. I.6.

Prin intermediul aderenței, eforturile din armătură se transmit la betonul care înglobează bara. Rezultă că τ_x va crește pe măsură ce crește efortul unitar σ_x și că între ele se poate stabili o relație analitică.

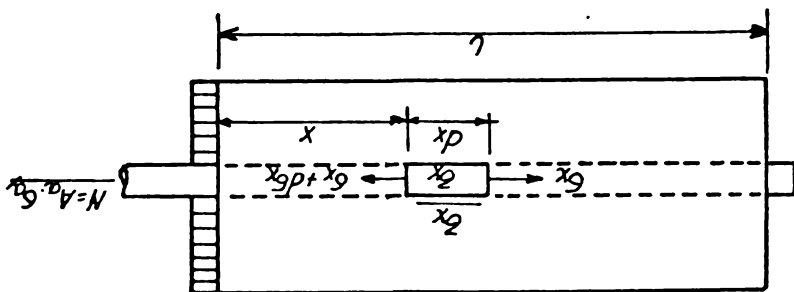


FIG. I.7

Considerînd că, sub acțiunea efortului de întindere, diametrul barei se micșorează și, implicit, se reduc și eforturile

unitare de aderență.

Intre τ_x și σ_x se poate stabili o relație de forma :

Intre τ_x și σ_x se poate stabili o relație de forma :

$$\tau_x = \tau_0 - k \cdot \sigma_x \quad (I.5)$$

In fig. I.8 sînt prezentate diagramele de variație σ_x și τ_x pe lungimea de ancoraj l .

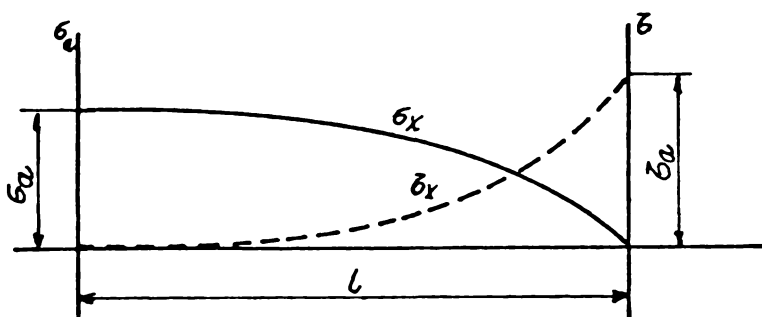


FIG. I.8.

Alți cercetători, dintre care amintim pe Brice, Guyon, determină variația eforturilor unitare σ_x și τ_x în funcție de deplanarea secțiunii de beton, considerînd că nu este posibilă lunecarea armăturii în beton (fig. I.9).

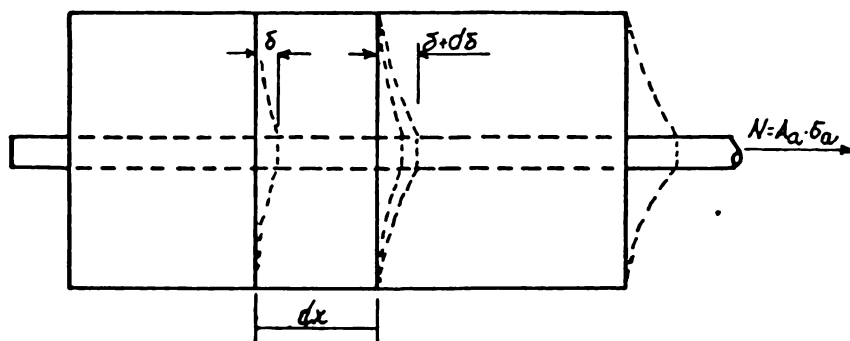


FIG. I.9.

Se consideră că efortul de aderență este proporțional cu deplasarea maximă a betonului în secțiunea transversală la fața de contact cu armătura:

$$\tau_x = k \cdot \delta \quad (I.6)$$

Diagrama de eforturi

σ_x și τ_x este prezentată în figura I.10.

O a treia categorie de cercetători, printre care Ahverdov, Garay, calculează eforturile unitare de aderență dintr-o ecuație de echilibru folosind diagrama reală σ_x , determinată pe cale experimentală, prin măsurători directe.

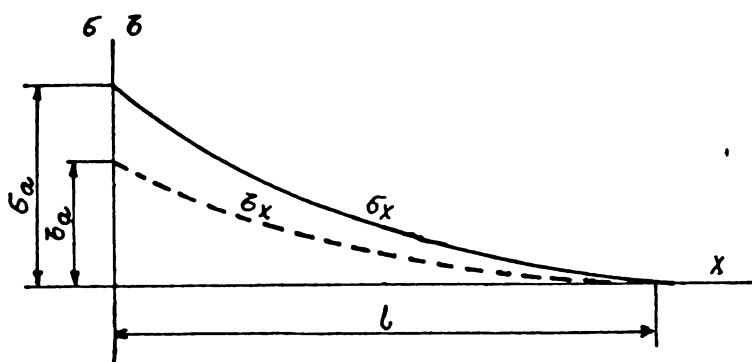


FIG. I. 10.

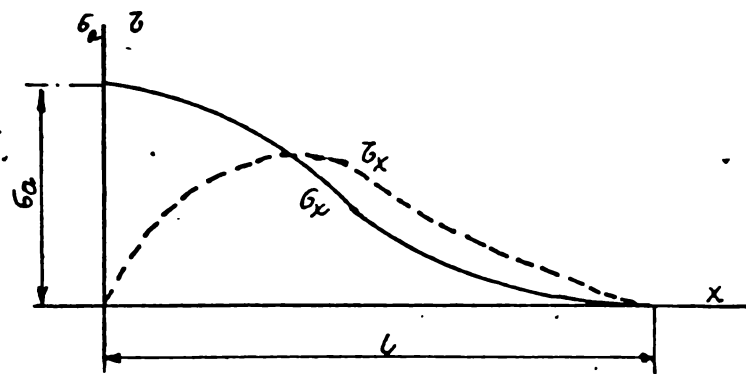


FIG. I. 11.

Variația eforturilor σ_x și τ_x pe lungimea de ancoraj este prezentată în figură I.11.

Ecuatiile diferențiale ale conlucrării

Legea aderenței este expresia analitică a legăturii dintre efortul de aderență " τ " și deplasarea " Δ " a barei în beton.

În literatura de specialitate sînt dezbătute pe larg asemenea legi, bazate pe diagramele de variație experimentale obținute de diverși autori. Relațiile analitice obținute sînt deduse pe baza ipotezei secțiunilor plane.

Legea aderenței în acest caz, are următoarele expresii :

$$\tau_{ad} = f(\Delta) \quad \text{și} \quad \tau_{ad} = f(\Delta, x)$$

x fiind poziția secțiunii pe lungimea elementului.

Cercetări mai recente renunță la ipoteza secțiunilor plane și iau în considerare deplasarea secțiunilor în procesul de conlucrare. Aceste legi au forma :

$$K \frac{d^2 y}{dx^2} = \epsilon_a - \epsilon_b \quad (I.7)$$

Această relație a fost stabilită încă în 1904, de Gh. Constantinescu, V. Nicolau stabilește, în 1968 următoarea relație :

$$K \frac{d^2 y}{dx^2} = \epsilon_a - \epsilon_b - \epsilon_l \quad (I.8)$$

unde : ϵ_l - este alunecarea barei.

Toate aceste legi trebuie considerate cu anumite rezerve, întrucît :

- forma diagramelor experimentale variază funcție de toți factorii de care depinde conlucrarea, și ei sînt foarte numeroși;

- rezultatele experimentale, în majoritatea cazurilor, nu sînt comparabile între ele;
- chiar în cadrul aceleiași tip de încercare, rezultatele dau dispersii foarte mari.

În cazul întinderii sau compresiunii excentrice, în stadiul I ecuația diferențială a conlucrării în stadiul elastic are forma stabilită în relația (I.7).

Pentru a integra ecuația (I.7), este necesar să se exprime deformațiile specifice ϵ_a și ϵ_b în funcție de y :

$$\epsilon_a = \frac{y}{E_a} \quad \text{și} \quad \epsilon_b = \frac{\sigma}{E_b}$$

În final, se poate exprima diferența $\epsilon_a - \epsilon_b$ astfel :

In felul acesta, ecuația (I.7) devine :

$$K \frac{d^2 y}{dx^2} - ay + b = 0 \quad (I.9)$$

Stadiul II este caracterizat de comportarea realistică a betonului și de alunecarea armăturii în beton. De aceea, ecuația (I.7) trebuie modificată. Coeficientul k nu poate rămîne constant, pentru că deformațiile cresc mai repede ca y .

Prin urmare, ecuația (I.7) ia forma :

$$\frac{d}{dx} \left[K(y) \cdot \frac{dy}{dx} \right] = \epsilon_a - \epsilon_b \quad (I.10)$$

unde : $K(y)$ a fost determinat experimental.

Se poate admite pentru smulgere, o lege de variație de forma :

$$K(y) = K_0 \cdot y^\lambda \quad (I.11)$$

în care : K_0 este o constantă.

$$\lambda > 0$$

Pentru întindere $K(y)$ va avea forma :

$$K(y) = k_0 (y - \beta_0)^\lambda \quad (I.12)$$

Înlocuind aceste valori în relația (I.10), se obține :

$$\frac{d}{dx} \left[K_0 (y - \beta_0)^\lambda \frac{dy}{dx} \right] = a(y - \beta_0) \quad (I.13)$$

cu soluția de forma :

$$y = \beta_0 + q \cdot x^{\frac{2}{\lambda}} \quad (I.14)$$

Aderența va avea următoarea expresie :

$$\tau_a = \frac{2q}{\lambda} \cdot \frac{A_a}{u} \cdot x \cdot \frac{2-\lambda}{\lambda} \quad (I.15)$$

Prelucrarea datelor experimentale a dus la stabilirea următoarelor valori pentru λ :

$\lambda \cong 2$ pentru armături netede;

$\lambda \cong 1$ pentru armături profilate.

Stabilirea funcției de conlucrare face posibilă o reconsiderare a calculului distanței dintre fisuri și a deschiderii lor. De asemenea, cunoscînd funcția $y = f(x)$, se pot calcula alungirile elementelor, lunecarea armăturii în beton etc.

1.3. Influența aderenței asupra fisurării elementelor de beton armat și beton precomprimat cu armătura preîntinsă.

Dintre factorii care fac posibilă conlucrarea betonului cu armătura în elementele de construcții, cel mai important este existența unei aderențe suficiente între cele două materiale, astfel încît să fie înlăturat pericolul alunecării armăturilor în beton și elementele de construcții să-și păstreze caracterul monolit pînă la rupere.

O serie de cercetători, printre care K.I.Mihailov, V.I. Murășev, O.I.Berg, în studiile lor asupra fenomenului de fisurare au lămurit în general problemele esențiale ale conlucrării armăturii cu betonul.

În anul 1935, Fr. Emperger studiază tipul de armătură Isteg și pe baza determinărilor experimentale proprii, prezintă ideea că datorită eforturilor tangențiale de aderență are loc o conlucrare între armătură și beton. O altă contribuție a lui Emperger la studierea mecanismului conlucrării o reprezintă încercarea de a determina experimental variația eforturilor cu ajutorul microcomparatoarelor.

Alcătuirea tirantului încercat de Emperger și repartiția eforturilor în beton și armătură, sînt date în figura I.12.

Curba reprezintă variația rezultantei eforturilor de întindere din beton (Z_b) și din armătură (Z_a).

Necesități de ordin practic au pus în fața cercetătorilor problema calculării deformațiilor (rotiri, săgeți) și a mărimii deschiderii fisurilor.

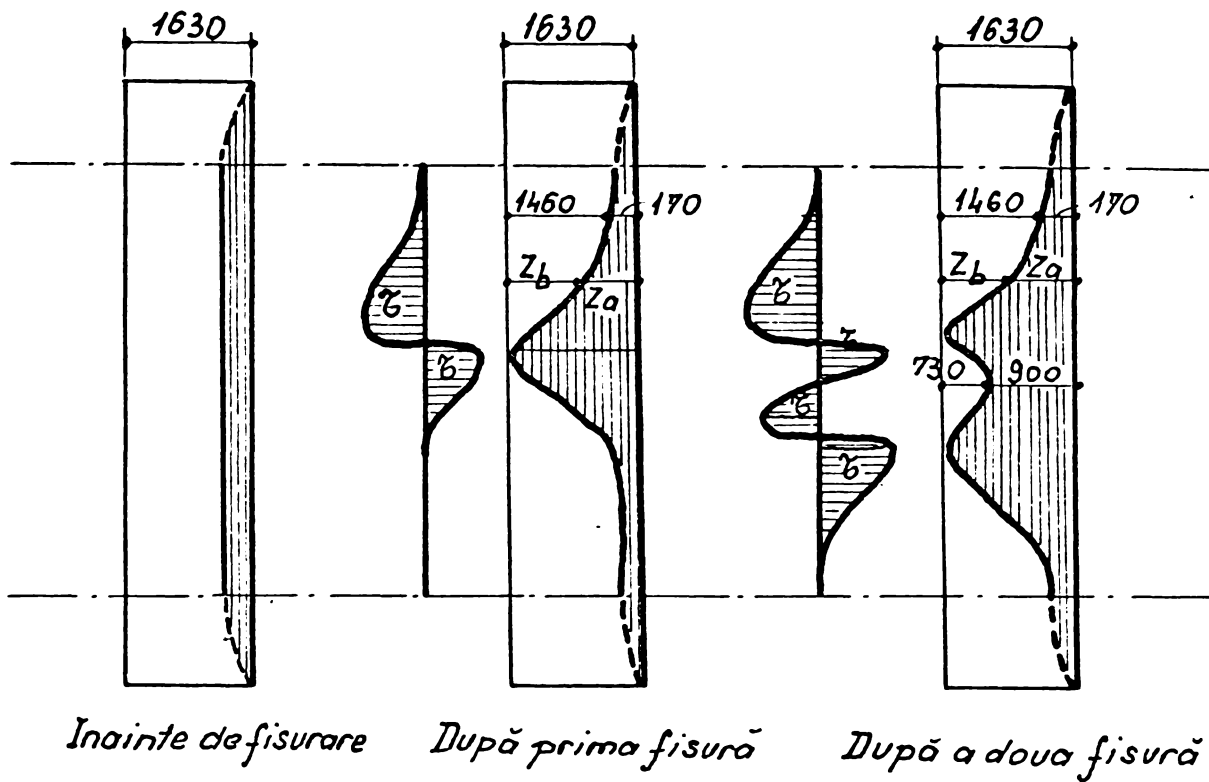


FIG. I.12.

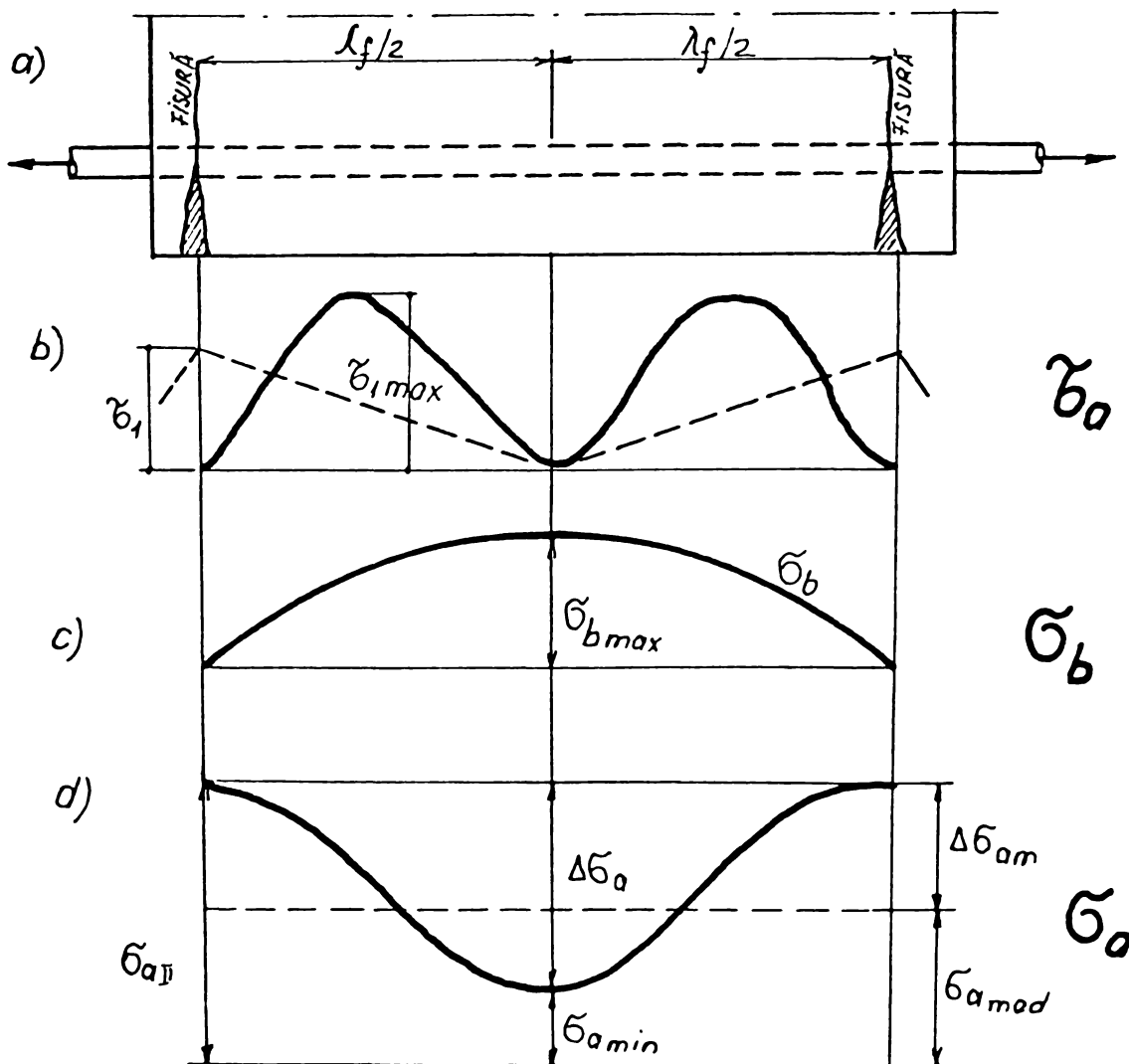


FIG. I.13.

Cum nu se poate vorbi de deschiderea fisurilor sau de defor-
mații în afara problemei conlucrării armăturii cu betonul, studiile
tratând aceste aspecte reprezintă implicit contribuții aduse la elu-
cidarea problemei conlucrării armăturii cu betonul. În acest sens,
putem cita metodele de calcul propuse de Saliger și Murașev.

Saliger, într-un studiu elaborat pe baza unui mare număr de
încercări, precizează că efortul din beton se transferă în armătură
prin intermediul eforturilor unitare de aderență.

În figura I.13 se prezintă variația eforturilor τ_a , σ_a și
 σ_b între două fisuri imediat după apariția acestora.

Dacă treapta de încărcare a grinzii crește, se mărește și
lunecarea armăturii în beton, ceea ce duce la modificări în repar-
tiția eforturilor.

În figura I.14 se prezintă variația eforturilor unitare τ_a ,
 σ_a și σ_b între două fisuri, odată cu creșterea solicitării tiran-
tului.

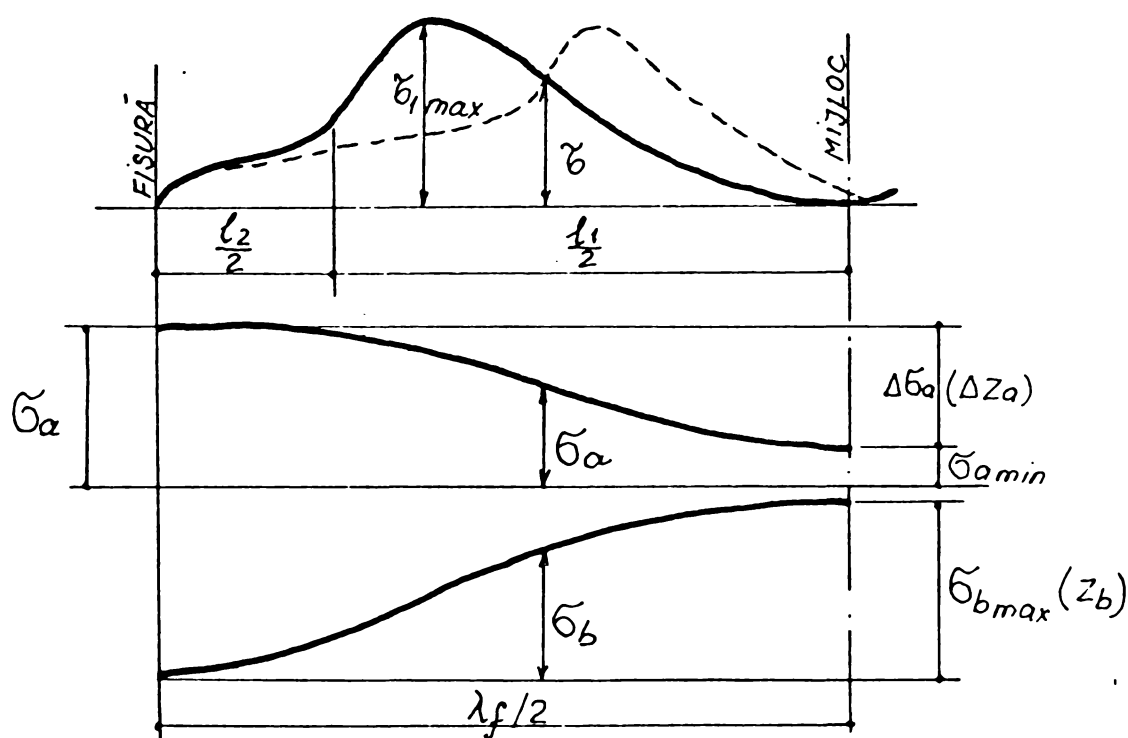


FIG. I.14.

Se remarcă în acest caz că în zona fisurilor conlucrarea
este distrusă și numai la o distanță mai mare ea se restabilește.

Ideea fundamentală exprimată de Saliger, anume că deschi-
derea fisurilor depinde de distanța dintre fisuri, este astăzi un
postulat, menținându-se în toate variantele apărute ulterior.

In anul 1940, V.I.Murașev a prezentat o metodă de calcul privind deschiderea fisurilor și rigiditatea elementelor încovoiate.

La determinarea distanței dintre fisuri λ_f , Murașev admite aceleași ipoteze ca și Saliger și anume că o a doua fisură se produce în secțiunea în care la fibra extremă întinsă a betonului se atinge rezistența la întindere, ca urmare a distrugerii conlucrării dintre armătură și beton.

Ce apare nou la Murașev este ipoteza că în momentul trecerii de la stadiul I la stadiul II de lucru, betonul din zona întinsă se plasticifică.

Explicația dată de autor asupra formării și deschiderii fisurilor este redată în figura I.15.

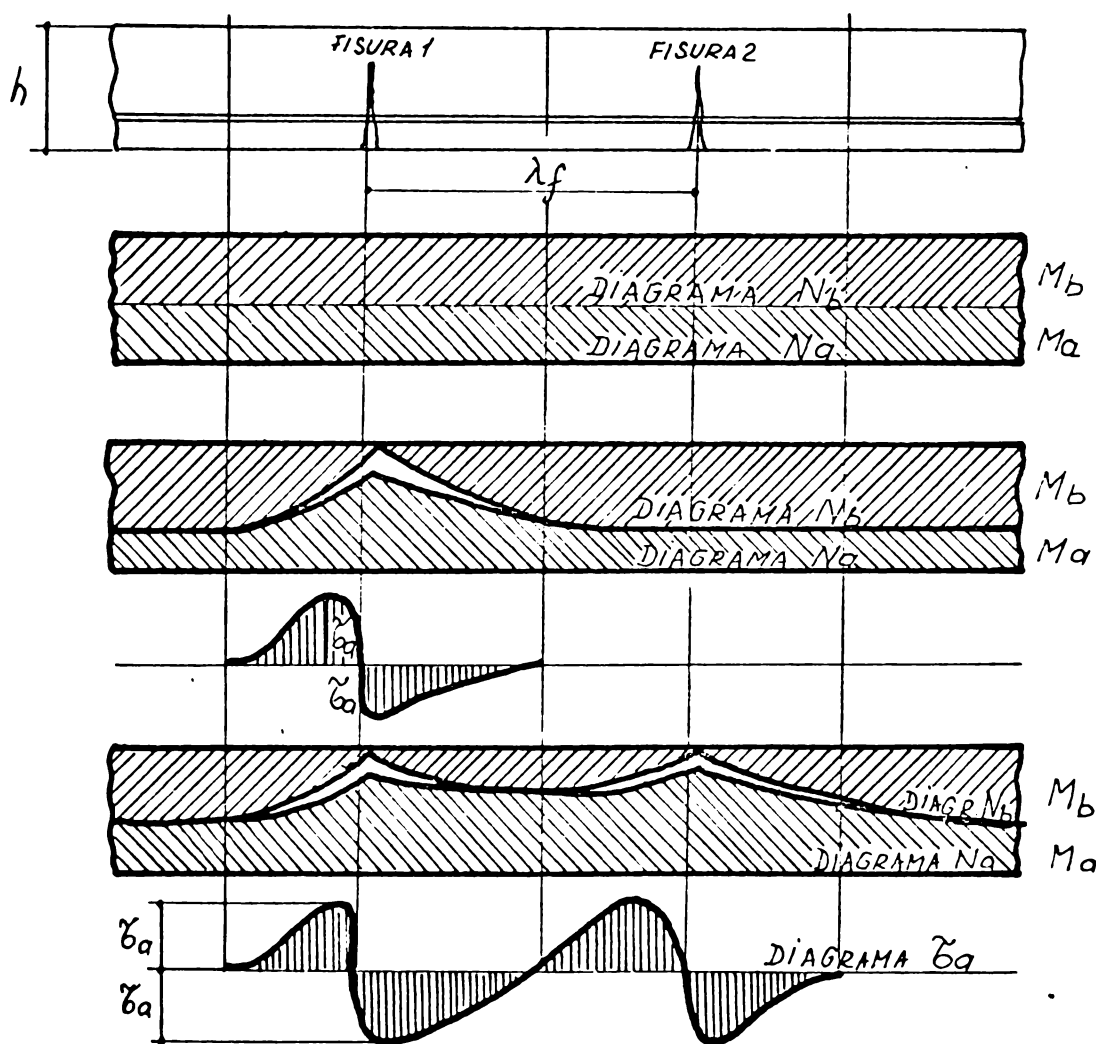


FIG. I.15

In final Murașev ajunge, pentru calculul mărimii deschiderii fisurilor, la relația :

$$\alpha_f = \psi \cdot \frac{\hat{\sigma}_{a2}}{E_a} \lambda_f$$

în care : ψ reprezintă coeficientul conlucrării armăturii cu betonul și se ia egal cu unitatea.

Analizînd o serie de încercări ale lui Bichara, se poate dovedi că între aderență și fisurare există o strînsă legătură și că aderența scade cu fisurarea. Această legătură este și reciprocă : fisurarea este funcție de aderență. De asemenea, mai rezultă că repartizarea eforturilor unitare de aderență nu este condiționată numai de conlucrarea locală, superficială, a betonului cu armătura, ci și de comportarea betonului în zona de influență a armăturii.

În figura I.16 este redată repartiția eforturilor unitare de întindere în armătură într-o grindă încovoiată, de beton armat, cu armătură din oțel cu profil periodic, iar în figura I.17 este redată repartiția efortului unitar de aderență într-o grindă de beton armat cu armătură din oțel cu profil periodic.

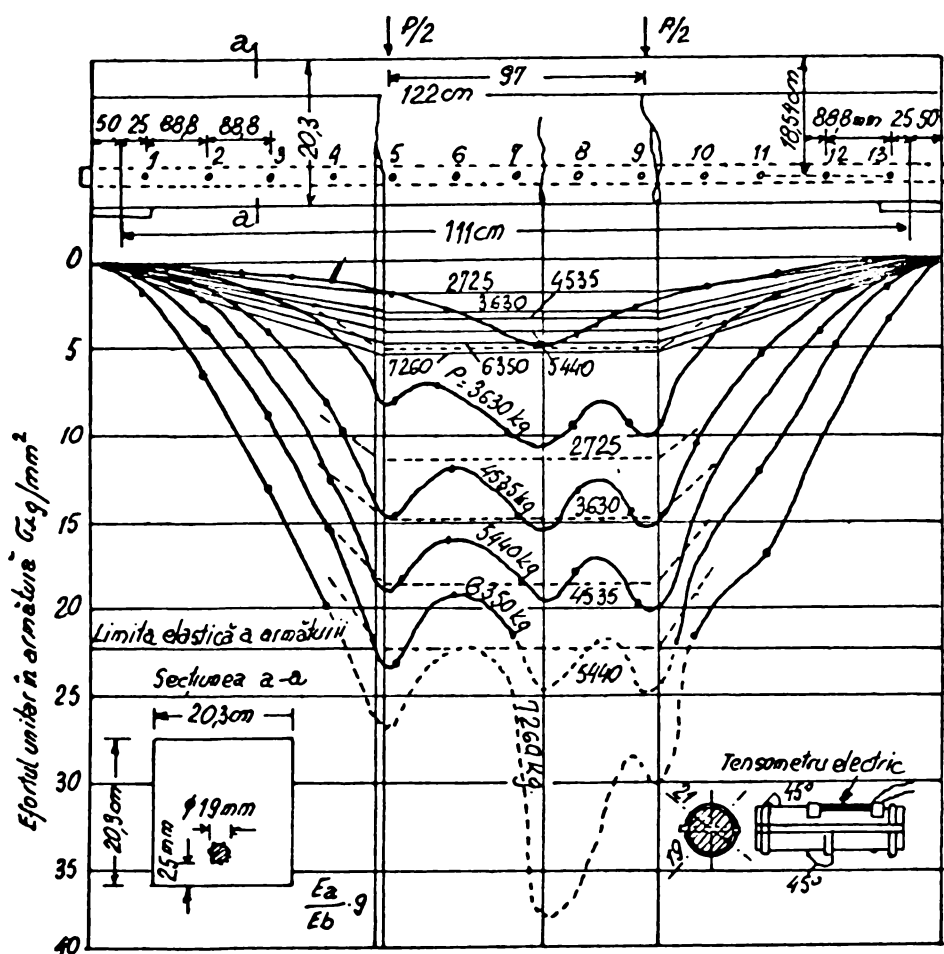


FIG. I.16.

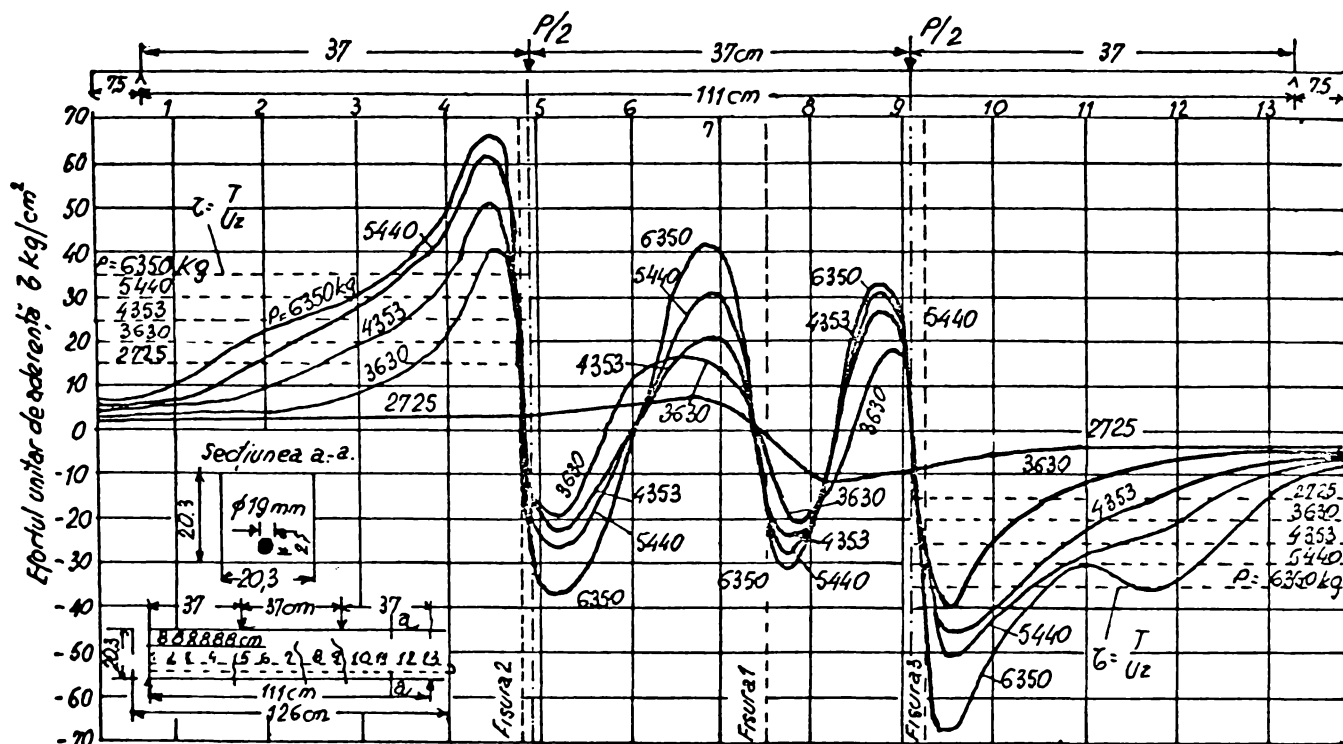


FIG. I.17.

Stadiile de lucru la aderență.

O serie de încercări experimentale pun în evidență 3 sau 4 stadii de lucru la interacțiunea dintre armătură și beton.

Încercările experimentale ale lui Amstutz, Garay, Astrova pun în evidență variația lunecărilor g_0 și g_1 în funcție de efortul unitar σ_a .

În fig. I.18 sînt delimitate patru stadii distincte de lucru în ceea ce privește conlucrarea dintre armătură și beton.

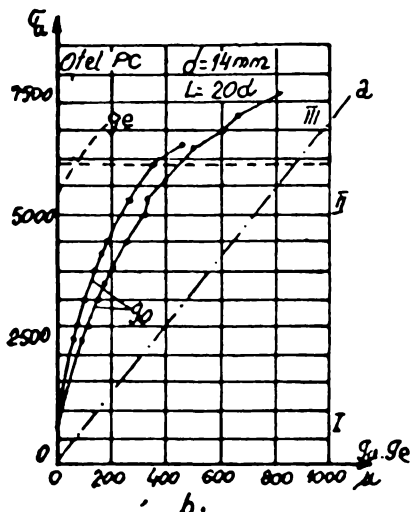


FIG. I.18.

se micșorează comparativ cu stadiul I.

Stadiul III apare atunci cînd tangenta la curba $\sigma_a - g_0$ scade foarte mult. Pe o anumită porțiune din lungimea de ancoraj apar deformații neelastice în zona de contact, iar pe porțiunile în care σ_x este mai mare, apar și lunecări ale armăturii față de beton. Aderența în stadiul III este asigurată în principal prin frecare. În partea finală a stadiului III se dezvoltă lunecarea.

Stadiul IV corespunde, pe diagrama $\sigma_a - g_0$, efortului unitar pentru care curba de deformare devine paralelă cu axa absciselor și reprezintă stadiul de rupere.

Analiza variației eforturilor unitare σ_x și τ_x reprezentate în figura I.19, conduce la următoarele concluzii :

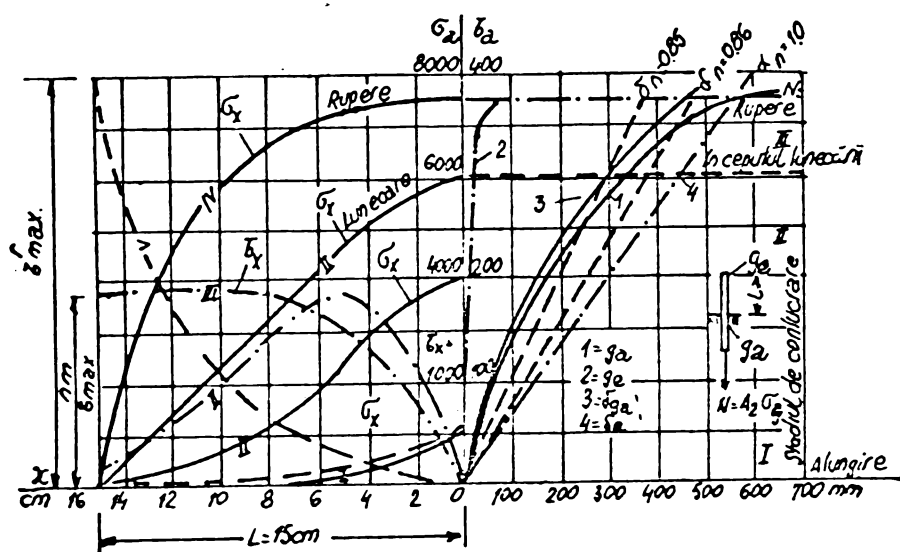


FIG. I.19.

măsură ce crește încărcarea exterioară N . În stadiul I și II diagrama are un punct τ_{max} și scade treptat pe lungimea de ancoraj. În stadiul III eforturile τ_x cresc treptat și păstrează o valoare constantă, în timp ce în stadiul IV se remarcă pierderea aderenței pe lungimea de ancoraj.

- Eforturile unitare σ_x se dezvoltă mai întâi după o curbă cu concavitatea în sus și apoi, pe măsura creșterii încărcării exterioare N , ajung să se modifice treptat, pentru ca în final să aibă concavitatea în jos.

- Diagrama eforturilor unitare τ_x își modifică alura și punctul τ_{max} pe

Cap.2. INFLUENȚA DIFERIȚILOR FACTORI ASUPRA FORMĂRII APĂRIȚIEI ȘI DESCHIDERII FISURILOR LA ELEMENTELE DIN BETON ARMAT PRECOMPRESAT

2.1. Comportarea la fisurare a elementelor din beton precomprimat cu armătură aderentă.

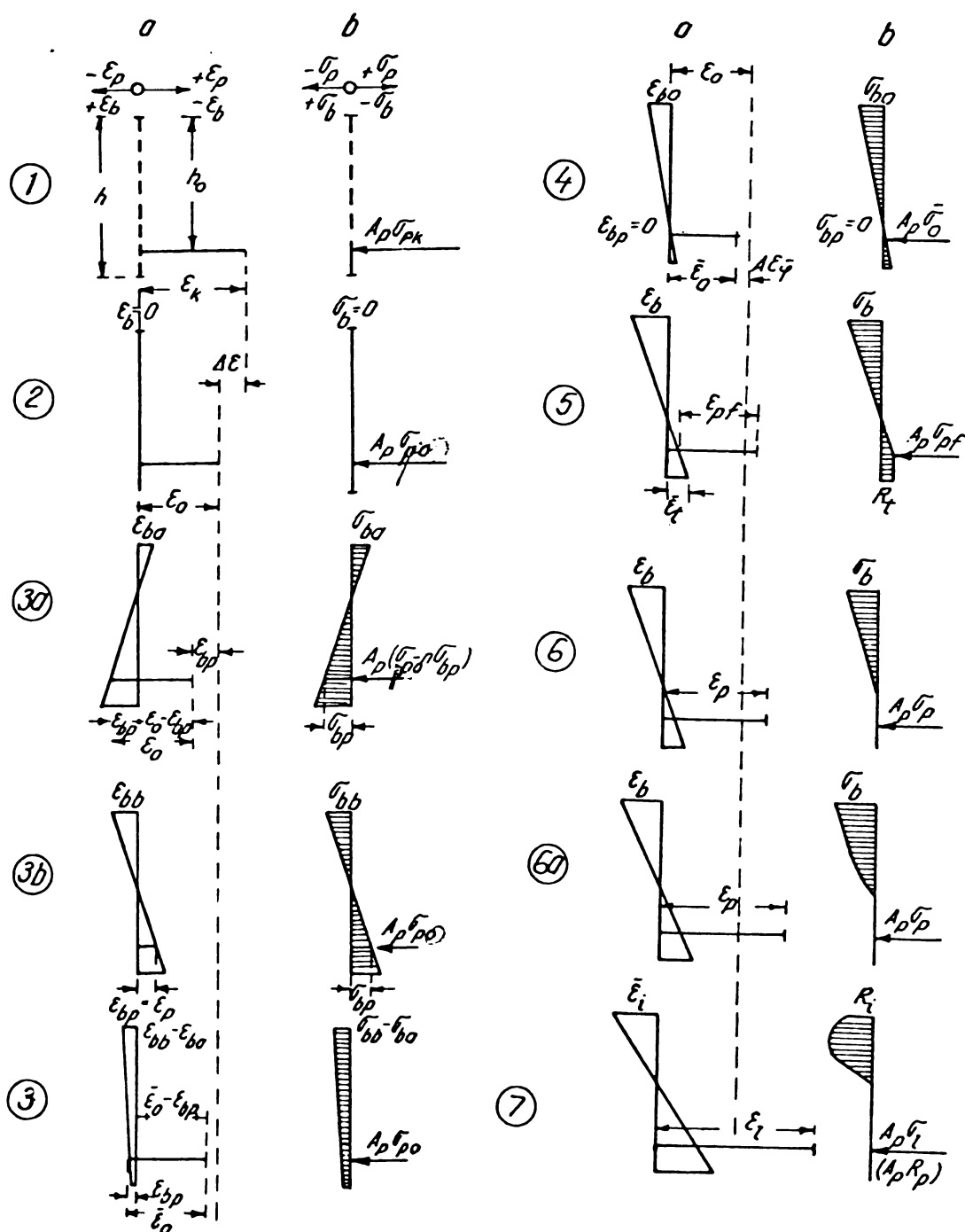
Precomprimarea influențează atât modul de fisurare și deformare a elementelor încovoiate, cât și capacitatea portantă.

În figura II.1 sînt arătate momentele caracteristice ale variației deformațiilor și eforturilor într-un element cu armătură preîntinsă. În poziția 1 se arată situația la pretensionare, cînd

armătura este pretensionată cu efortul unitar de control σ_{pK} .

Cunoașterea eforturilor unitare în beton și armătura pretensionată este necesară :

- în faza inițială, pentru verificarea efortului unitar de control σ_{pK} în armătura pretensionată, pentru stabilirea pierderilor de tensiune din întinderea succesivă a armăturilor, din relaxare și din contracție și curgere lentă, și pentru calculul la starea limită de fisurare;



a- deformații

b- eforturi în beton și armătură

FIG. II. 1.

- în faza finală, pentru verificarea efortului unitar σ_p în armătura pretensionată, pentru calculul la starea limită de oboseală și pentru calculul la starea limită de fisurare.

Determinarea eforturilor unitare și principale în beton și în armătura pretensionată și pasivă în secțiuni nefisurate (clasele I și II de verificare la fisurare), se face după regulile rezistenței materialelor, ca pentru un material elastic și omogen, efortul de precomprimare considerându-se ca o forță exterioară, iar în secțiuni fisurate (clasa a III-a de verificare la fisurare), se face pe baza ipotezelor admise pentru betonul armat și anume : se admite ca efortul de precomprimare să fie considerat ca o forță exterioară în acțiune; modulul de deformație a betonului se consideră constant pe întreaga zonă comprimată.

În poziția 2, armătura a fost blocată datorită alunecării în timpul blocării, efortul în armătura pretensionată scade de la σ_{pK} la $\sigma_{pK} - \Delta\sigma_{pK}$. În această fază se toarnă betonul, care se întărește în contact cu armătura. Deoarece efortul în beton este nul ($\sigma_{bp} = 0$), rezultă că efortul din armătură este egal cu cel de calcul :

$$\sigma_{p_0} = \sigma_{pK} - \Delta\sigma_{pK} \quad (II.1)$$

Dacă întărirea betonului este accelerată prin tratarea termică, pierderile de tensiune cresc cu $\Delta\sigma_t$.

În poziția 3 se arată situația după întărirea betonului, când are loc transferul, care supune elementul unei compresiuni excentrice și dă naștere unor contrasăgeți. Prin aceasta, intervine și greutatea proprie, care solicită elementul la momente pozitive.

Pentru a simplifica reprezentarea, în schema a 3-a sînt arătate deformațiile și eforturile din precomprimare după transfer, iar cele din greutatea proprie sînt indicate în schema 3b. Suma lor este redată în poziția 3.

Se vede că sub acțiunea precomprimării, alungirile armăturii sînt mai mari decît scurtarea betonului; sub acțiunea încărcărilor exterioare, deformațiile betonului și ale armăturii pretensionate sînt însă egale; la această solicitare armătura pretensionată are același rol cu armătura obișnuită a betonului armat.

În ceea ce privește legătura între efortul unitar de calcul în faza finală $\overline{\sigma}_{p_0}$, efortul unitar de calcul în faza inițială σ_{p_0}

și efortul unitar în beton, există următoarele relații :

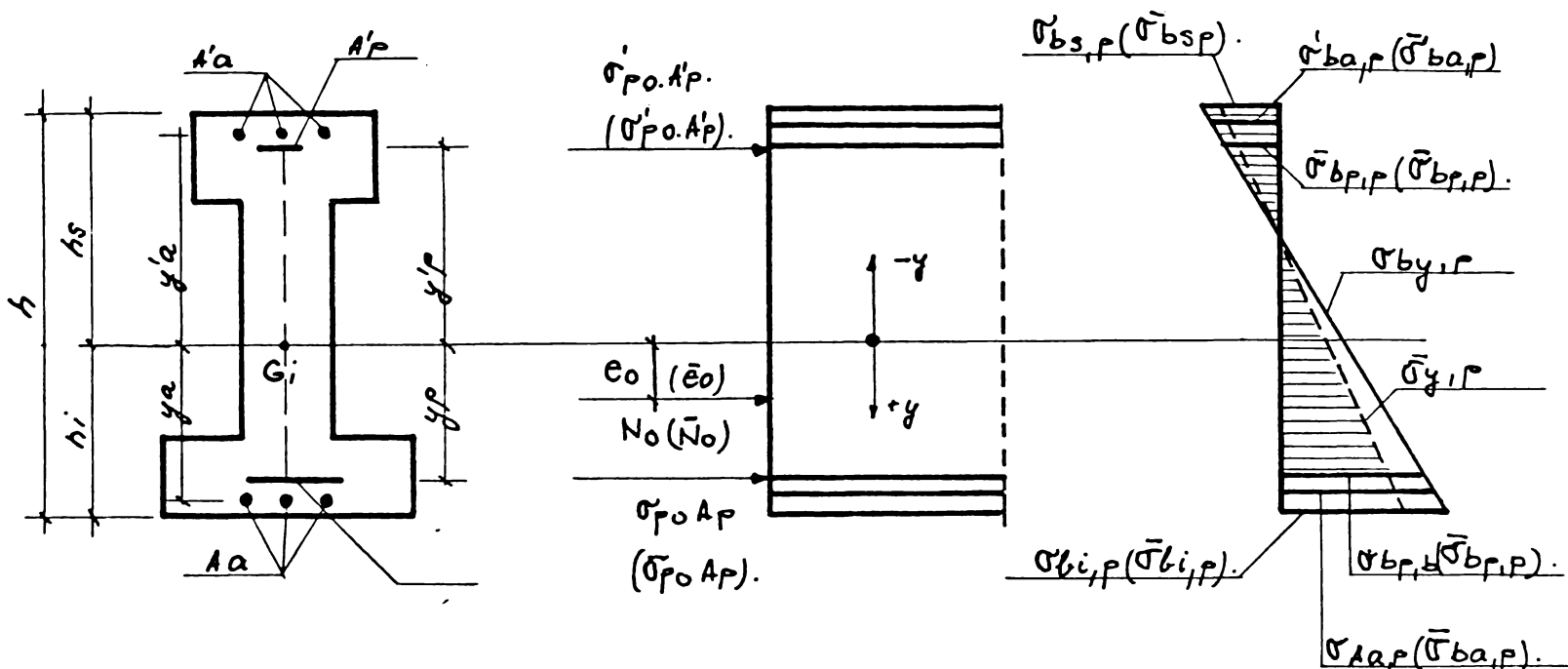


FIG.II.2

$$\sigma_{by,p} = \frac{N_0}{A_i} + \frac{e_0 \cdot N_0}{I_i} y \quad (\text{II.2a})$$

$$\bar{\sigma}_{by,p} = \frac{\bar{N}_0}{A_i} + \frac{e_0 \cdot \bar{N}_0}{I_i} y \quad (\text{II.2b})$$

$$\sigma_{pp} = \sigma_{po} - n_p \cdot \sigma_{bp,p} \quad (\text{II.3a})$$

$$\bar{\sigma}_{pp} = \bar{\sigma}_{po} - n_p \cdot \bar{\sigma}_{bp,p} \quad (\text{II.3b})$$

$$\sigma'_{pp} = \sigma'_{po} - n_p \cdot \sigma'_{bp,p} \quad (\text{II.4a})$$

$$\bar{\sigma}'_{pp} = \bar{\sigma}'_{po} - n_p \cdot \bar{\sigma}'_{bp,p} \quad (\text{II.4b})$$

Relațiile (II.3) și (II.4) sînt valabile atît pentru armăturile preîntinse, cît și pentru cele postîntinse.

În poziția 4, în urma solicitării cu un moment pozitiv sub acțiunea încărcărilor exterioare, eforturile în armătură cresc. În

momentul în care deformația betonului la nivelul armăturii preten- sionate se anulează, în armătură se realizează efortul unitar de calcul $\bar{\sigma}_{po}$.

În poziția 5 se arată situația când încărcările cresc mai departe în elementul de beton precomprimat și apare o zonă întinsă, și când deformațiile fibrei celei mai întinse ating deformația limită a betonului la întindere $\epsilon_t = \bar{\epsilon}_t \text{ lim}$, se produce fisurarea zonei întinse.

Dacă efortul din armătură scade sub mărimea $\bar{\sigma}_{po}$, fisura se închide. Ca și la elementele întinse centric, redeschiderea fisurilor are loc pentru o încărcare mai mică decât cea de fisurare. După apariția primei fisuri, cu creșterea încărcării apar și altele noi. Dacă armătura este aderentă și execuția îngrijită, se formează fisuri într-un interval relativ mic de creștere a sarcinii și la distanțe relativ egale.

La poziția 6 se arată că după fisurare în secțiune, betonul lucrează numai în zona comprimată, La început deformațiile sale sînt elastice, însă cu creșterea încărcării, începe plasticizarea zonei comprimate (schema 6a). În zona întinsă lucrează numai armătura.

Ruperea se produce de obicei în zona comprimată (schema 7) a betonului, dar la procente mici de armare poate avea loc cedarea armăturii, care atinge efortul $\bar{\sigma}_l = R_p$.

Rezultă că, în general, stadiile de lucru ale betonului precomprimat încovoiat sînt aceleași ca ale betonului armat, stadiile limită fiind Ia (schema 5) și IIa (schema 6 figura II.1).

În figura II.3 se arată stadiile de lucru într-un element de beton precomprimat încovoiat din clasa Ia de fisurabilitate, într-un element de clasa a III-a de fisurabilitate și într-un element de beton armat.

În general, elementele din beton precomprimat, datorită acțiunii forței de precomprimare, au rezistență mare la fisurare, astfel încît :

$$c_f = \frac{M_f}{M_r} = 0,6 - 0,9$$

La elementele de beton armat acest raport este mult mai mic. Deoarece ruperea elementelor din beton precomprimat este mai casantă, nu se recomandă depășirea valorii raportului dintre M_f și M_r peste limita de 0,80 - 0,85.

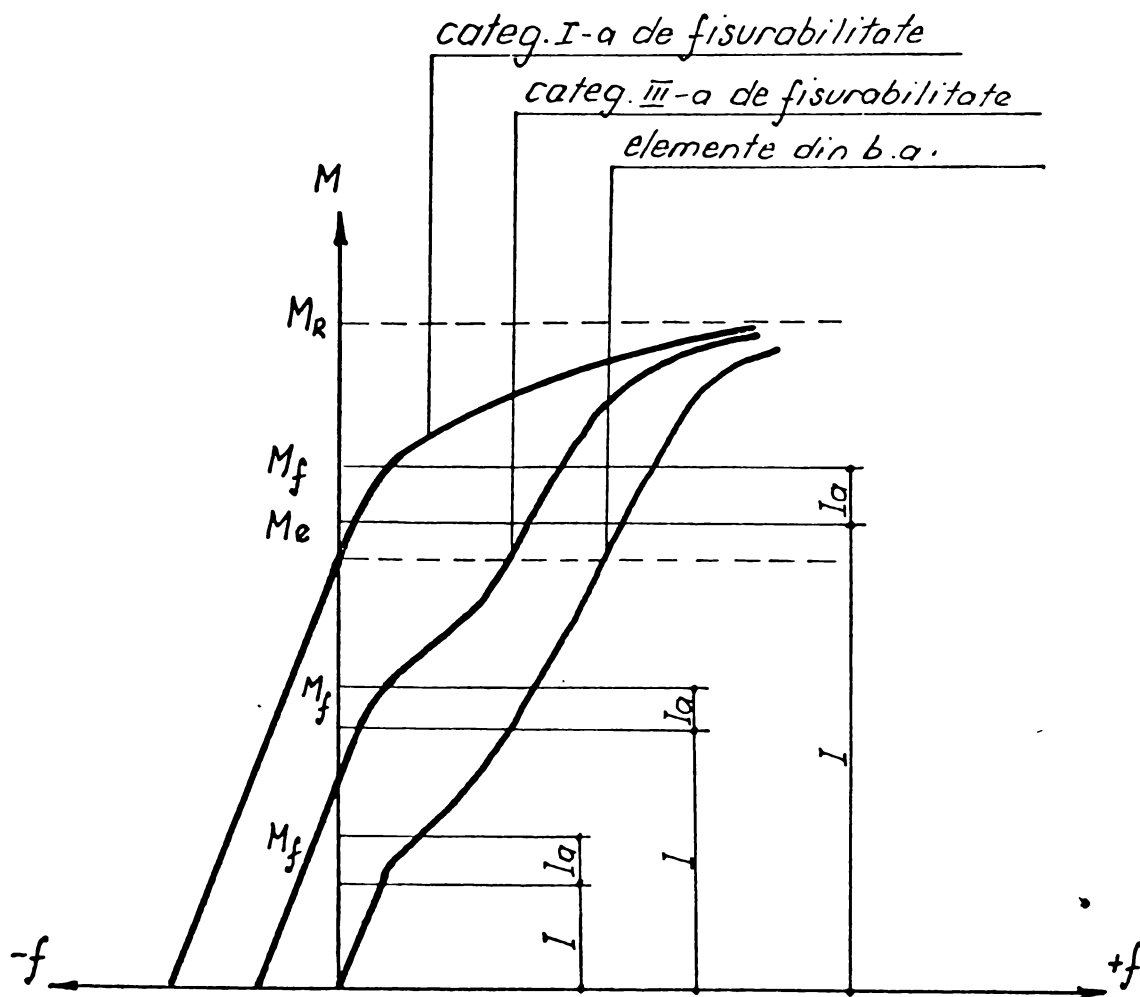


FIG. II. 3

S-a constatat experimental că, în condiții egale, valoarea momentului de fisurare crește, practic, proporțional cu valoarea efortului unitar de control $\tilde{\sigma}_{pK}$.

În figura II.4 sînt date rezultatele măsurărilor efectuate de Hayer.

De asemenea, în această figură, se observă că odată cu creșterea lui $\tilde{\sigma}_{pK}$, în momentul ruperii elementului, săgeata scade, deci apare o rupere mai casantă.

Pînă în prezent, calculul secțiunilor la apariția fisurilor a fost studiat sub mai multe aspecte de mai mulți cercetători, printre care A.A. Gvozdev și A.S. Dimitriev /42/, care au cuprins într-o teorie unitară solicitările din încovoiere, compresiune și întindere excentrică la beton, beton armat și beton precomprimat.

Metoda are la bază ipotezele din fig. II.5; în final se ajunge la o formulă de calcul de forma :

$$M_f \approx N_0 \left(\frac{I_s}{S} - e \right) = W_f R_t \quad (\text{II.5})$$

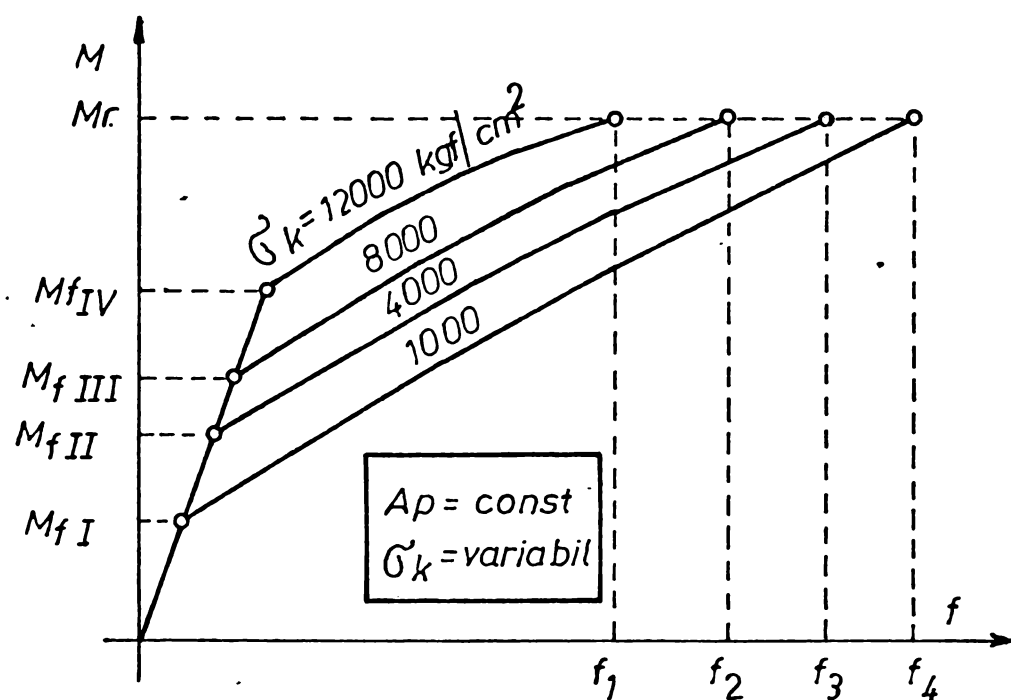


FIG. II.4

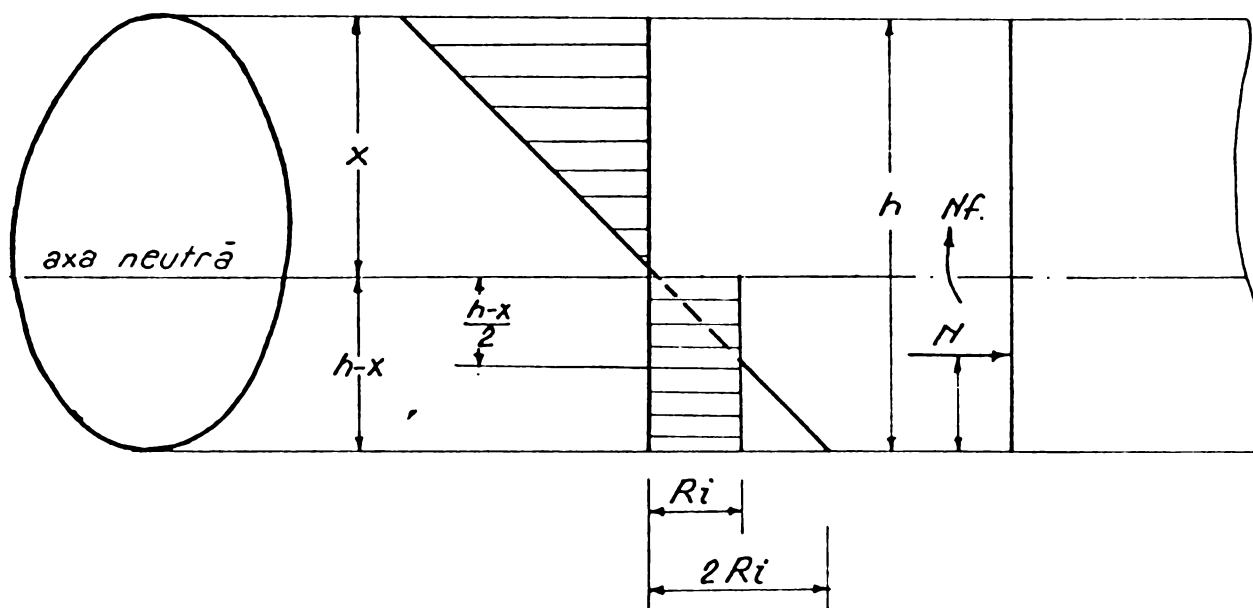


FIG. II.5

Partea stîngă a relației (II.5) reprezintă momentul forțelor exterioare și al forței de precomprimare în raport cu limita superioară a sîmburelui central al secțiunii ideale, iar în dreapta produsul dintre R_t și modulul de rezistență al secțiunii pentru zona întinsă W_f , corespunzător diagramei eforturilor unitare în stadiul I, adică în stadiul de formare a fisurii.

Modulul de rezistență la fisurare se poate determina cu relația :

$$W_f = \frac{2I_{co}}{h-x} + 2S_{t_0} \quad (\text{II.6})$$

unde : I_{co} este momentul de inerție al zonei comprimate în raport cu axa neutră;

S_{t_0} este momentul static al zonei întinse în raport cu axa neutră.

În conformitate cu normativele românești în vigoare /119/, pentru calculul la fisurare a elementelor din beton precomprimat, se deosebesc trei clase de fisurabilitate; pentru primele două clase nu se admite apariția fisurilor normale de întindere în beton (clasa I) sau a fisurilor (clasa II), iar pentru clasa a III-a se admit fisuri deschise cu caracter permanent, în condiții curente. Aceste norme admit în clasa a III-a de fisurabilitate, doar elemente cu armături pretensionate de tip PC 90, situate în medii fără agresivitate sau în medii cu agresivitate foarte slabă. De asemenea normativele mai admit în această clasă și elemente cu armături pretensionate de tip PC 90 situate în medii cu agresivitate slabă și medie, însă la care se aplică protecții suplimentare conform unor prescripții speciale.

Acest domeniu trebuie însă lărgit. De aceea, în prezenta lucrare se tratează elementele de beton armat precomprimat cu armătură preîntinsă alcătuită din toroane.

2.2. Influența procentului de armare asupra procesului de fisurare

Procentul de armare longitudinal este unul din principalii parametri, alături de diametrul armăturii și natura suprafeței armăturii, care influențează starea limită de deschidere a fisurilor.

Procentul de armare influențează distanța dintre fisuri prin raportul Ab/u . Cu cât procentul de armare este mai mare, perimetrul barelor, u , este mai mare și raportul Ab/u este mai mic. Deci distanța dintre fisuri este mai mică.

Cu cât diametrul armăturii este mai mic, la același procent de armare $\mu\%$ rezultă un perimetru u mai mare, un raport Ab/u mai mic și deci o distanță între fisuri mai mică.

De asemenea, prin coeficientul β_f (cu care s-a notat raportul R_t/τ_a), se influențează distanța între fisuri și anume, aceasta se face simțită prin influența lui μ și d .

Pe baza literaturii de specialitate, a lucrărilor experi-

mentale și a lucrărilor efectuate în cadrul Laboratorului de Beton armat din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara /37/ și /38/, procentul de armare are o influență redusă asupra momentului de fisurare (fig.II.6).

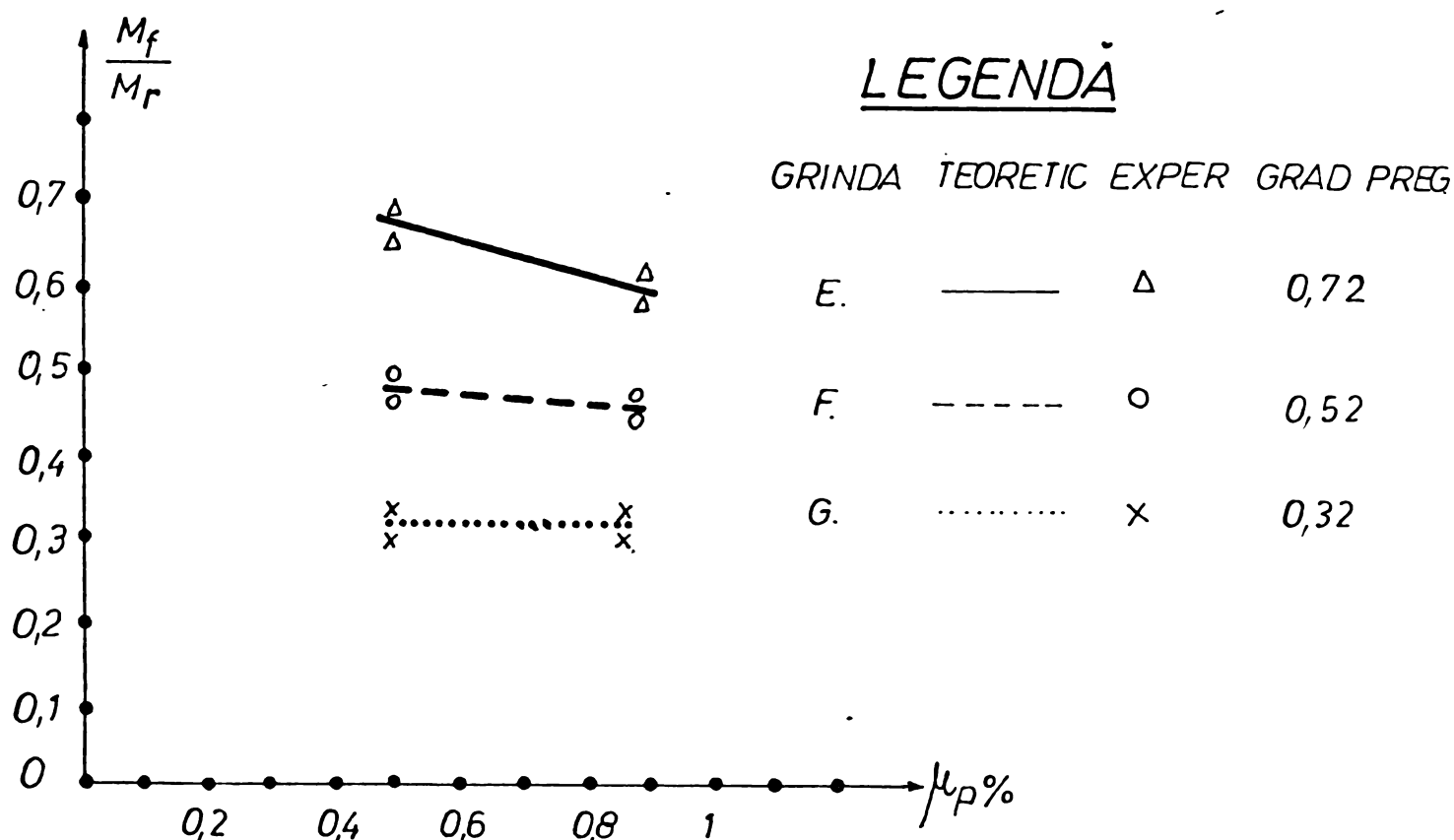
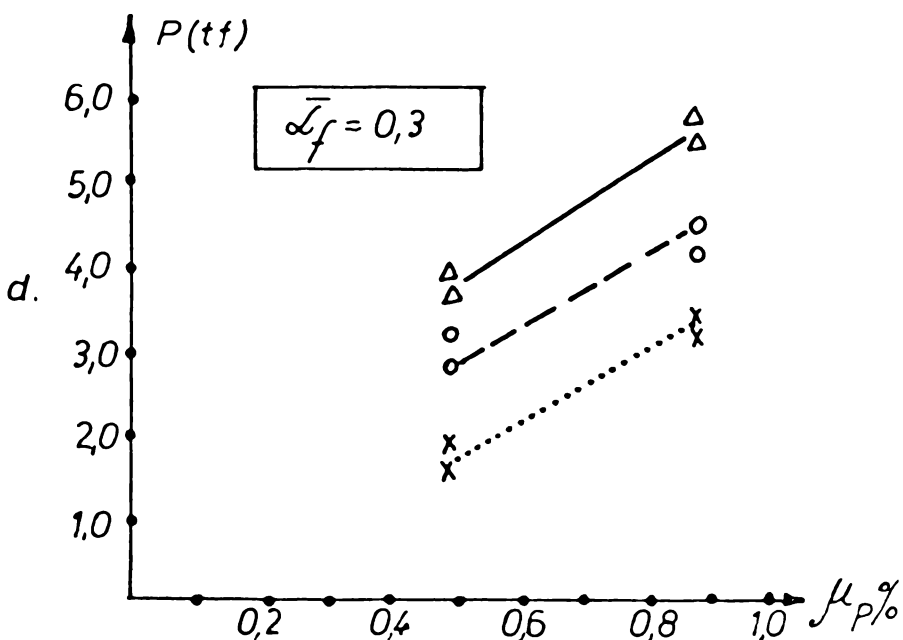
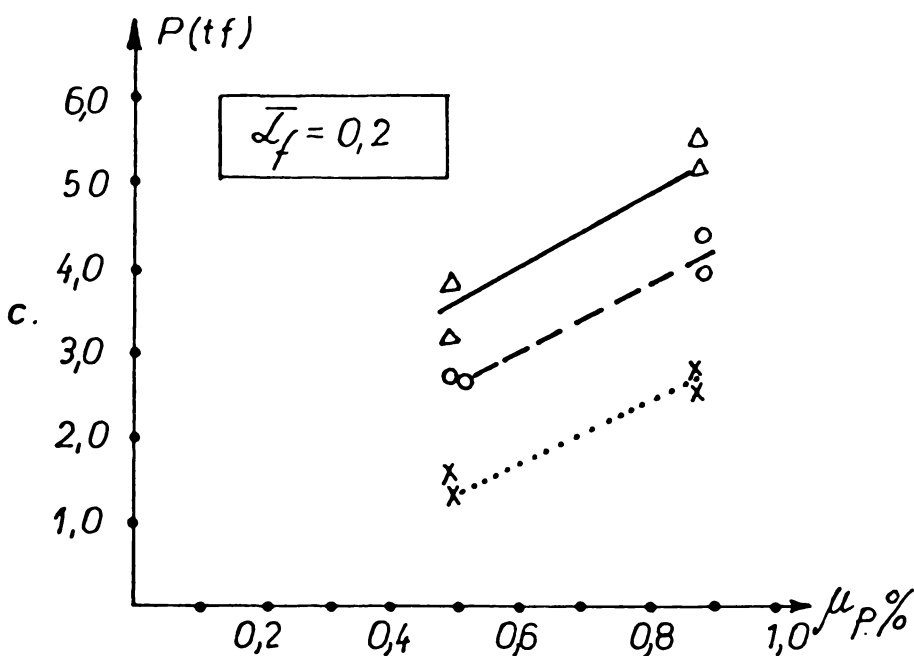
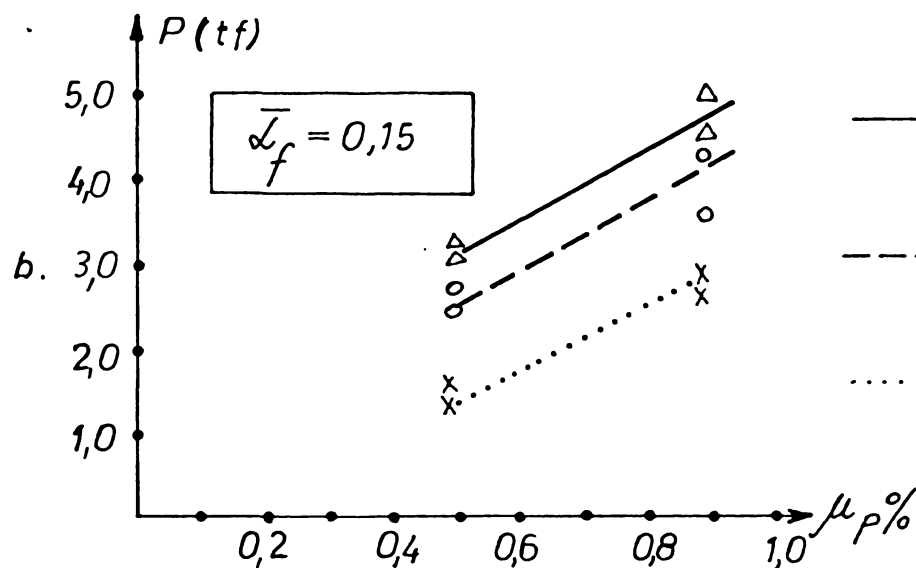
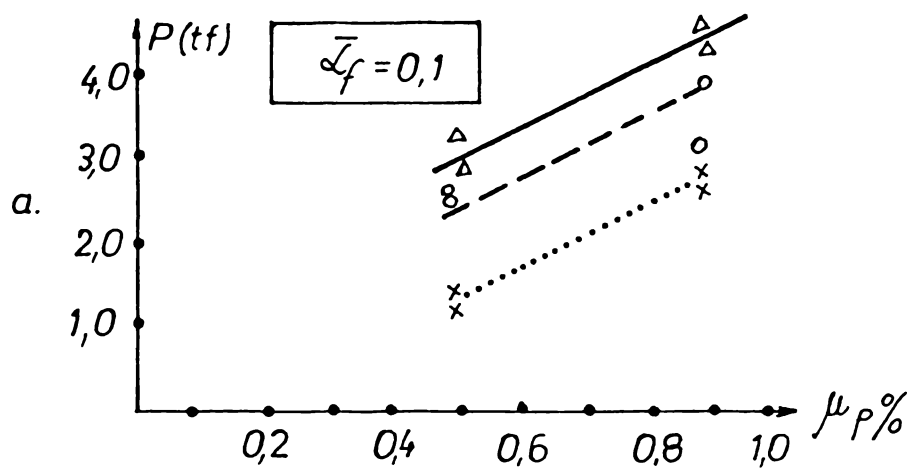


FIG. II.6

Rezultatele încercărilor experimentale efectuate asupra grinzilor armate cu toroane având grade diferite de precomprimare, arată că, la apariția fisurilor, apar lunecări suplimentare între armătură și beton, astfel încât mărimea deschiderii fisurilor imediat după apariție atinge valori de 0,08 - 0,13 mm, în funcție de gradul de precomprimare a elementului. Aceste mărimi ale fisurilor, pronunțate la apariție, se datoresc unor alunecări ale toronului la deschiderea fisurilor.

La încercările experimentale s-au determinat treptele de încărcare corespunzătoare unor deschideri ale fisurilor, de : 0,1; 0,15; 0,2 și 0,3 mm.

Din diagramele din figura II.7 se constată că pe măsură ce procentul de armare longitudinal crește, o lățime limită a deschiderii fisurilor dată, se poate atinge la o încărcare mai mare.



LEGENDA

—	$\frac{\sigma_0}{R_p^n} = 0,72$	Δ E-11; E-12 E-21; E-22
- - -	$\frac{\sigma_0}{R_p^n} = 0,52$	\circ F-11; F-12 F-21; F-22
.....	$\frac{\sigma_0}{R_p^n} = 0,32$	\times G-11; G-12 G-21; G-22

FIG. II. 7

De asemenea, pentru un procent de armare longitudinal dat, o mărime a deschiderii fisurilor limită se poate atinge la o încărcare cu atât mai mare, cu cât gradul de precomprimare a elementului este mai mare.

În figura II.8 se arată variația distanței dintre fisuri în funcție de procentul de armare longitudinal pentru treapta de încărcare corespunzătoare lățimii deschiderii fisurilor $\alpha_f = 0,3 \text{ mm}$, în cazul grinzilor armate cu toroane cu grade diferite de precomprimare.

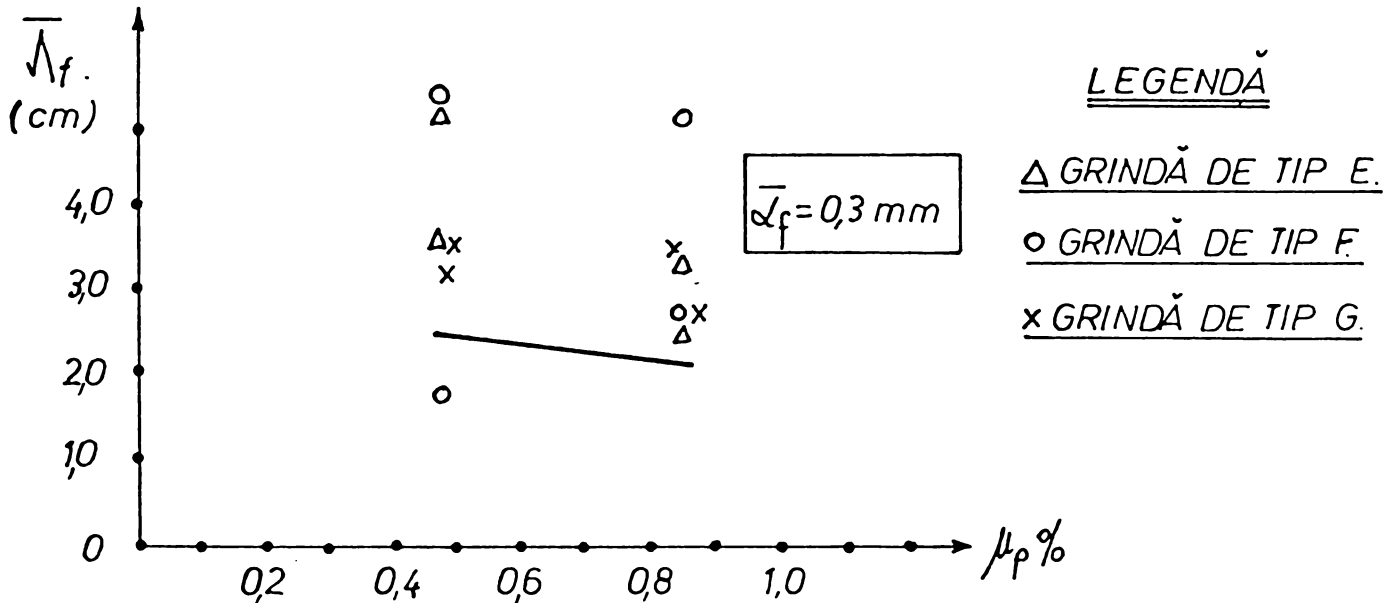


FIG. II.8

Se constată că odată cu creșterea procentului de armare, scade distanța dintre fisuri. Același lucru se constată și în cazul grinzilor armate cu toroane însă cu grad de precomprimare zero (figura II.9).

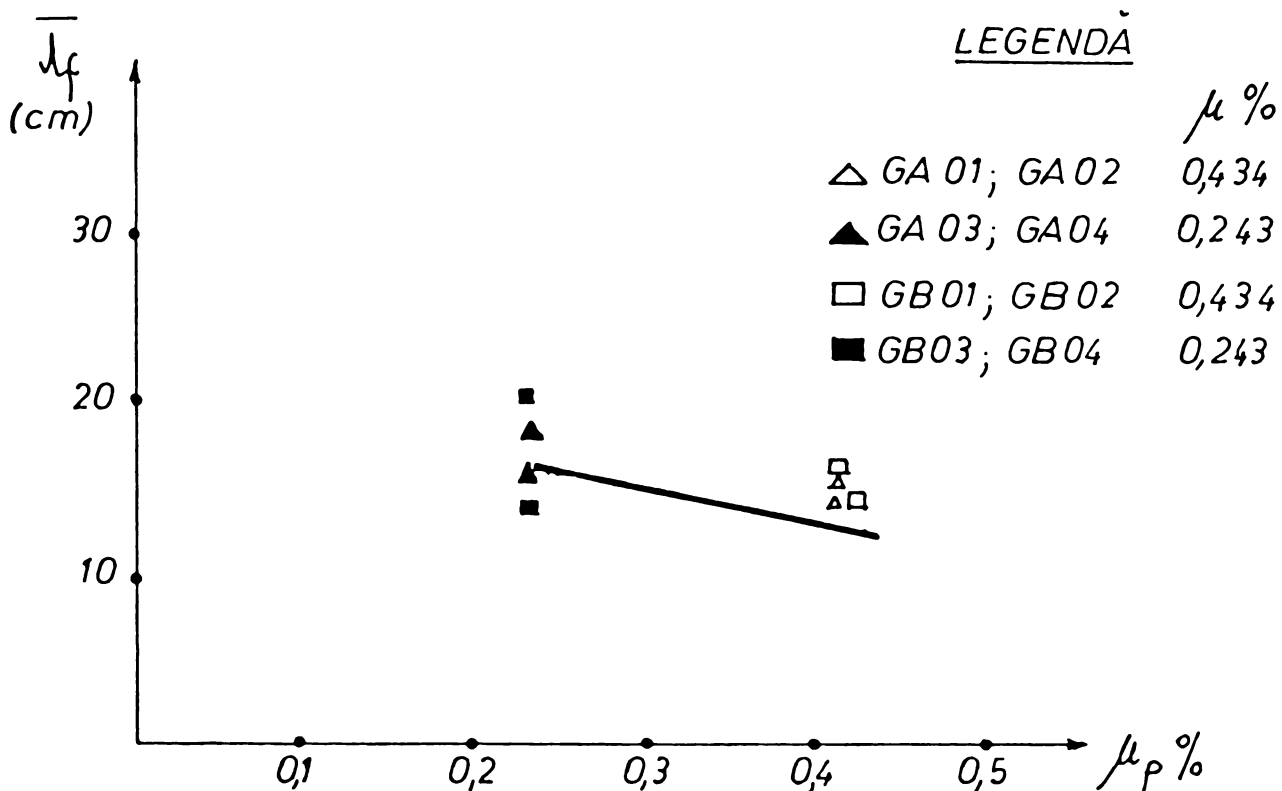


FIG. II.9

2.3. Influența mărimii efortului unitar din armătură și a gradului de precomprimare asupra procesului de fisurare.

Procesul formării, apariției și deschiderii fisurilor la elementele de beton armat precomprimat diferă de cel al elementelor din beton armat și depinde atât de condițiile specifice de aderență, cât și de starea de tensiune permanentă creată prin precomprimare (gradul de precomprimare).

Incercările experimentale efectuate de S. Dimitriev și I.F. Birulin /27/, realizate pe elemente de beton precomprimat cu diferite grade de precomprimare ($\sigma_0 = 0$; $\sigma_0 = 0,4 R_p$ și $\sigma_0 = 0,66 R_p$), scot în evidență influența gradului de precomprimare asupra distanței și deschiderii fisurilor (fig.II.10).

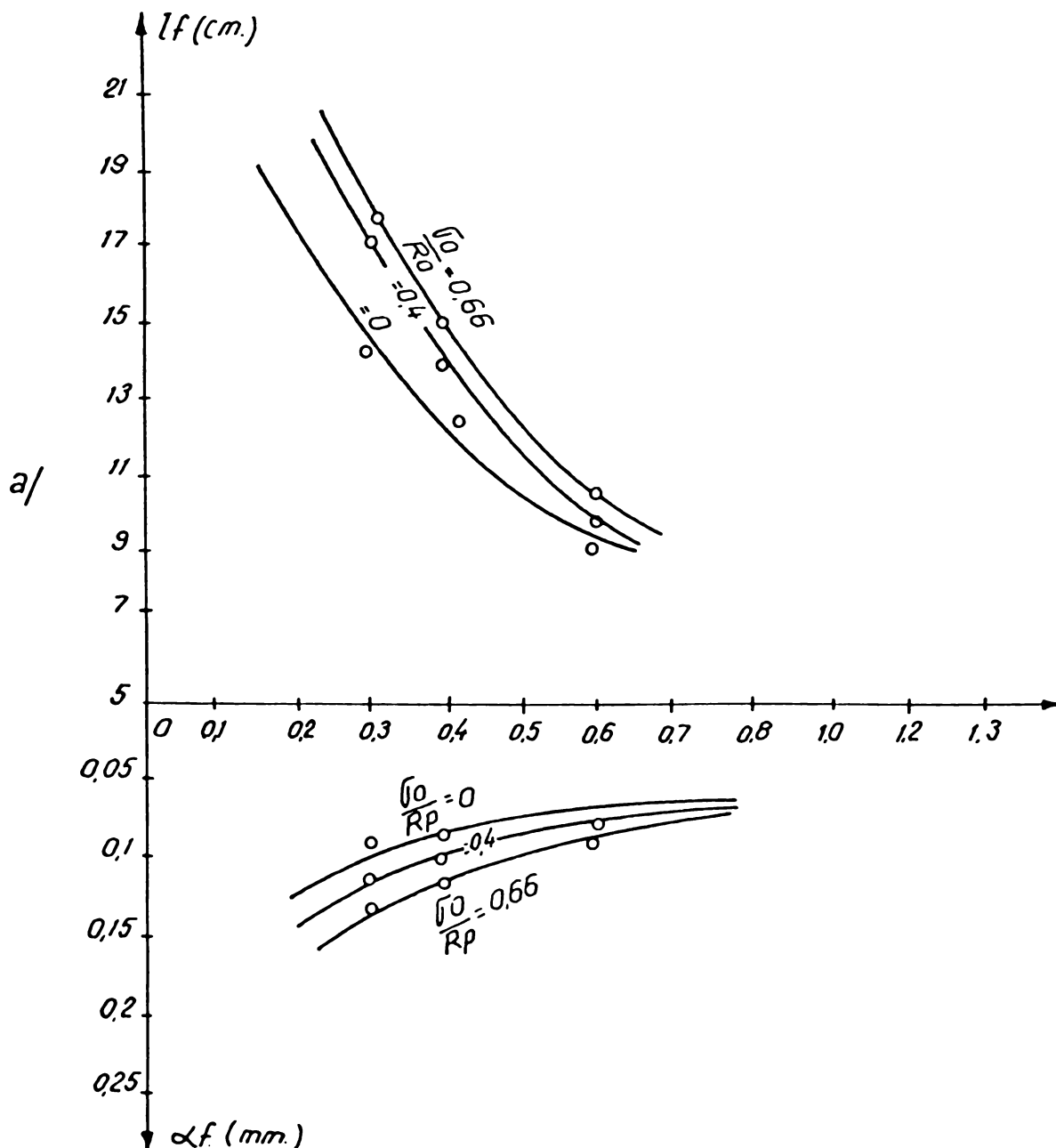


FIG. II. 10

O analiză teoretică a principalilor parametri care influențează mărimea deschiderii fisurilor la elementele de beton precomprimat, a fost efectuată și de G. Tassi /100/.

Pentru mărimea deschiderii fisurilor, stabilește următoarea relație :

$$\alpha_f = \frac{(\sigma_{pII} - \sigma_{pI})^2}{E_p \cdot R_t} \cdot \frac{d}{4} < \alpha_{fmin} \quad (II.7)$$

în care : α_f este mărimea deschiderii fisurilor, în cm;

σ_{pII} este efortul unitar în armătura pretensionată din zona întinsă în stadiul II, în daN/cm²;

σ_{pI} este efortul unitar în armătura pretensionată din zona întinsă în stadiul I, în daN/cm²;

d este diametrul armăturii, în cm;

$\alpha_{f min}$ este valoarea limită a deschiderii fisurilor dată de normativele în vigoare, în cm.

Calculul deschiderii fisurilor cu formula (II.7) se bazează pe faptul că în zona vecină a fisurilor se produce o scădere a eforturilor, însă acest lucru se poate accepta numai atunci când există o bună conlucrare între beton și armătură și mai ales în cazul diametrelor mici. La calculul deschiderii fisurilor, o problemă care necesită o atenție deosebită este determinarea corectă a lui σ_{pII} .

Avînd în vedere că expresia :

$$\frac{d}{4E_p \cdot R_t} = \frac{1}{k} \quad (II.8)$$

este o mărime cunoscută, relația (II.7) se poate scrie sub forma :

$$(\sigma_{pII} - \sigma_{pI})^2 = k\alpha_f \quad (II.9)$$

Cele două tensiuni din armătura pretensionată în stadii diferite se pot determina cu aceeași relație, diferența constă doar în faptul că tensiunea necesară pentru stadiul I se obține prin considerarea întregii secțiuni ideale, iar în stadiul II, prin luarea în considerare a zonei nefisurate de beton :

$$\sigma_p = \sigma_o + n \left[\frac{\lambda \cdot M_f \cdot y_o}{I_i} - \frac{N_o}{bh} \left(\frac{b \cdot h}{A_{b_i}} + \frac{e_o \cdot y_o}{h^3} \right) \right] \quad (II.10)$$

$$\xi = \frac{x}{h} = \frac{N}{A_{b_i}} \frac{I_i}{h(\lambda \cdot M_f - N_o \cdot e_o)} + \frac{y_s}{h} \quad (II.11)$$

Relațiile (II.10) și (II.11) sînt valabile atît pentru calculul lui σ_{pI} , cît și pentru σ_{pII} , însă în stadiul I, caracteristicile secțiunii se referă la secțiunea integrală (pentru care $\lambda=1$), iar în stadiul II, numai la zona comprimată de beton, pentru care λ este cuprins între 1 - 2 ($1 < \lambda < 2$), unde :

$$\lambda = M/M_f$$

Mărimea deschiderii fisurilor crește după o lege parabolică cu creșterea raportului M/M_f .

Se constată că în anumite zone, factorii principali sînt : mărimea forței de precomprimare, excentricitatea forței de precomprimare și mărimea zonei întinse.

Teoretizarea fenomenului fisurării după normele CEB-FIP se face luînd ca referință o stare convențională de neutralizare, care corespunde la anularea fictivă a efortului unitar în beton. Sistemul de forțe interioare care produce starea de neutralizare constă dintr-o forță normală și un moment încovoietor opus celor produse de precomprimare. Aceasta înseamnă că variația de efort în armătura pretensionată $\Delta \sigma_p$ trebuie calculată în ipoteza secțiunii fisurate pentru încărcările aplicate, minus încărcările de neutralizare.

Expresiile pentru calculul deschiderii fisurilor, după această teorie, pot fi generalizate la betonul precomprimat, de la betonul armat, atîta timp cît σ_p este calculat pornind de la starea neutralizată.

Notînd cu M_n și N_n forțele de neutralizare și cu M_e și N_e încărcările de serviciu (de exploatare), variația efortului unitar $\Delta \sigma_p$ va fi calculată în secțiunea fisurată cu solicitările : $M = M_e - M_n$ și $N = N_e - N_n$ (figura II.11).

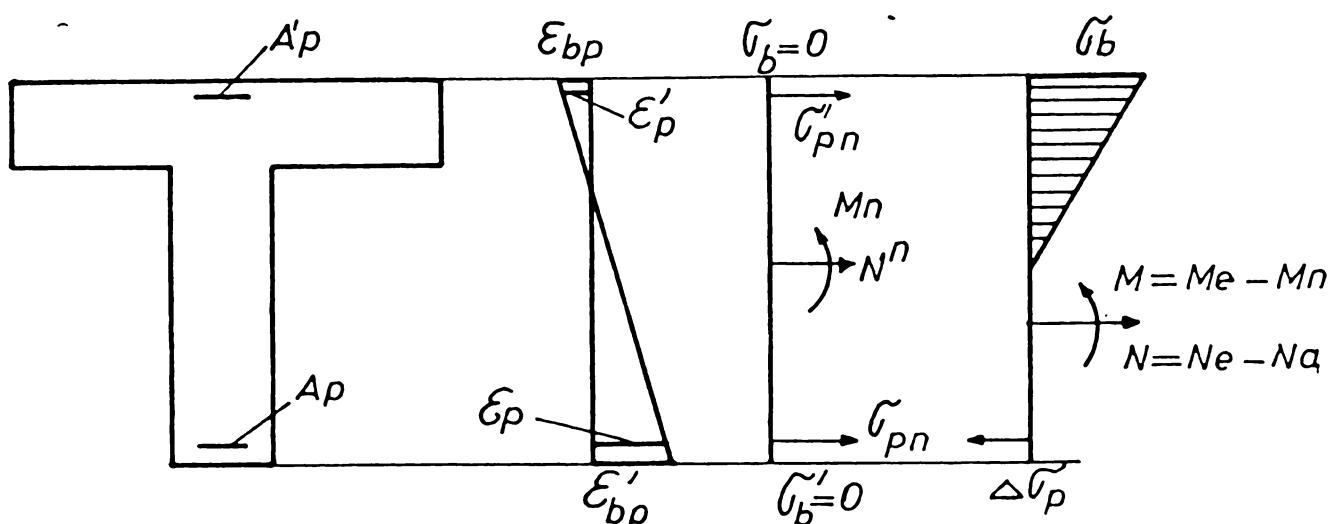


FIG. II.11

Solicitățile de neutralizare se pot determina în stadiul elastic.

În cazul încovoierii pure ($N_g = 0$) momentul încovoietor din precomprimare este contrar momentului de serviciu.

Efortul unitar $\Delta\sigma_p$ va fi calculat din compunerea încovoierii cu forța de precomprimare ($N = N_0$).

Astfel, starea limită a deschiderii fisurilor este dată de expresia :

a) în cazul încărcărilor statice sau cu un număr mic de repetiții a încărcărilor :

$$\alpha_{f_{max}} = (\Delta\sigma_p - 4000) \cdot 10^{-6} \leq \alpha_{f_{min}} \quad (\text{II.12})$$

b) în cazul încărcărilor repetate :

$$\alpha_{f_{max}} = \Delta\sigma_p \cdot 10^{-6} \leq \alpha_{f_{min}}$$

Formulele de mai sus sînt obținute prin simplificarea expresiilor generale de la beton armat, aplicate betonului precomprimat.

Formulara prezentată poate fi ușor reprezentată grafic, considerînd două tipuri de armături : armătura obișnuită și armătura preîntinsă.

În figurile II.12 și II.13 se dă variația efortului unitar în armătura obișnuită pentru diferite valori ale lui μ și μ_p , în funcție de momentul încovoietor aplicat.

Aceleași figuri arată, în funcție de μ_p , valoarea calculată a deschiderii maxime a fisurilor, determinată după formula dată de recomandările CEB-FIP.

Se observă că în fiecare diagramă curbele privitoare la diferite valori ale lui μ coincid pentru $\mu_p = 0$; valoarea corespunzătoare a lui M/bh^2 definește decompresiunea la nivelul armăturii obișnuite, care depinde numai de caracteristicile geometrice ale secțiunii, de intensitatea forței de precomprimare și de punctul de aplicație.

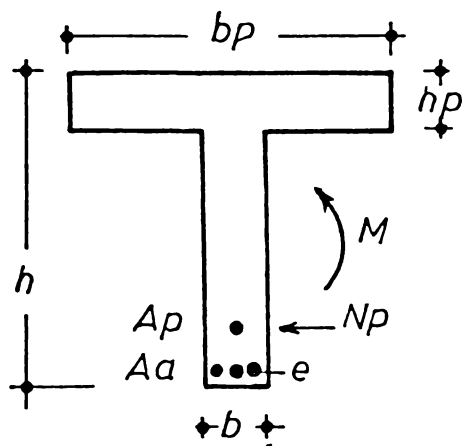
Pentru această secțiune de beton, ordonata va fi direct proporțională cu valoarea forței de precomprimare N și invers proporțională cu excentricitatea ei.

Din figurile II.12 și II.13 se mai vede influența puternică a precomprimării asupra fisurării.

În urma studiilor experimentale efectuate în cadrul laboratorului de beton armat din cadrul Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara /37/, /38/, asupra unor grinzi din beton armat

ELEMENT PARTIAL PRECOMPRIMAT

$$\frac{b_p}{b} = b \quad \frac{h_p}{b} = 0,1 \quad \frac{e}{h} = 0,1 \quad \tilde{\sigma}_p = 10000 \text{ daN/cm}^2$$



$$\mu = \frac{A_a}{b h}$$

$$\mu_p = \frac{A_p}{b h}$$

$$N_p = \tilde{\sigma}_p A_p$$

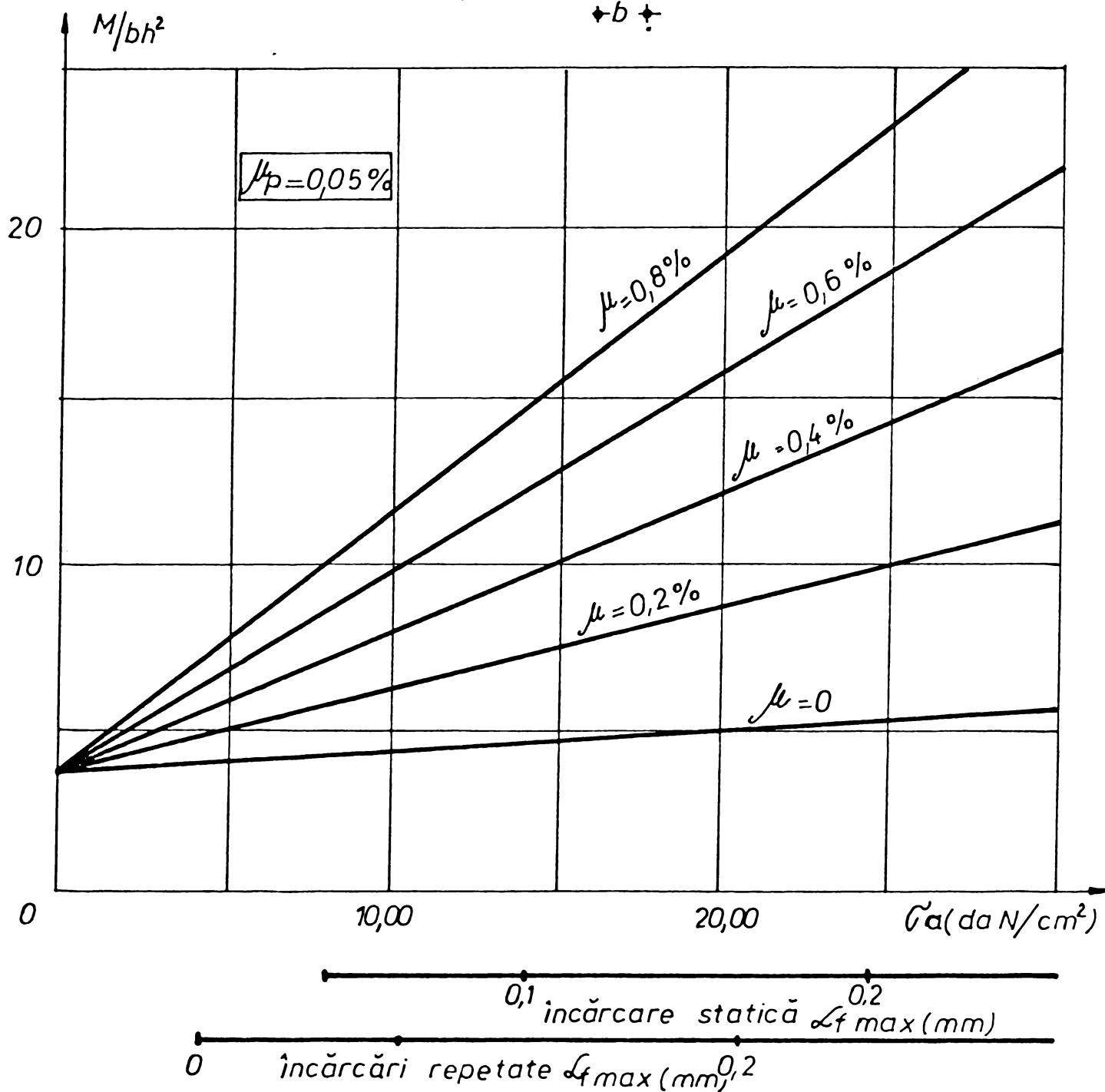


FIG II 12 RELAȚIA DINTRE M , $\tilde{\sigma}_a$ ȘI $\mathcal{L}_{f \max}$

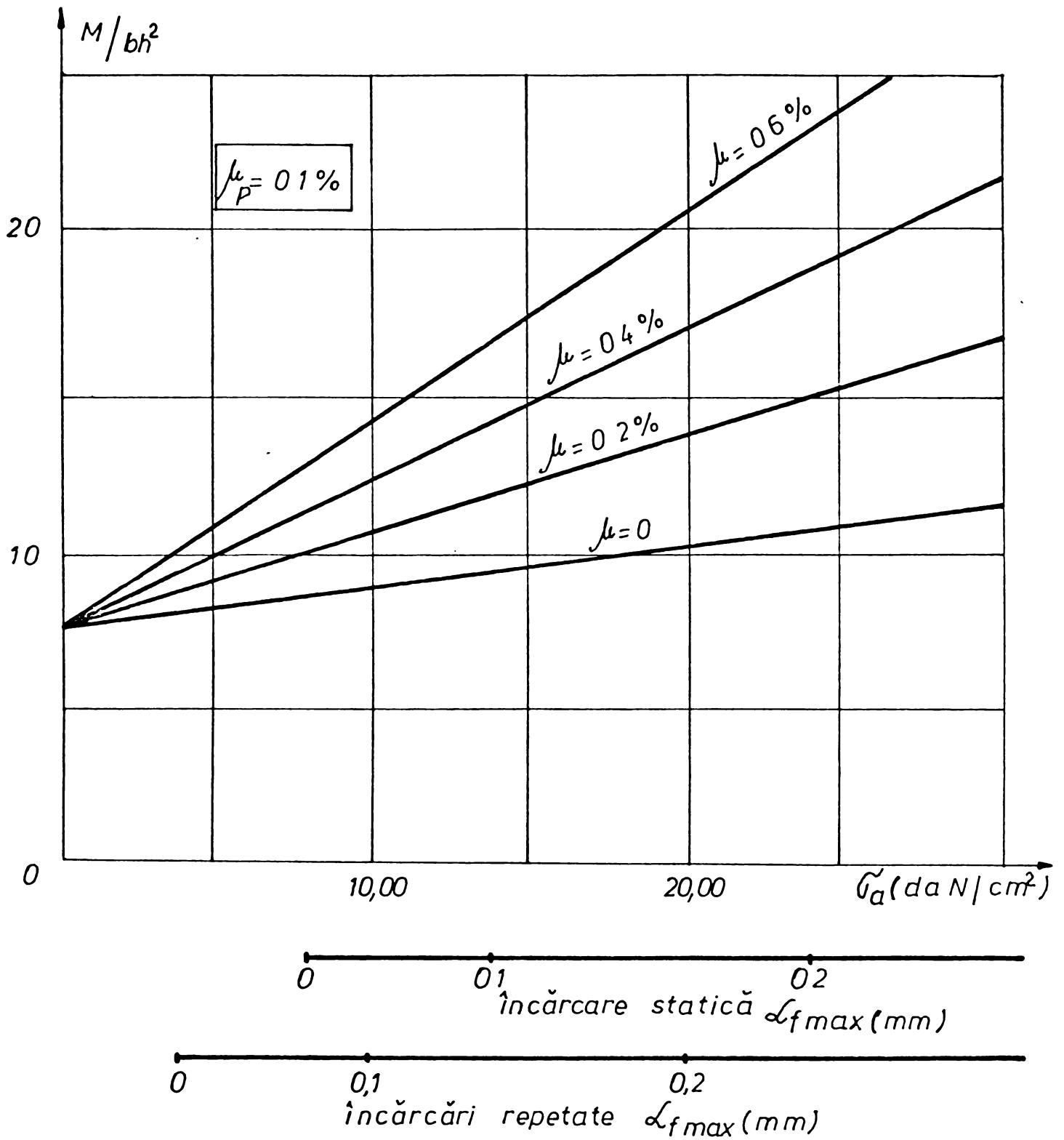


FIG. II. 13. RELAȚII DINTRE M , $\tilde{\sigma}_a$, și δ_{fmax}

precomprimat cu armătura preîntinsă din toroane și avînd grade diferite de precomprimare ($\bar{\sigma}_0/R_p^n = 0,3; 0,5$ și $0,7$), s-a constatat că valoarea momentului de fisurare crește proporțional cu gradul de precomprimare a elementului (figura II.14).

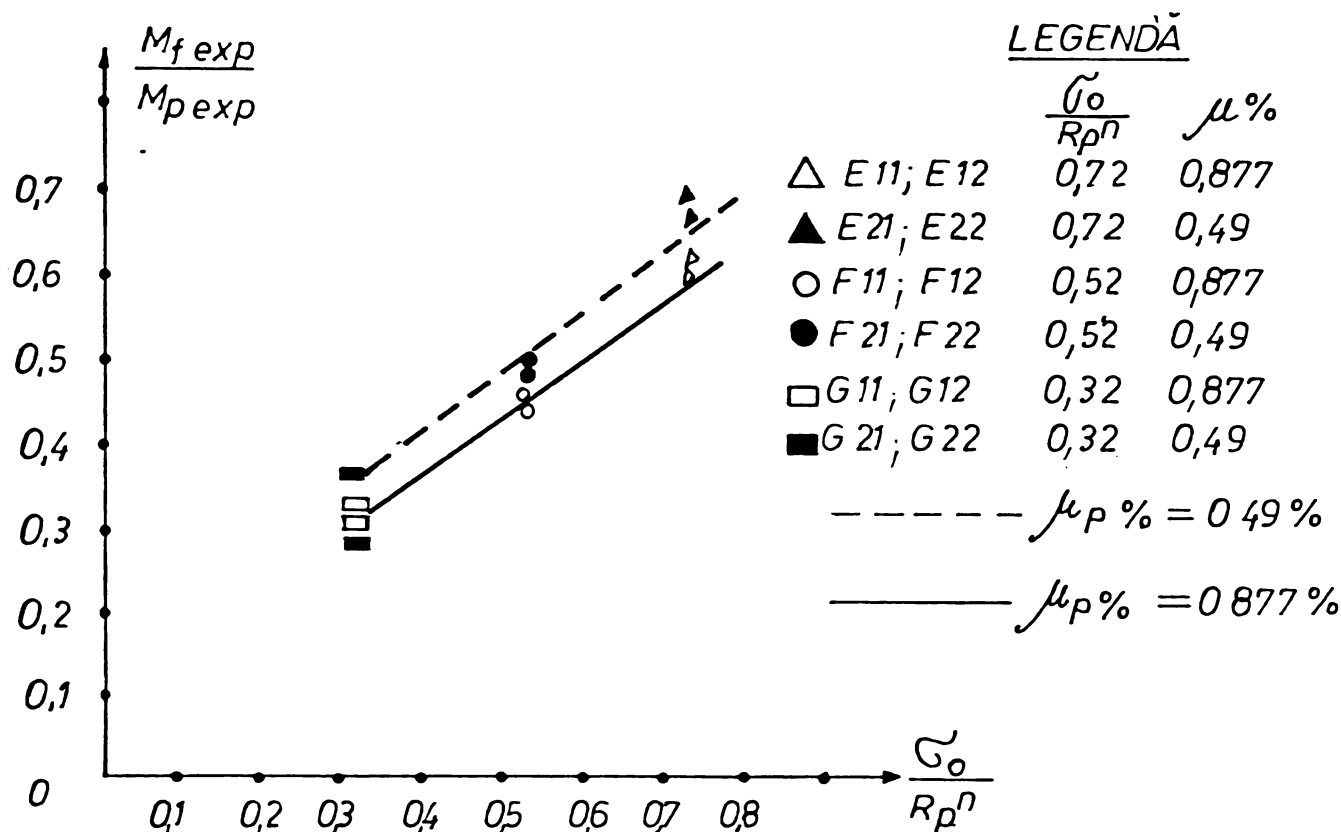


FIG. II. 14

În cercetările efectuate, s-a putut observa că atât treapta de fisurare, cât și cea de refisurare sînt puternic influențate de gradul de precomprimare. Această importantă influență a gradului de precomprimare asupra procesului de fisurare, rezultată din încercările experimentale, a determinat ca în calculul coeficientului de conlucrare dintre beton și armătura de tipul toroanelor să se țină seama și de gradul de precomprimare.

Determinarea eforturilor unitare în armătura pretensionată în stadiul II, ținînd seama de influența zonei întinse.

Se consideră o secțiune de beton precomprimat în formă de I în stadiul II, luînd în considerare și lucrul zonei întinse a betonului de deasupra fisurilor (figura II.15).

Din ecuația de momente, scrisă în raport cu rezultanta compresiunilor din zona comprimată (N_b și N_p), rezultă creșterea efortului unitar de la valoarea σ_0 , corespunzătoare efortului unitar în stadiul II :

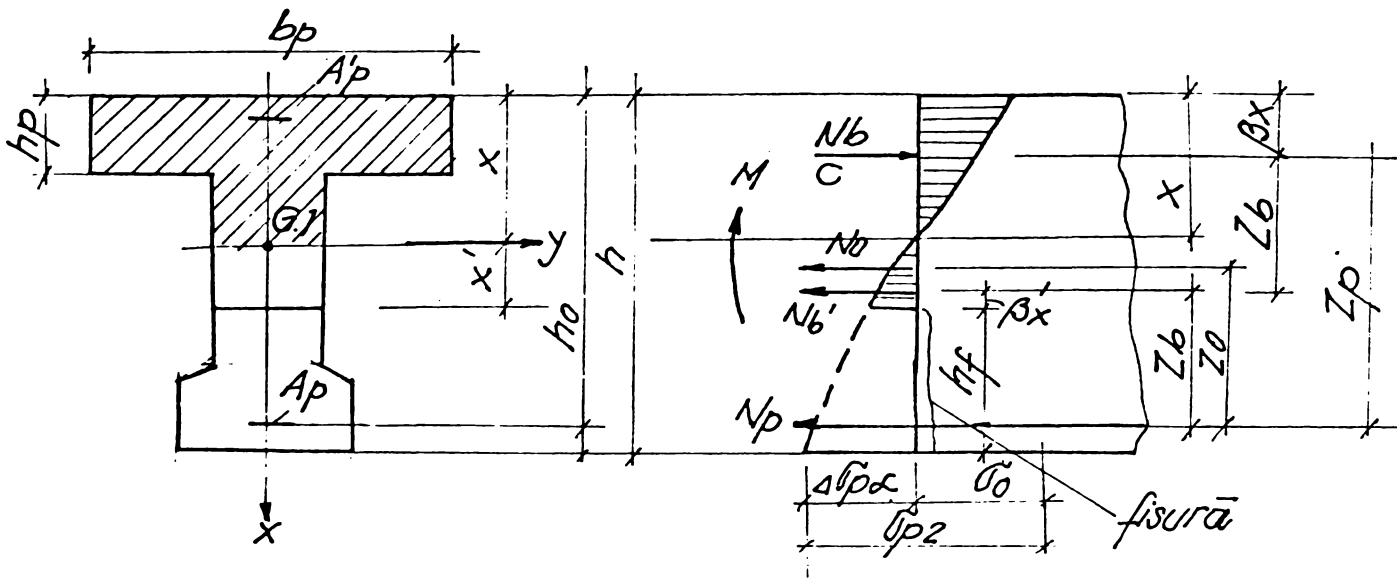


FIG. II. 15

$$\Delta \sigma_{p\alpha} = \frac{M\alpha - N_0(z_p - z_0) - N'_b \cdot z_b}{A_p \cdot z_p} \quad (\text{II.14})$$

unde : $z_p = h_0 - \frac{1}{3}x$

Valoarea efortului unitar în beton σ_b rezultă dintr-o ecuație de momente în raport cu rezultanta N_p :

$$\sigma_b = \frac{M_z}{\omega \cdot b \cdot h_0 \cdot (\xi + \gamma) \cdot z_p} \quad (\text{II.15})$$

unde : $M_z = M\alpha + N'_b \cdot z'_b + N_0 \cdot z_0$

și : $N'_b = \omega \cdot b \cdot x' \cdot \sigma'_b$

Notăm cu : ξ și ξ' valorile :

$$\xi = \frac{x}{h_0} \quad \text{și} \quad \xi' = \frac{x'}{h_0}$$

Pentru cazul dublei armări, γ va avea următoarea expresie :

$$\gamma = \frac{(b_p - b)h_p + \frac{\eta}{\nu} A'_p}{b \cdot h_0}$$

și

$$z'_b = [(1 + \xi) - \xi'(1 - \beta')] \cdot h_0 = \varphi \cdot h_0$$

$$\text{iar : } z_b = \left[\frac{(1-0,5b_p)r + \xi^2(1-\beta)}{r+\xi} + \xi'(1-\beta') \right] h_0 = \eta \cdot h_0$$

în care pentru ν se pot lua următoarele valori :

- pentru acțiunea încărcărilor de scurtă durată $\nu = 0,5$;
- pentru acțiunea încărcărilor de lungă durată $\nu = 0,15$.

Pentru coeficienții β și β' se poate admite valoarea $1/3$ la o variație liniară a eforturilor unitare.

ω și ω' reprezintă coeficientul de plinătate a diagramei eforturilor din zona comprimată, respectiv zona întinsă deasupra fisurii (pentru o variație liniară are valoarea $1/2$).

M_α este valoarea solicitării exterioare la treapta de încărcare corespunzătoare deschiderii fisurilor de mărimea α_f .

Deci calculul eforturilor unitare în armătură în stadiul II se face astfel :

efortul unitar total în armătură $\bar{\sigma}_p$ se calculează cu relația :

$$\bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_{p1} + \bar{\sigma}_{p2} \quad (\text{II.16})$$

efortul unitar în armătura pretensionată $\bar{\sigma}_{p1}$ este egal cu :

$$\bar{\sigma}_{p1} = \bar{\sigma}_0 - n_p \cdot \bar{\sigma}_{bp} \quad (\text{II.17})$$

iar efortul unitar în armătură, din încărcarea exterioară și precomprimare, $\bar{\sigma}_{p2}$ are valoarea :

$$\bar{\sigma}_{p2} = n_p \cdot \bar{\sigma}_b \cdot \frac{h_0 - x}{x} \quad (\text{II.18})$$

Efortul unitar în beton, din precomprimare la nivelul armăturii pretensionate $\bar{\sigma}_{bp}$, va avea următoarea expresie :

$$\bar{\sigma}_{bp} = \frac{\bar{N}_0}{A_{bi}} + \frac{\bar{e}_0 \cdot \bar{N}_0}{I_i} \cdot y_p \quad (\text{II.19})$$

Efortul unitar în armătura pretensionată care produce deschiderea fisurii este :

$$\Delta \bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_p - \bar{\sigma}_0 \quad (\text{II.20})$$

unde : $\bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_{p1} + \bar{\sigma}_{p2}$

iar : $\bar{\sigma}_0$ - efortul unitar de calcul

sau $\Delta \bar{\sigma}_p$ se poate calcula și cu relația (II.21) :

$$\overline{\Delta \sigma}_p = \frac{M - N_0(z_p - z_0)}{A_p \cdot z_p} \quad (\text{II.21})$$

unde : $z_p = h_0 - \frac{1}{3} x$, iar z_0 este distanța de la N_0 la centrul de greutate al armăturii pretensionate.

2.4. Considerații asupra stabilirii lungimii de transmitere a eforturilor de pretensionare asupra betonului la elementele de beton precomprimat.

Interacțiunea dintre armătură și beton se manifestă în mod diferit la elementele din beton armat față de elementele din beton precomprimat, după cum urmează :

La betonul armat, în zonele extreme, unde, de obicei se creează ancorajul, sub influența încărcărilor exterioare, prin introducerea barelor de oțel, se produce, datorită efectului Poisson, o micșorare a diametrului acestora, ceea ce face ca presiunea laterală ce s-a exercitat inițial de către beton asupra barelor, să se micșoreze pe măsură ce efortul de tracțiune dintre ele crește. De asemenea, datorită aceluiași fenomen, prin alungirea barei, betonul aderent ce se înglobează în lungul barei, este solicitat la întindere.

La betonul precomprimat, odată cu efectuarea transferului de efort de la cable la beton, se produce, datorită aceluiași efect Poisson, o creștere a diametrului acestuia, iar consecința este punerea sub efort de compresiune a zonelor de beton ce înconjoară armăturile.

Funcție de precizările de mai sus, se întâlnesc eforturi de aderență prin întindere (în cazul betonului armat) și eforturi de aderență prin compresiune (în cazul betonului precomprimat), rezistența betonului la aderență prin întindere fiind mult inferioară aderenței prin compresiune.

Lungimea de transmitere " l_t " este lungimea de la capetele epruvetelor, confecționate și încercate după recomandările Comisiei Mixte RILEM-CEB-FIP, pe care se produce transmiterea integrală prin aderență a efortului din armătură, betonului, la transfer.

Lungimea de ancorare " l_a " este definită ca lungimea minimă a unei epruvete tip de beton pentru care se realizează ruperea armăturii prin solicitarea la smulgere, fără a se manifesta alunecarea acesteia la capătul opus al epruvetei.

Cele două mărimi " l_t " și " l_a " sînt caracteristicile principale ale oțelurilor pentru betoane precomprimate ancorate în beton prin aderență, de care trebuie să se țină seama la proiectarea elementelor din beton precomprimat.

Gr. Munteanu, /65/, stabilește următoarea relație pentru lungimea de transmitere pentru epruvete din beton cu granolit, armate cu toroane :

$$l = 55,4 - 0,1253R + 0,00268\sigma \quad (\text{II.22})$$

unde : l este lungimea de transmitere la betoane precomprimate avînd armătura din toroane;

R - este rezistența la compresiune pe cuburi a betonului la transfer;

σ - este efortul unitar de întindere în armătură la transfer.

Atît în rezultatele obținute de Gr.Munteanu, cît și de alții, se confirmă faptul că între caracteristica rezultativă l , și caracteristicile factoriale R și σ , există următoarele raporturi de corelație :

- caracteristica rezultativă este direct proporțională cu efortul din armătură la transfer σ și
- caracteristica rezultativă este invers proporțională cu rezistența betonului la transfer R .

Încă de la utilizarea precomprimării, lungimea de transmitere a sîrmelor cu diametru mic a fost mereu subiectul mai multor dezbateri. Pînă în anul 1946, se considera că mărimea maximă a diametrului sîrmelor netede utilizate la pretensionare trebuie să fie de aproximativ 2 mm.

Freyssinet nota că lungimea de transmitere a sîrmelor de 3 mm diametru era de aproximativ 20 diametri, în timp ce - conform unui raport elvețian publicat în același timp - lungimea de transmitere a sîrmelor de 2 mm diametru era de aproximativ 80 - 100 diametri.

Este interesant, de altfel, de notat că - într-un timp - sîrmele cu diametru mai mare de 2 mm erau interzise în tehnica precomprimării, în Belgia.

Primele experiențe asupra grinzilor pretensionate, efectuate la Londra în anul 1941, au arătat insuccesul aderenței și apariția fisurilor.

Variatele metode folosite la aprecierea lungimii de trans-

mitere sînt bazate, fiecare, pe încercări experimentale asupra dispoziției barelor sau prin metode experimental-analitice cuprinzînd încercări de aderență sau încercări de smulgere cu o lungime mică a încastrării pentru fiecare tip de toron. Aceste metode sînt însă limitate ca aplicabilitate.

Apare necesitatea unei metode simple și generale, care să țină cont de toți factorii care influențează lungimea de transmitere și care să se ocupe de problema distribuției eforturilor transversale în zonele de capăt ale grinzilor precomprimate cu armătură pretensionată.

Formula lui Evans.

Evans arată că distribuția eforturilor de aderență poate fi exprimată sub forma :

$$\sigma_{bx} = \sigma_{bo} \cdot e^{-cx}$$

unde : σ_{bx} - este efortul de aderență la o distanță oarecare x de capătul elementului;

σ_{bo} - este efortul de aderență la capătul elementului.

Distribuția alunecărilor sîrmelor în beton la capete este dată de formula :

$$\Delta_x = \Delta_o \cdot e^{-cx}$$

unde : Δ_x este alunecarea sîrmelor în beton la o distanță x de la capăt;

Δ_o este alunecarea sîrmelor în beton la capete.

Utilizînd aceste relații la eforturile din oțel și beton, Evans obține în final următoarea relație :

$$l_t = \frac{\Delta_o}{(\epsilon_s - \epsilon_c)} \cdot \log e \frac{\Delta_o}{\Delta_x} \quad (\text{II.23})$$

unde : ϵ_s este efortul inițial în sîrmele de oțel;

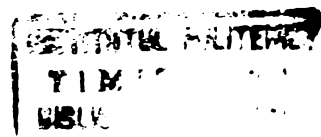
ϵ_c este efortul final în beton.

Din rezultatele experimentale ale lungimii de transmitere, raportul Δ_o / Δ_x a fost luat egal cu 40 și astfel formula lui Evans devine :

$$l_t = \frac{3.6 \cdot \Delta_o}{\epsilon_s - \epsilon_c} \quad (\text{II.24})$$

Formula lui Guyon /40/

Guyon dezvoltă relațiile dintre deplasarea spre interior a sîrmelor la capătul liber și lungimea de transfer, bazate pe diferite presupuneri :



- aderența este în întregime elastică :

$$\lambda = 180 \cdot \Delta_0 \quad (\text{II.25})$$

- aderența este în întregime plastică :

$$\lambda = 360 \Delta_0 \quad (\text{II.26})$$

λ fiind lungimea caracteristică.

În final, Guyon consideră că aderența este elastică și că tensiunea în sîrmă urmează o lege exponențială și se poate lua o lungime de transmitere de 500 - 600 Δ_0 .

Formula lui Guyon devine astfel :

$$l_t = 550 \Delta_0 \quad (\text{II.27})$$

fiind acceptată din cauză că aceasta este media între 500 și 600 și de asemenea este aproximativ egală cu 3λ .

Formula lui Marshall /52/

$$l_t = \frac{5}{3} (1 + 12m) \quad (\text{II.28})$$

unde : $m = \frac{E_s}{E_c}$ și este raportul modulilor de elasticitate a oțelului și betonului.

Formula lui Marshall și Krishnamurthy /51/

$$l_t = \sqrt{\frac{\sqrt{u_t} \cdot 10^{-3}}{K_1 \cdot C}} \quad (\text{II.29})$$

unde : u_t este rezistența cubică a betonului la transfer;
 K_1, C sînt coeficienți.

Această relație semiempirică care leagă lungimea de transmitere cu rezistența cubică la transfer, dă valori destul de bune ale acesteia, pentru diferite sîrme și toroane.

Pentru mărcile de beton considerat în calcule, care sînt utilizate curent în practică, valorile experimentale și cele de calcul sînt foarte apropiate, așa încît formula poate fi utilizată cu încredere.

Formula lui Krishnamurthy /51/

$$l_t = \sqrt{\frac{\Delta_0}{K}} \quad (\text{II.30})$$

unde : K este un coeficient în funcție de toron;

Δ_0 este alunecarea firelor de la capătul grinzii.

Această metodă se bazează pe măsurarea alunecării sîrmelor la transfer. Ea va servi de asemenea la verificarea în producția

fabricilor, indicînd dacă for a de precomprimare a fost transferată eficient sau nu.

Formula dată de STAS 10107/0-76/119/.

$$l_t = K_t \cdot d \quad (II.31)$$

unde : K_t este un coeficient pentru TBP, care este funcție de rezistența betonului la transfer  i are valori cuprinse între 55  i 85;

d este diametrul de referin a a armăturilor.

Cunoa terea lungimii de transmitere pentru diferite toroane precomprimate este foarte importantă în cazul elementelor scurte. Dacă transferul are loc în mod brusc, lungimea de transmitere spore te cu distanța de $0,25 l_t$ de la capătul elementului, pe care efortul unitar din armătură se consideră egal cu zero.

Pentru cazul în care efortul unitar din armătură determinat pe lungimea de transmitere are efect defavorabil, valorile lui K_t se reduc cu 20%.

3. CONLUCRAREA BETONULUI CU ARMATURA LA ELEMENTELE DIN BETON ARMAT PRECOMPRIMAT

3.1. Aspecte generale

Elementele din beton precomprimat armate numai cu torcane, în general nu pot func iona - în stadiul de exploatare - fisurate, datorită unor posibilit a i accentuate de coroziune a armăturii. Se poate accepta fisurarea lor numai în condițiile unor limitări foarte s trict  - ale deschiderii fisurilor - de ordinul a $0,05$ mm, sau, eventual, ceva mai mari - însă aceasta numai la încărcări temporare, după încetarea cărora este necesar să se închidă fisura.

Procesul formării  i deschiderii fisurilor la elementele din beton precomprimat depinde at t de condițiile specifice de aderența a diferitelor tipuri de armături, c t  i de repartizarea armăturilor în secțiunea transversală  i de starea de tensiune permanentă creată prin precomprimare.

 n prezent, sînt studii pu ine în legătură cu particularit a ile conlucrării armăturii pretensionate sub formă de toroane cu betonul în diferite stadii de lucru a elementului. Influența conlucrării armăturii pretensionate sub formă de toroane, cu betonul, are o importan a deosebită asupra procesului de fisurare  i a mărimii

deschiderii fisurilor. Rezultatele încercărilor experimentale arată că apar diferențe mari între mărimea deschiderii fisurilor efectiv măsurate din încercările experimentale și cele calculate teoretic, una din cauze fiind evaluarea necorespunzătoare a coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură ψ .

Calculul mărimii deschiderii fisurilor pe baza normelor românești /119/ se face cu relația :

$$\alpha_f = \psi \cdot \frac{\overline{\Delta\sigma}_p}{E_p} \lambda_f \quad (\text{III.1})$$

unde : α_f este mărimea deschiderii fisurilor;

λ_f este distanța dintre fisuri;

E_p este modulul de elasticitate a armăturii pretensionate;

$\overline{\Delta\sigma}_p$ este efortul unitar în armătura pretensionată în secțiunea cu fisură (în stadiul II);

ψ este coeficientul de conlucrare dintre armătură și beton

Conform prescripțiilor în vigoare /119/, pentru ψ se consideră valoarea 1, ceea ce este prea acoperitor.

3.2. Influența diferiților factori asupra coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură

Rezultatele încercărilor experimentale efectuate de autor /84/ asupra grinzilor armate cu toroane avînd diferite grade de pre-comprimare, arată că la apariția fisurilor apar alunecări suplimentare între armătură și beton, astfel încît mărimea deschiderii fisurilor imediat după apariție poate atinge valori între 0,08 - 0,13 mm, în funcție de gradul de precomprimare a elementului și diametrul echivalent al toronului. Aceste deschideri ale fisurilor, pronunțate la apariție, se datoresc unor alunecări ale toronului la apariția imediată a fisurilor. Cu creșterea încărcării, mărimile deschiderii fisurilor cresc, menținîndu-se însă conlucrarea între armătură și beton, pînă aproape de ruperea elementului. La evaluarea coeficientului ψ , dată de normele noastre, nu s-a ținut seama de o serie de factori care influențează procesul de conlucrare a armăturii cu betonul și nici de gradul de pretensionare a secțiunii și care are o influență destul de mare asupra procesului de fisurare. De asemenea, așa cum arată studiile lui I.M. Nemirovski /69/, procesul de fisurare este influențat - la elementele încovoiate și încărcate cu o forță excentrică - de lucrul zonei întinse a betonului, care se compune din lucrul betonului întins^{de} asupra fisurilor și din

lucrul betonului din fisuri.

Acest fenomen se manifestă în mod diferit, în funcție de stadiul de lucru a elementului. După cum se remarcă, betonul întins deasupra fisurilor joacă un rol esențial imediat după fisurare, iar într-un stadiu avansat, rolul lui devine mai puțin important, în timp ce betonul dintre fisuri continuă să lucreze pînă în apropiere de ruperea elementului.

În figura III.1 se arată variația coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură ψ , în funcție de treapta de încărcare M_f/M , la încercările lui I.M. Nemirovski.

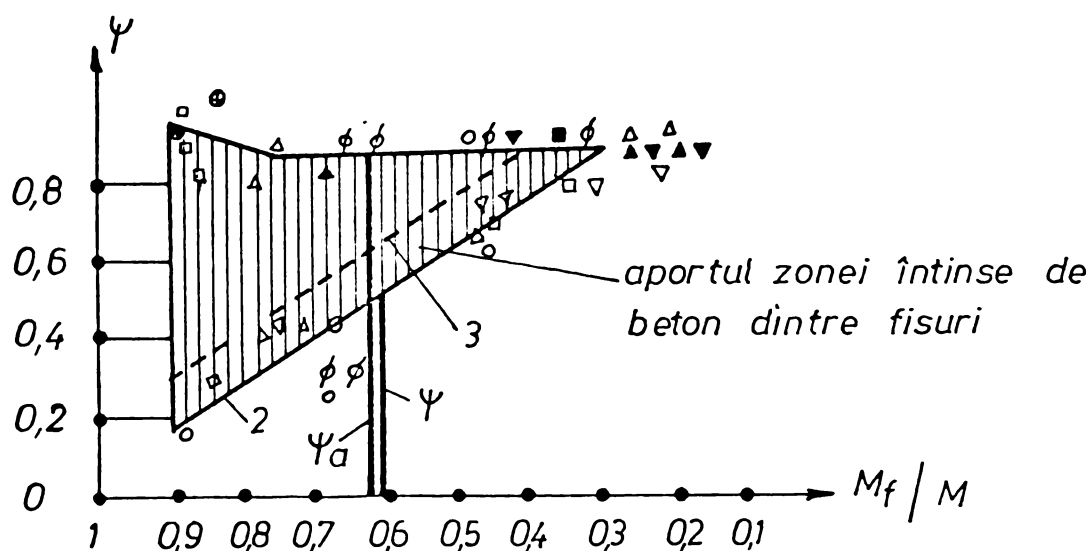


FIG. III. 1

Dreapta 1 din figură reprezintă variația coeficientului ψ , calculat fără a lua în considerare betonul întins deasupra fisurilor, iar dreapta 2 reprezintă variația coeficientului ψ , în care s-a considerat și lucrul betonului întins deasupra fisurilor pînă aproape de ruperea elementului. Dreapta 3 reprezintă variația coeficientului ψ , propus de I.M. Nemirovski, a cărei ecuație este dată de relația :

$$\psi = 1,1 - 1,3 \frac{M_f}{M} \quad (\text{III.2})$$

Din figură rezultă că diferența $\psi_a - \psi$ cu creșterea încărcărilor se reduce pînă la anularea completă la o fază avansată a încărcărilor.

În capitolul II.3 s-au determinat eforturile unitare în armătura în stadiul II ($\Delta\sigma_{p\alpha}$) și în betonul comprimat (σ_b), luînd în considerare și lucrul zonei întinse a betonului de deasupra fisurilor (figura II.15).

$$\Delta \tilde{\sigma}_{p\alpha} = \frac{M_{\alpha} - N (z_p - z_0) - N'_b \cdot z_b}{A_p \cdot z_p} \quad (\text{II.14})$$

și

$$\tilde{\sigma}_b = \frac{M_z}{\omega \cdot b \cdot h_0 (\xi + \gamma) \cdot z_p} \quad (\text{II.15})$$

Rezultatele eforturilor din zona întinsă deasupra fisurilor are valoarea :

$$N'_b = \omega' \cdot b \cdot x' \cdot \tilde{\sigma}'_b$$

Pentru determinarea înălțimii zonei comprimate (ξ) și a zonei întinse de beton deasupra fisurii (ξ') vom proceda în felul următor :

Notăm cu ξ și ξ' raporturile dintre x/h_0 , respectiv x'/h_0 . Apoi alegem valorile lui : ω ; ω' ; β ; β' ; ν și $\tilde{\sigma}'_b = R_t$, adică 6 mărimi din cele 9 necunoscute și vom obține două ecuații cu trei necunoscute, de forma :

$$\begin{aligned} f_1(\xi ; \xi' ; \Delta \tilde{\sigma}_p) &= 0 \\ f_2(\xi ; \xi' ; \Delta \tilde{\sigma}_p) &= 0 \end{aligned} \quad (\text{III.3 - III.4})$$

Eliminînd din aceste două ecuații pe $\Delta \tilde{\sigma}_p$, obținem o singură ecuație cu două necunoscute :

$$f(\xi ; \xi' ; \Delta \tilde{\sigma}_p) = 0 \quad (\text{III.5})$$

Pentru rezolvarea problemei este nevoie și de a doua ecuație, ce se poate obține din ipoteza secțiunilor plane. Ipoteza secțiunilor plane nu este, în general, valabilă în secțiunea cu fisură, datorită unor alunecări ce apar între beton și armătură, la deschiderea fisurii. De aceea, a doua ecuație se obține din analiza dependenței între înălțimea fisurilor și încărcarea exterioară.

Notăm cu :

$$\varphi = \frac{x}{x_m} = \frac{\xi + \gamma}{\xi' + \gamma'} \quad (\text{III.6})$$

unde : x_m este înălțimea medie a zonei comprimate de beton, și cu :

$$\alpha = \frac{\mu_p \cdot m \cdot \psi_b}{\omega \cdot \nu \cdot \psi} \quad (\text{III.7})$$

α fiind o caracteristică a elementelor din beton precomprimat.

Introducînd aceste notații în ecuația (III.5), obținem o

ecuație de următoarea formă :

$$\xi^3 \cdot \frac{\beta \cdot h_0}{e_1} + \xi^2 \left(1 - \frac{h_0}{e_1}\right) + \xi \left[\alpha + \gamma - \frac{\gamma \cdot h_0 (1 - 0.5b_p)}{e_1} \right] - \alpha \varphi = 0 \quad (\text{III.8})$$

în care s-a notat :

$$e_1 = \frac{M_z}{M} = \frac{\omega' R_t \cdot \xi \cdot b \cdot h_0^2 [1 - \xi - \xi'(1 - \beta)] + N_0 \cdot z_0 + M_\alpha}{\omega' R_t \cdot \xi' \cdot b \cdot h_0 + N_0} \quad (\text{III.9})$$

unde :

$$N = N_0 + N'_0 \quad (\text{III.10})$$

$$N'_0 = \omega' b \cdot x' R_t \quad (\text{III.11})$$

În calculul poziției axei neutre, se poate lua raportul :

$$\frac{\psi_0}{\psi} \cong 1 \quad \left(\text{unde } \psi_b = \frac{\xi_{bm}}{\xi_m} \quad \text{și} \quad \psi = \frac{\xi_{pm}}{\xi_p} \right)$$

Se observă că ecuația (III.5) conține două necunoscute ξ și ξ' , pentru rezolvarea căreia - așa cum s-a arătat - este necesară o lege experimentală între înălțimea fisurii și încărcare, încât $\xi + \xi'$ depinde de treapta de încărcare.

Această lege experimentală este de forma :

$$\xi + \xi' = \frac{h - h_f}{h_0} = \eta \quad (\text{III.12})$$

unde :

h_f este înălțimea fisurii la treapta corespunzătoare de încărcare.

Pe baza încercărilor experimentale efectuate de autor s-a determinat variația raportului $(h - h_f)/h_0$ în funcție de treapta de încărcare M_f/M pentru elementele din beton precomprimat cu diferite procente de armare și grade de precomprimare (figura III.2).

Cunoscînd valorile lui η , se ridică nedeterminarea din ecuația (III.8) și poate fi calculat ξ și ξ' .

Din măsurătorile încercărilor experimentale, a fost determinată și variația mărimii lui $\varphi = \xi/\xi_m$, în funcție de treapta de încărcare (fig. III.3).

Din figura III.3 se observă că φ variază între limitele 0,98 și 0,80 cu creșterea treptei de încărcare.

Deci pentru treapta de încărcare corespunzătoare unei mărimi admisibile a deschiderii fisurii de 0,05 mm, se poate accepta

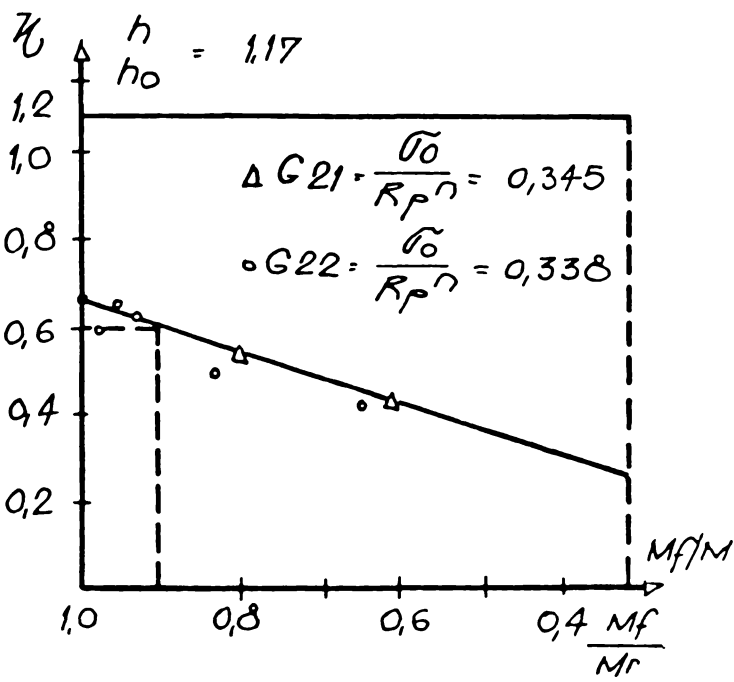
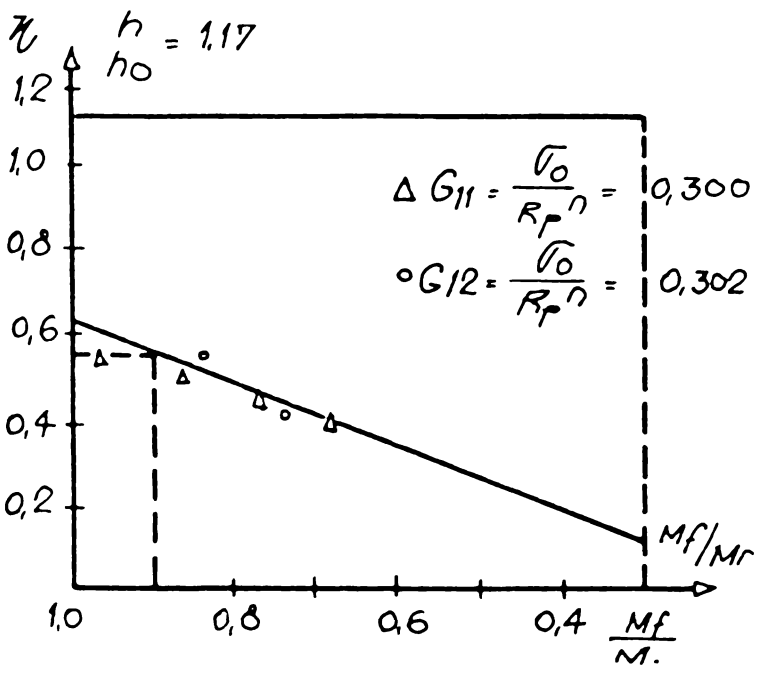
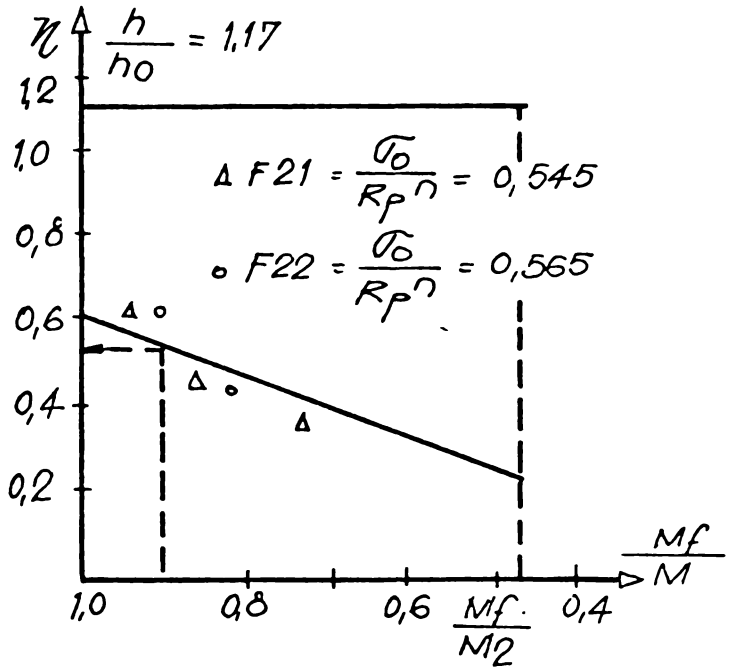
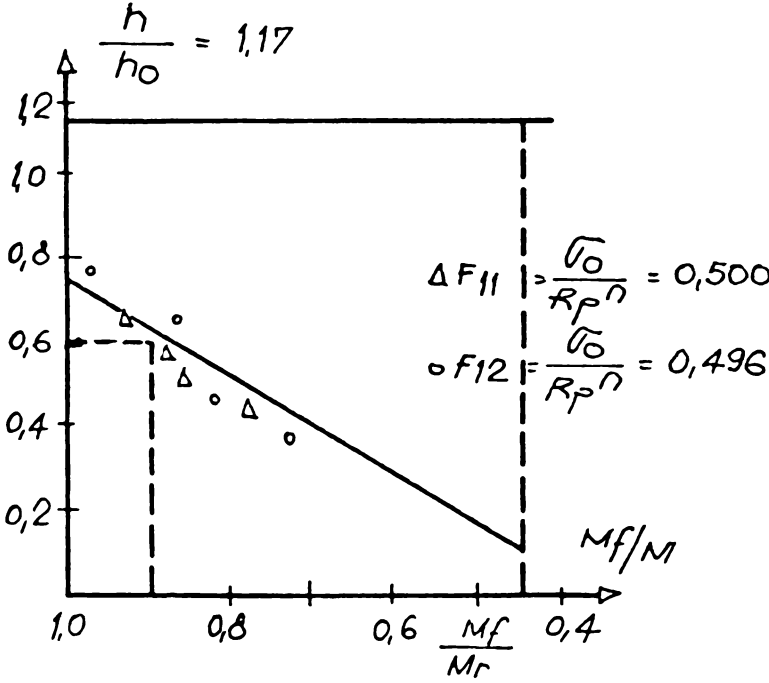
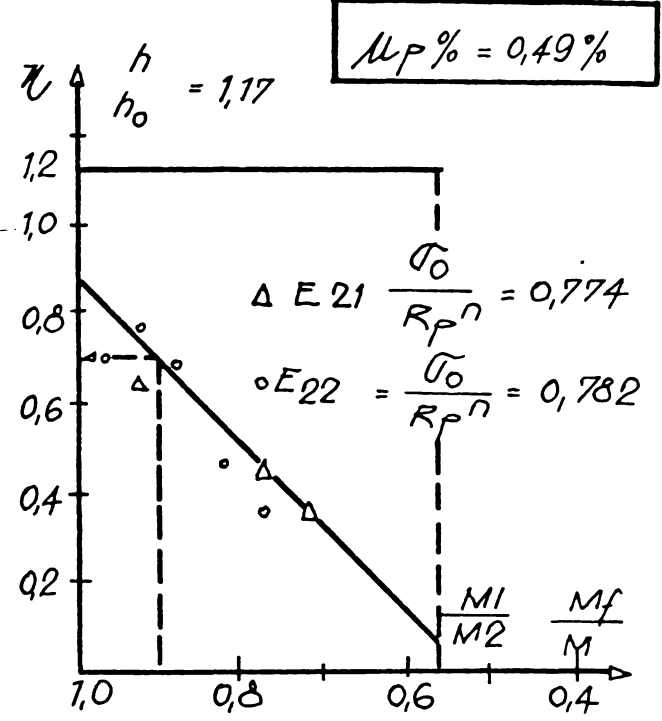
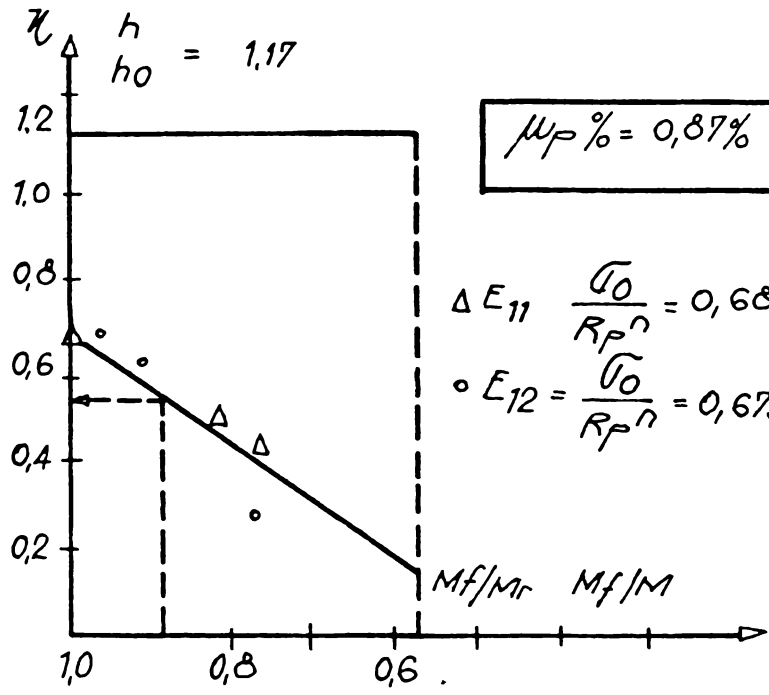


FIG. III 2

pentru φ valoarea de 0,95.

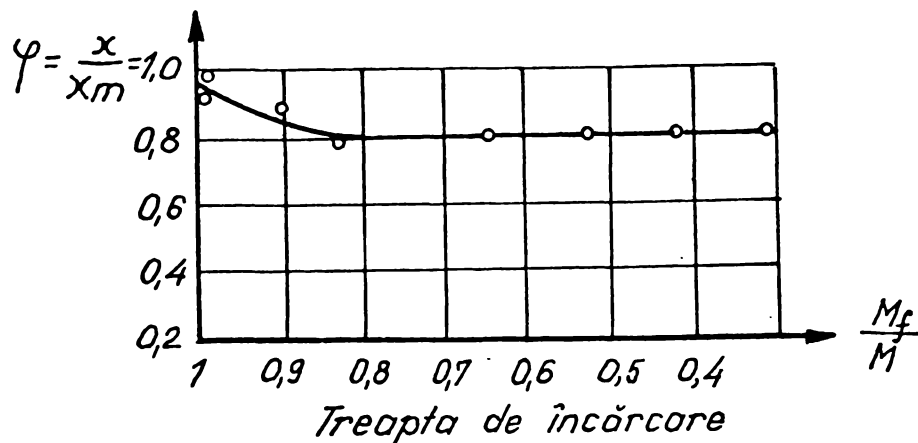


FIG. III. 3

Produsul $\omega \cdot \nu$ variază între 0,5 și 0,35, în funcție de treapta de încărcare. Pentru treapta de încărcare corespunzătoare unei deschideri a fisurilor de 0,05 mm la încărcarea de scurtă durată, se poate accepta valoarea de 0,5.

Cu ajutorul valorilor lui ξ date de sistemul format de ecuațiile (III.8) și (III.12), se poate determina valoarea lui $\Delta \sigma_p$ care ține seama, în cazul elementelor din beton armat precomprimat, de conlucrarea zonei întinse a betonului de deasupra fisurilor și de zona întinsă dintre fisuri.

3.3. Calculul coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură

Studiile experimentale efectuate de mai multe laboratoare au arătat că pentru elementele din beton armat precomprimat, valoarea coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură ψ depinde în mare măsură de condițiile de aderență și de gradul de precomprimare și anume că variază între 0,4 - 1, funcție de acești parametri.

Aderența dintre armătura pretensionată, armătura nepretensionată și beton influențează procesul de fisurare și mărimea deschiderii fisurilor.

Relația propusă pentru determinarea coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură ψ se poate exprima, funcție de treapta de încărcare, sub formă liniară :

$$\psi = a - b \frac{M_f}{M} \quad (\text{III.13})$$

Coeficienții a și b se vor determina pe baza prelucrării statistice a datelor experimentale, măsurate pe elementele încercate.

Determinarea acestor coeficienți se va face în așa fel, încât să se țină seama de o serie de factori, cum ar fi :

- gradul de precomprimare a elementului;
- aportul betonului întins de deasupra fisurilor.

Considerînd că treapta de încărcare M_f/M este variabila explicativă a lui ψ , se poate determina dreapta care permite să se obțină ψ funcție de M_f/M cu o probabilitate determinată.

În cazul legăturii celor două variabile, dreptele de regresie sînt :

$$\psi = a_0 + a_1 \cdot \frac{M_f}{M} \quad (\text{III.14})$$

și

$$\frac{M_f}{M} = b_0 + b_1 \cdot \psi \quad (\text{III.15})$$

unde :

$$a_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{M_f}{M} \cdot i - \frac{\bar{M}_f}{M} \right) (\psi - \bar{\psi})}{\left(\frac{M_f}{M} \cdot i - \frac{\bar{M}_f}{M} \right)^2} \quad (\text{III.16})$$

$$a_0 = \bar{\psi} - a_1 \cdot \frac{\bar{M}_f}{M} \quad (\text{III.17})$$

$$b_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{M_f}{M} \cdot i - \frac{\bar{M}_f}{M} \right) (\psi - \bar{\psi})}{\sum_1^n (\psi - \bar{\psi})^2} \quad (\text{III.18})$$

$$b_0 = \frac{\bar{M}_f}{M} - b_1 \cdot \bar{\psi} \quad (\text{III.19})$$

PARTEA A II-a STUDIU EXPERIMENTAL

Cap. 4. PROGRAMUL EXPERIMENTAL SI EFECTUATEA INCERCARILOR

4.1. Scopul programului experimental

Scopul principal al programului experimental este acela de a determina influența aderenței asupra procesului de fisurare a elementelor din beton armat precomprimat cu armătură din toroane.

Procesul formării, apariției și deschiderii fisurilor la elementele din beton precomprimat din categoria a III-a de fisurabilitate - elementele din beton armat precomprimat - diferă de cel al elementelor din beton armat, depinzând atât de condițiile specifice de aderență a toroanelor, de repartizarea armăturii pretensionate în secțiunea transversală, cât și de starea de tensiune creată prin precomprimare.

S-a urmărit, în cadrul programului experimental, studiul anumitor parametri care influențează atât apariția fisurilor, cât și dezvoltarea lor.

Astfel, la apariția fisurilor este necesar să fie studiate următoarele :

- influența gradului de precomprimare asupra procesului de fisurare;
- dependența dintre forța de fisurare și procentul de armare a elementelor pretensionate;
- studierea încărcării de exploatare la care fisurile pot să lipsească la precomprimarea parțială a elementului;
- mecanismul de apariție și dezvoltare a fisurilor la grade de precomprimare mici sau zero.

La dezvoltarea fisurilor este necesar să fie studiați următorii factori :

- dependența valorii deschiderii fisurilor și a distanței dintre fisuri în funcție de procentul de armare și de gradul de precomprimare;
- stabilirea gradului de conlucrare a armăturii pretensionate sub formă de toroane cu betonul, în porțiunea dintre fisuri (în stadiul II), în funcție de treapta de încărcare și gradul de precomprimare;
- stabilirea efortului unitar în armătura pretensionată în

stadiul II în secțiunea cu fisură.

Prin încercările efectuate se va extinde domeniul de aplicare a elementelor din beton precomprimat din clasa III de fisurabilitate - elementele din beton armat precomprimat - realizându-se astfel un consum redus de armătură față de elementele din beton armat, asigurându-se în același timp și economii de beton pentru acoperirea acelorasi deschideri.

4.2. Programul experimental

Programul experimental s-a desfășurat în două etape, după cum urmează :

Etapa I. În această etapă s-au proiectat, executat și încercat 16 elemente experimentale de secțiune T și I. Elementele au fost confecționate din beton precomprimat de marcă B 500 și armate cu toroane TBP 9 și TBP 12.

Procentul de armare $\mu_p\%$ este cuprins între 0,438% și 0,962%. Gradul de precomprimare $\tilde{\sigma}_o/R_p$ a fost de 0,5.

Etapa a II-a. Pentru a completa programul din etapa I, s-au mai proiectat, executat și încercat un număr de 12 elemente experimentale de secțiune I. Elementele au fost confecționate tot din beton precomprimat, avînd marca B 500 și armate cu toroane TBP 9 și TBP 12. Procentul de armare a avut două valori : $\mu_p\% = 0,49\%$ și 0,877%, iar gradul de precomprimare $\tilde{\sigma}_o/R_p^n$, valorile : 0,3; 0,5 și 0,7.

Pentru a putea urmări gradul de conlucrare a toronului cu betonul, la elementele fisurate în stadiul II, tot în această etapă s-au mai proiectat, executat și încercat un număr de 8 elemente din beton armat de secțiune dreptunghiulară. Elementele au fost confecționate din beton de marcă B 350 și B 500, fiind armate cu toroane TBP 9 și TBP 12. Procentul de armare a avut două valori : 0,243% și 0,432%, iar gradul de precomprimare a avut valoarea zero.

Proiectarea și alcătuirea elementelor experimentale

În etapa I s-au proiectat cîte 4 tipuri de grinzi : tipul A, B, C și D, fiecare tip de grindă avînd cîte 4 elemente, Deci în total s-au proiectat un număr de 16 elemente experimentale.

În tabelul IV.1 sînt date caracteristicile grinzilor încercate și gradul de precomprimare realizat imediat după transfer.

La proiectarea elementelor s-a ținut cont de caracteristici-

Tabelul IV.1.

Caracteristicile grinzilor experimentale din etapa I.

Nr. Crt.	Indicativ grindă	Forma secțiunii	Nr. buc.	A _b (cm ²)	A _{bi} (cm ²)	Caracteristicile armăt. longitudin.		Armătura transvers.	σ _o (kg/cm ²)	σ _o / R _{yk} ⁿ	N _o (t)	e _o (cm)
						A _p	A' a					
1.	A1 și A2		2	534	568	2TBPl2	3Ø14	Ø 6 la 10 cm	8982 9009	0,528 0,535	16,10 16,25	14,55
2.	A3 și A4		2	387	421	2TBPl2	3Ø14	Ø6 la 10 cm	8655 8656	0,510 0,510	15,50 15,50	16,92
3.	B1 și B2		2	534	566,6	3TBp9	3Ø14	Ø6 la 10 cm	11069 11195	0,615 0,620	16,55 16,75	14,59
4.	B3 și B4		2	387	419,6	3TBp9	3Ø14	Ø6 la 10 cm	10723 10731	0,615 0,615	16,20 16,20	14,03
5.	C1 și C2		2	534	550 ⁷⁵	1TBPl2	2Ø14	Ø6 la 10 cm	10415 10415	0,650 0,650	9,37 9,37	14,27
6.	C3 și C4		2	387	403 ⁷⁴	1TBPl2	2Ø14	Ø6 la 10 cm	10316 10316	0,545 0,545	9,25 9,25	19,73
7.	D1 și D2		2	534	555 ⁷⁷	2TBp9	2Ø14	Ø6 la 10 cm	8899 9254	0,495 0,515	8,89 9,25	14,40
8.	D3 și D4		2	387	408 ⁷⁸	2TBp9	2Ø14	Ø6 la 10 cm	8890 8890	0,495 0,495	8,89 8,89	16,85

Tabelul IV.2.

Caracteristicile fizico-mecanice ale betonului folosit la confecționarea elementelor experimentale pretensionate de secțiune T și I.

Elementul	Rezistențele betonului (daN/cm ²)				Modulul de elasticitate E _b (daN/cm ²)	
	La 28 zile (punerea în operă în condiții STAS)		In momentul încercării elementelor experimentale (punerea în operă prin vibrare)		La 28 zile (punerea în operă în condiții STAS)	In momentul încercării elementelor (punerea în operă prin vibrare)
	R _b	R _b	R _{pr}	R _t		
A1	440	460 _t = 35 z	295	28,5	266.000	266.000
A2	442	460 _t = 37 z	295	28,5	266.000	266.000
A3	412	440 _t = 53 z	290	27,5	253.000	262.000
A4	410	440 _t = 51 z	290	27,5	253.000	262.000
B1	452	475 _t = 39 z	300	29,5	269.000	270.000
B2	447	475 _t = 42 z	300	29,5	269.000	270.000
B3	435	475 _t = 60 z	300	29,5	251.000	270.000
B4	430	475 _t = 64 z	300	29,5	251.000	270.000
C1	407	430 _t = 49 z	290	27,0	258.000	260.000
C2	410	430 _t = 47 z	290	27,0	257.000	260.000
C3	455	490 _t = 63 z	315	32,0	251.000	287.000
C4	455	490 _t = 62 z	315	32,5	251.000	285.000
D1	455	480 _t = 46 z	305	31,5	275.000	277.000
D2	455	480 _t = 44 z	305	31,0	276.000	279.000
D3	435	460 _t = 58 z	295	28,5	253.000	265.000
D4	435	460 _t = 56 z	295	28,5	253.000	268.000

le geometrice ale cofrajului metalic de la INCERC București, unde s-au turnat probele, și din această cauză elementele experimentale au fost proiectate cu următoarele caracteristici :

- înălțimea secțiunii transversale : $h = 40$ cm;
- lățimea plăcii în zona comprimată : $b_p = 20$ cm;
- înălțimea plăcii în zona comprimată : $h_p = 8$ cm;
- grosimea inimii grinzii : $b = 6$ cm;
- lungimea elementelor experimentale : $L = 5$ m.

Transferul s-a realizat numai după ce s-a atins, în elementele experimentale, o rezistență minimă de 335 daN/cm^2 .

Pentru armarea transversală s-au utilizat etrieri din oțel beton OB 38 avînd diametrul de 6 mm, fiind așezați la o distanță de 10 cm între ei, în zona de reazem, și 20 cm în cîmp.

Pentru a prelua eventualele eforturi de întindere din pre-comprimare, la partea superioară s-a prevăzut armătură obișnuită, în funcție de mărimea forței de precomprimare N_0 : $A'_a = 3 \text{ } \emptyset 14$ respectiv $2 \text{ } \emptyset 14$.

Caracteristicile fizico-mecanice ale betonului sînt date în tabelul IV.2, iar caracteristicile fizico-mecanice ale armăturii pretensionate, utilizată la armarea elementelor pretensionate sînt date în tabelul IV.3.

Tabelul IV.3.

Caracteristicile fizico-mecanice ale toroanelor utilizate.

Nr. Crt.	Tipul toronului	Caracteristici fizico-mecanice			
		Limita de curgere convențională (daN/cm^2)	Rezistența la rupere (daN/cm^2)	Alungirea specifică la rupere (%)	Modulul de elasticitate E_p (daN/cm^2)
1	TBP 9	17.000	18.800	0,88	1.835.000
2	TBP 12	16.200	17.950	0,80	2.400.000

Caracteristicile fizico-mecanice ale toroanelor pretensionate au fost determinate prin încercări la întindere directă, măsurîndu-se deformațiile. Pe baza măsurătorilor efectuate au fost ridicate diagramele $\sigma - \epsilon$ pentru ambele tipuri de toroane, diagramele fiind reprezentate în figurile IV.la și IV.lb.

Transferul s-a realizat între 5 și 8 zile de la turnarea

SBP - toron 7 ϕ 4 mm.

$$A_p = 7 \times 12,5 = 87,5 \text{ mm}^2$$

$$P_r = 16.500 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_r = 189 \text{ Kg/cm}^2 = 18.900 \text{ Kg/cm}^2$$

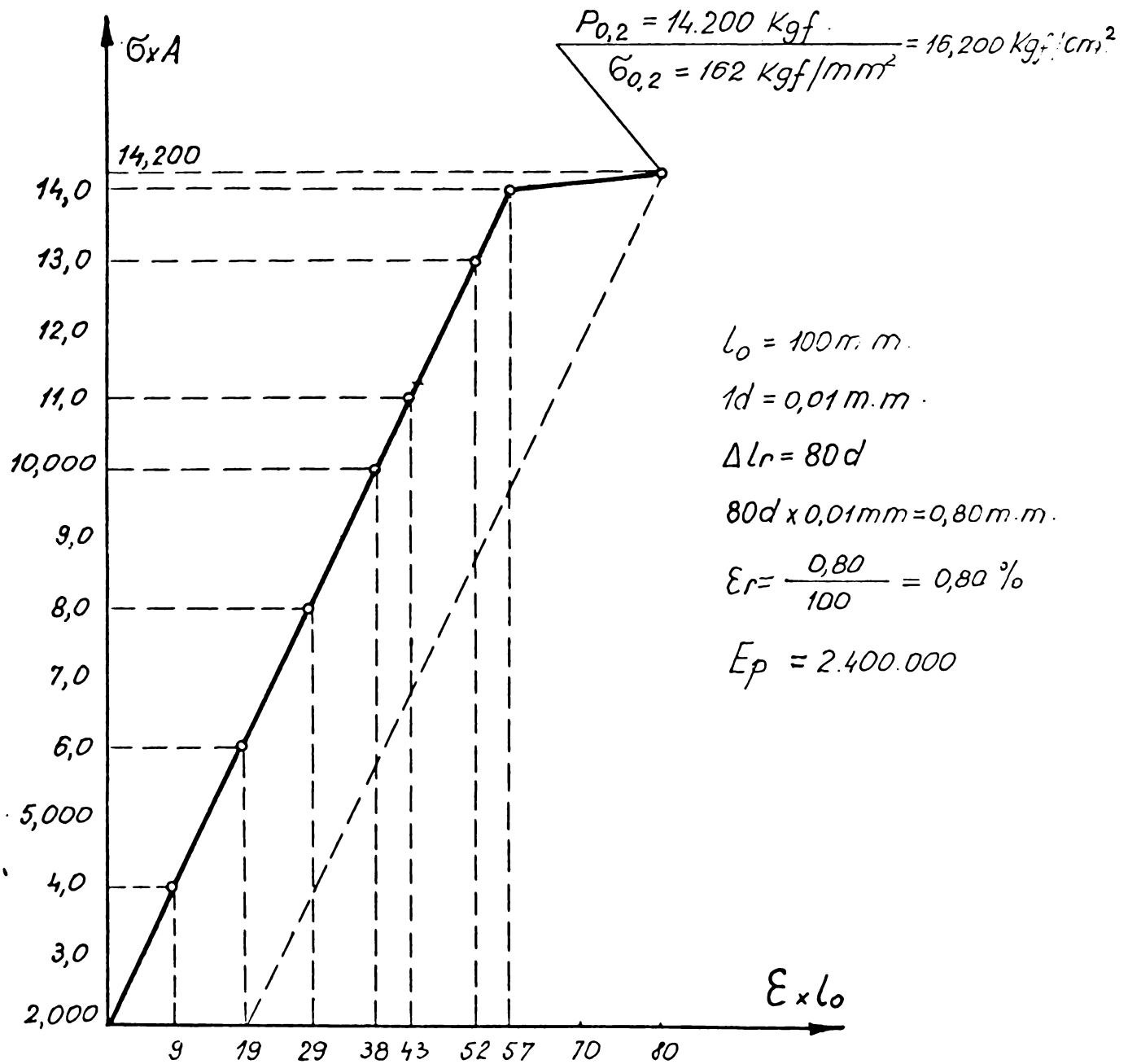


FIG. IV 1a

SBP - foron 7 ϕ 3 m.m.
 $A = 7 \times 7,07 = 49,5 \text{ mm}^2$

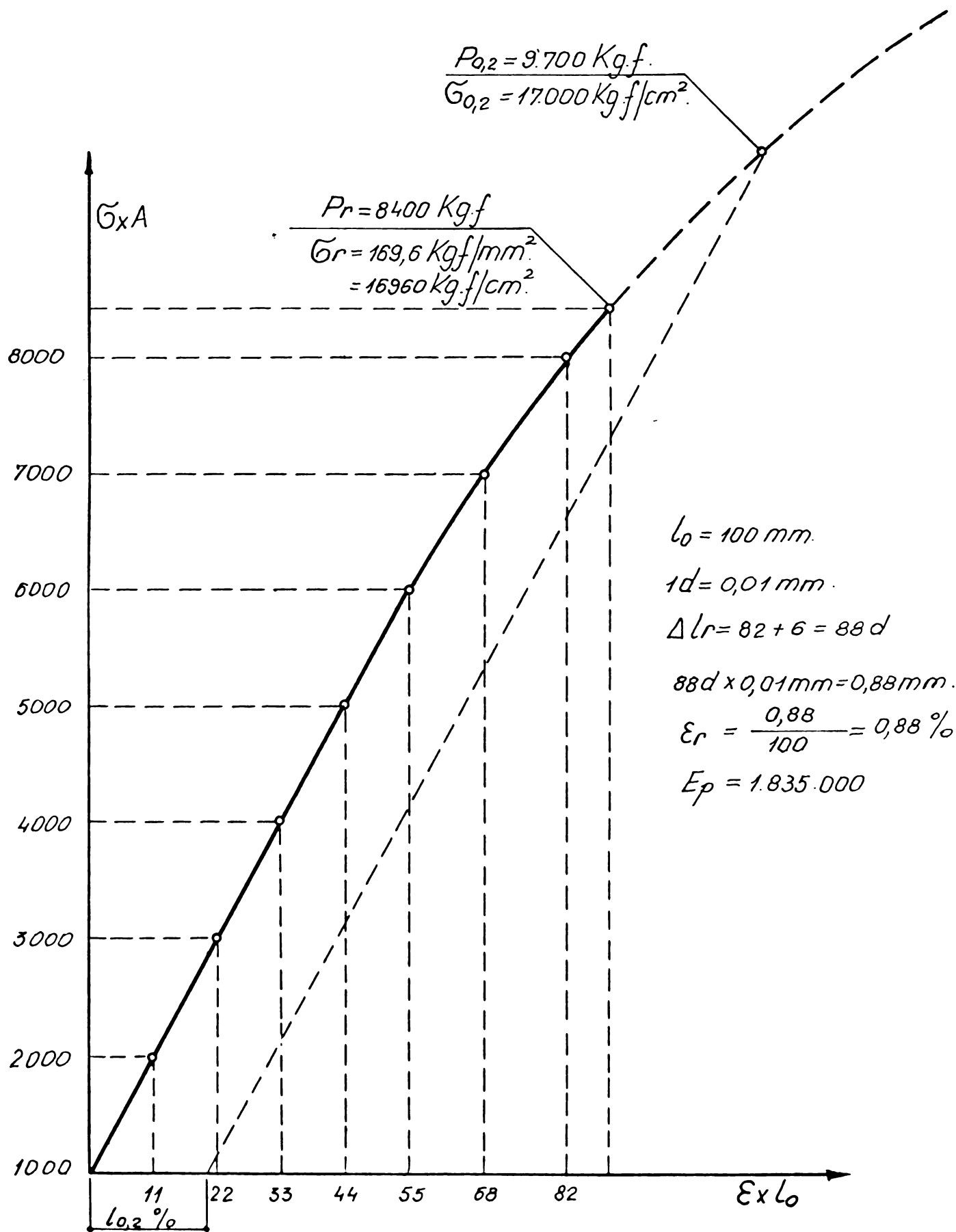


FIG. IV. 1.b

elementului, executându-se în bune condițiuni și asigurându-se astfel rezistența minimă la transfer, prevăzută în cadrul programului experimental.

Caracteristicile secțiunii transversale ale elementelor experimentale sînt arătate în figurile IV.2 - IV.5.

În vederea măsurării deformațiilor betonului la diferite trepte de încărcare, pe una din fețele elementelor experimentale au fost fixate timbre tensometrice cu baza de măsurare $l_0 = 5$ cm. Dispunerea timbrelor tensometrice și a aparatelor pentru măsurarea deformațiilor, se arată în figura IV.6.

În etapa a II-a, s-au proiectat un număr de 12 elemente experimentale din beton precomprimat, avînd secțiunea I.

Caracteristicile acestor grinzi sînt date în tabelul IV.4, iar caracteristicile de pretensionare imediat după transfer sînt date în tabelul IV.5.

Caracteristicile fizico-mecanice ale betonului folosit la confecționarea grinzilor din etapa II-a sînt date în tabelul IV.6.

Elementele au fost proiectate avînd aceleași dimensiuni ca și cele din etapa I, cu deosebirea că s-au utilizat trei grade de precomprimare : $\bar{\sigma}_0/R_p^n = 0,3; 0,5$ și $0,7$ și două procente de armare : $\mu_p\% = 0,49\%$ respectiv $0,877\%$.

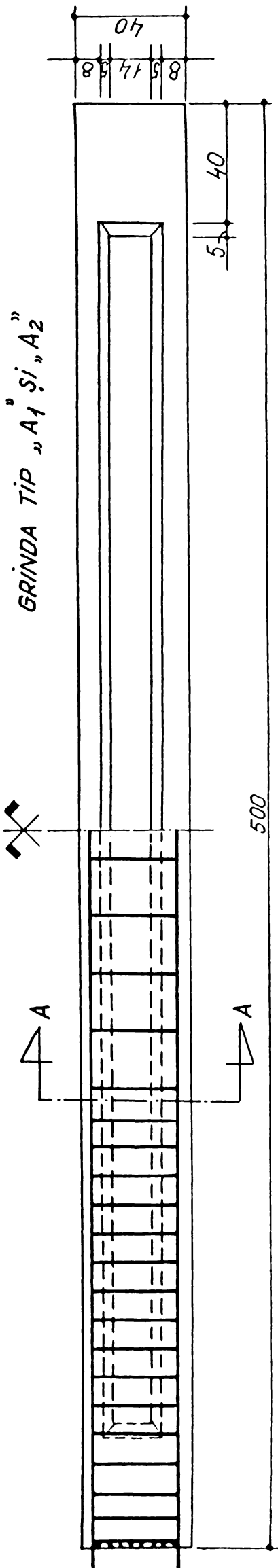
De asemenea, față de elementele din prima etapă, diferă armătura transversală. Astfel, pentru elementele turnate în etapa a II-a, ca armătură transversală, s-au utilizat - în zona cu forțe tăietoare - etrieri $\emptyset 6$ la 10 cm, iar în zona centrală, pe o lungime de 2 m, în felul următor :

- la grinzile notate cu indicele 1.1 - etrieri $\emptyset 6$ la 30 cm;
- la grinzile notate cu indicele 2.1 - etrieri $\emptyset 6$ la 15 cm;
- la grinzile notate cu indicele 1.2 și 2.2 nu au fost prevăzuți etrieri în zona centrală.

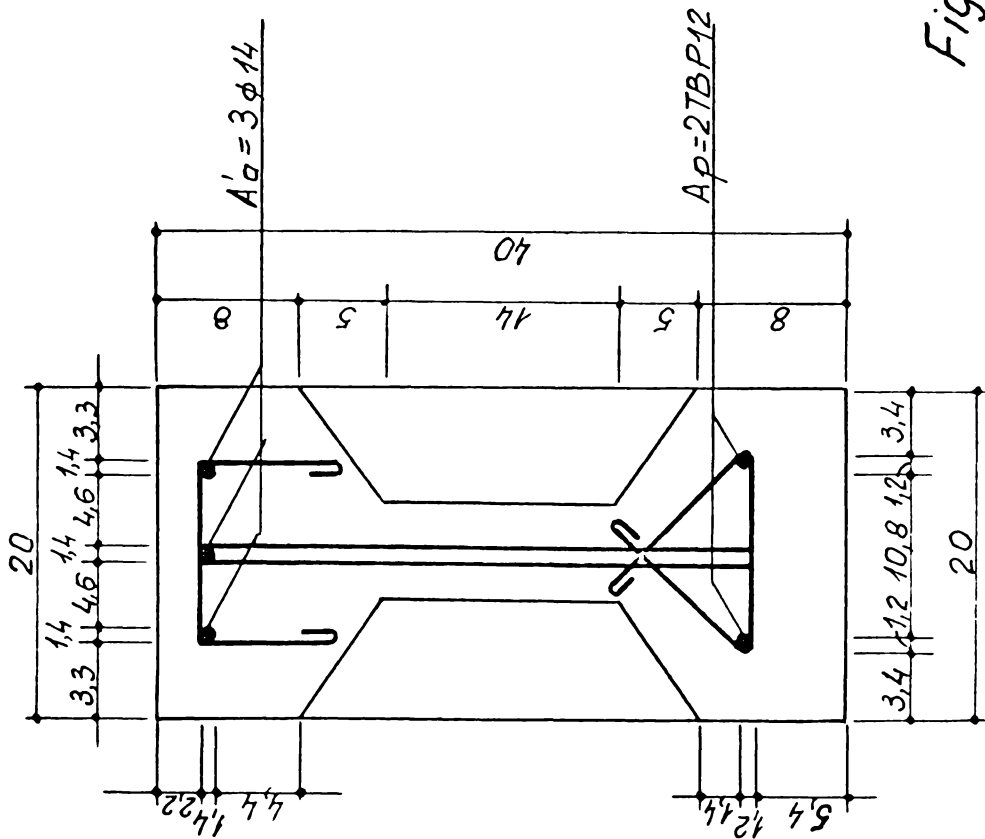
Pentru preluarea eventualelor eforturi de întindere din zona compeimată, s-a prevăzut armătură obișnuită, la unele elemente, în funcție de mărimea forței de precomprimare N_0 : $A'_a = 3 \emptyset 14$.

Gradul de precomprimare a elementelor experimentale din etapa a II-a, calculate la data încercării, considerată ca fază finală, este dat în tabelul IV.7.

Caracteristicile secțiunii transversale ale elementelor experimentale, din etapa a II-a, sînt arătate în figura IV.7 și IV.8.



SECȚIUNEA A-A



GRĂȚA R φ6/3cm.

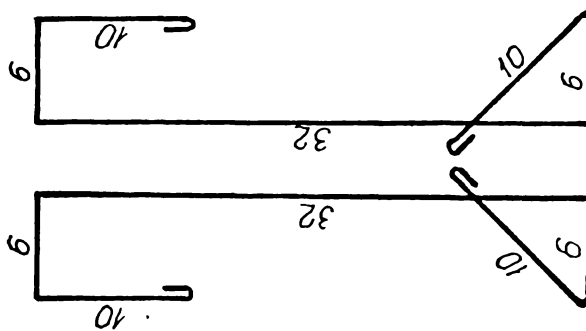
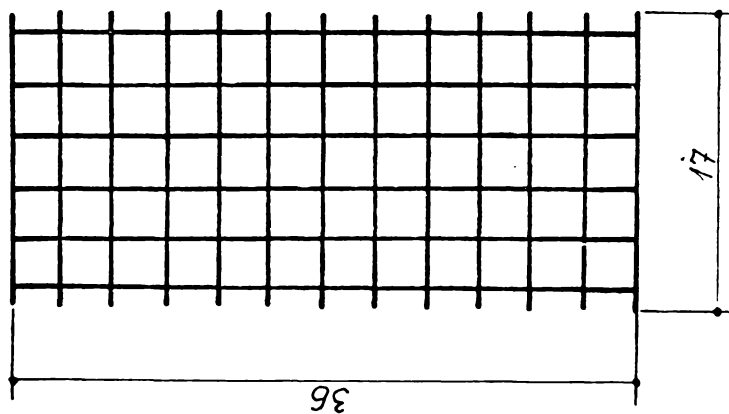
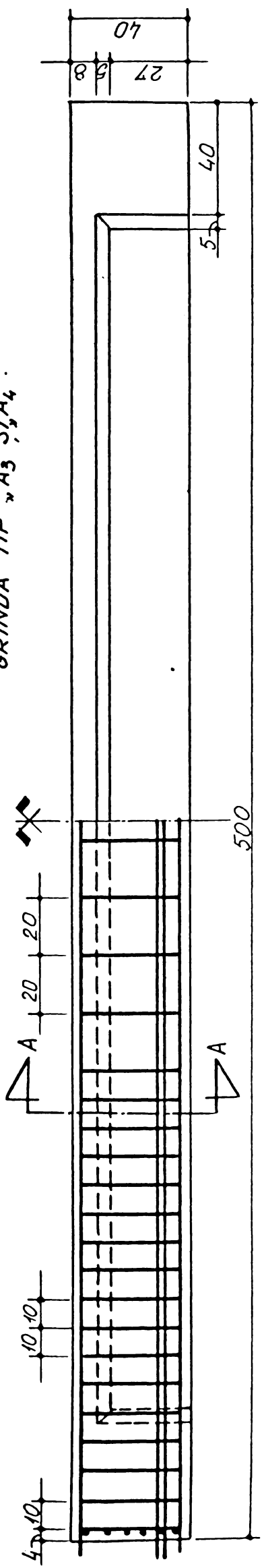
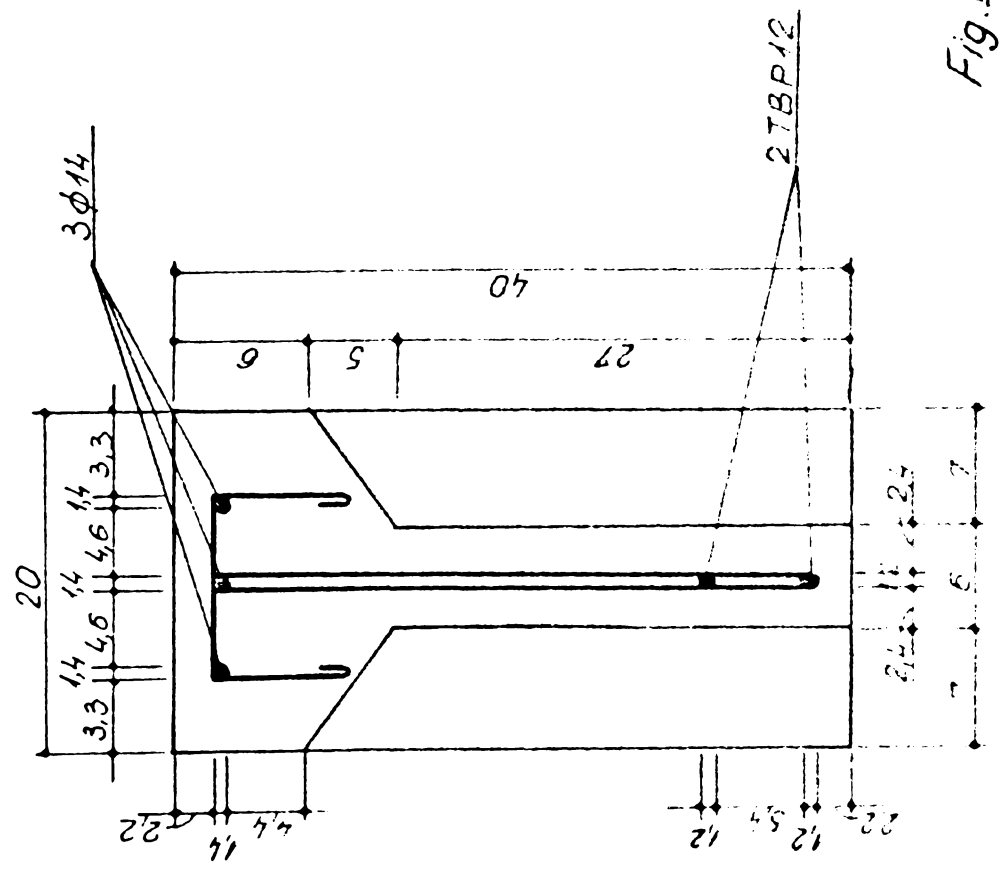


Fig. IV.2.

GRINDA TIP „A3” ȘI „A4”



SECȚIUNEA A-A



GRĂȚAR φ6/3cm.

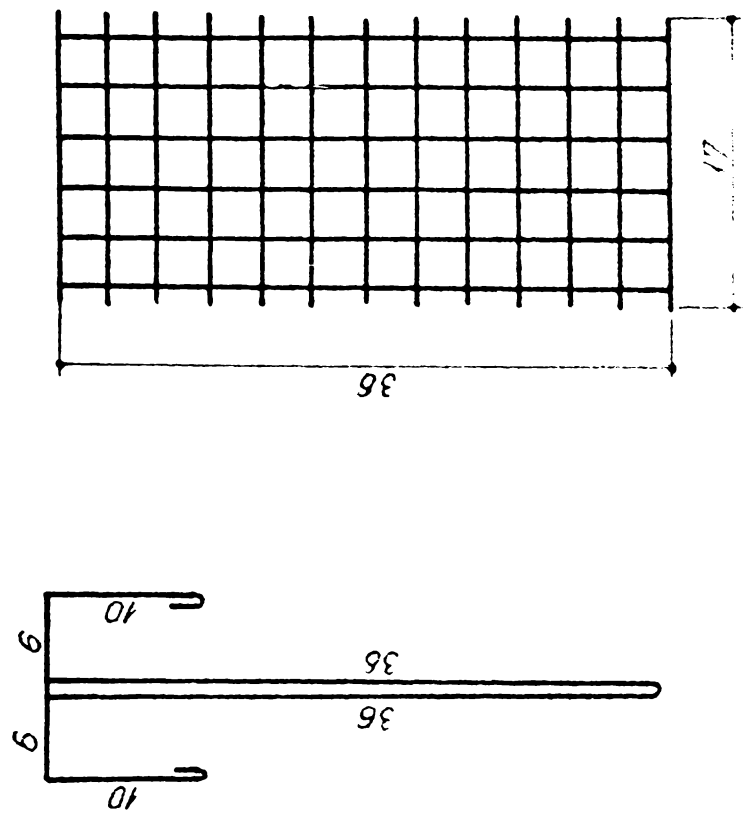
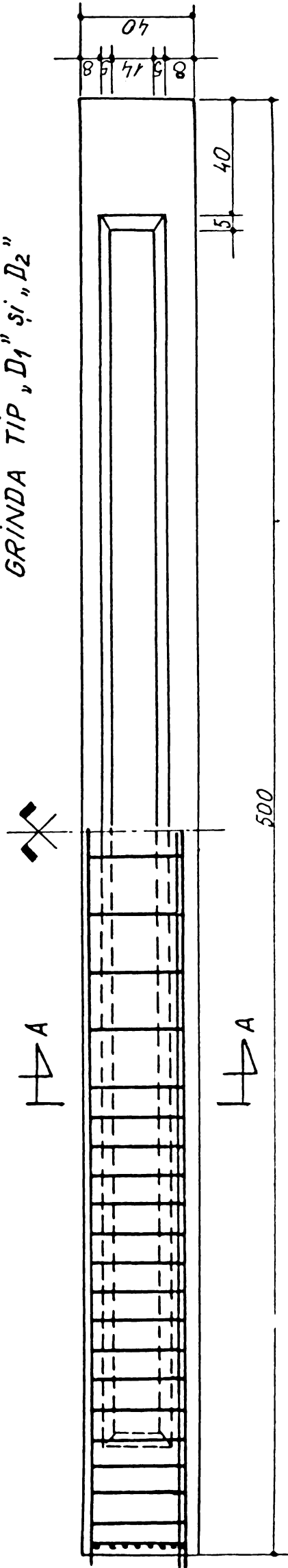
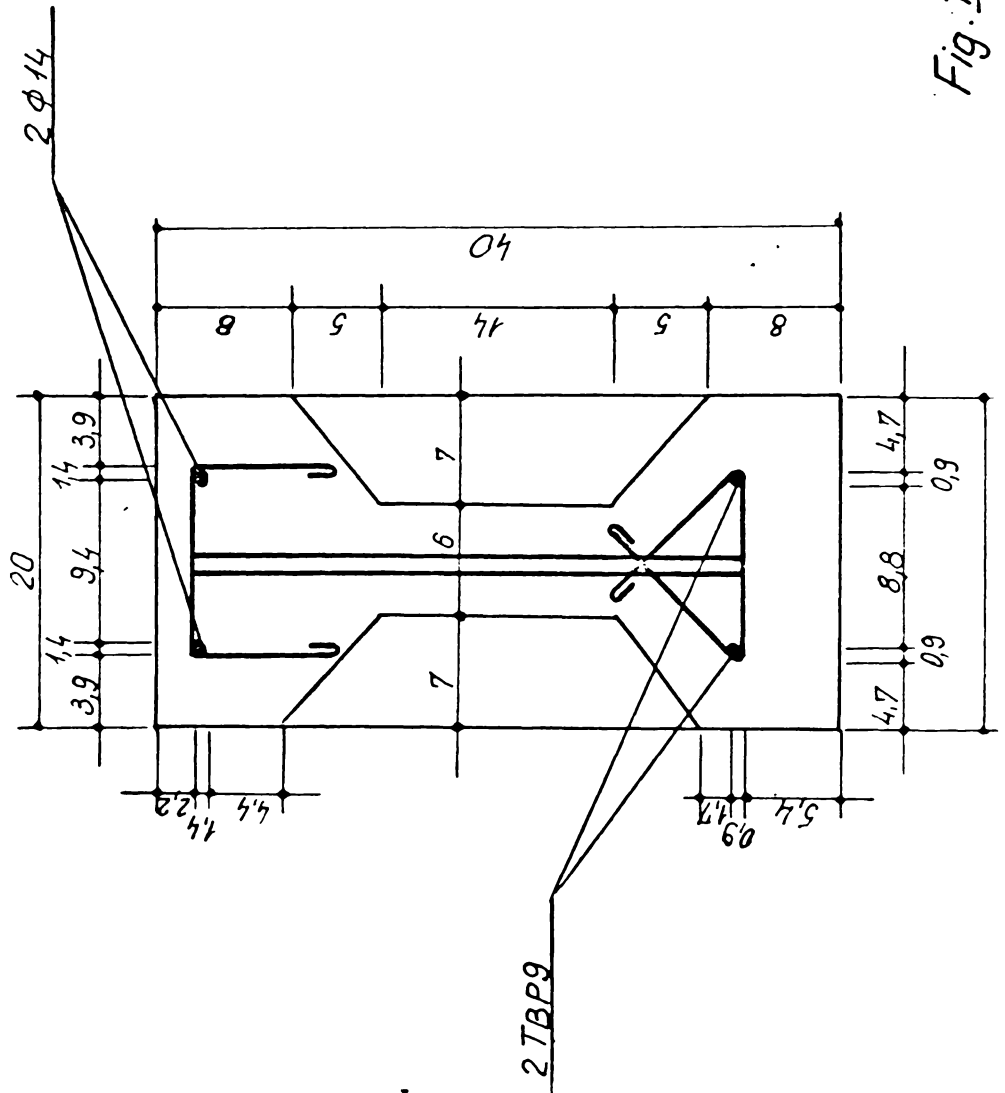


Fig. IV.3.

GRINDA TIP „D₁” și „D₂”



SECȚIUNEA A-A



GRĂȚAR Φ6/3cm.

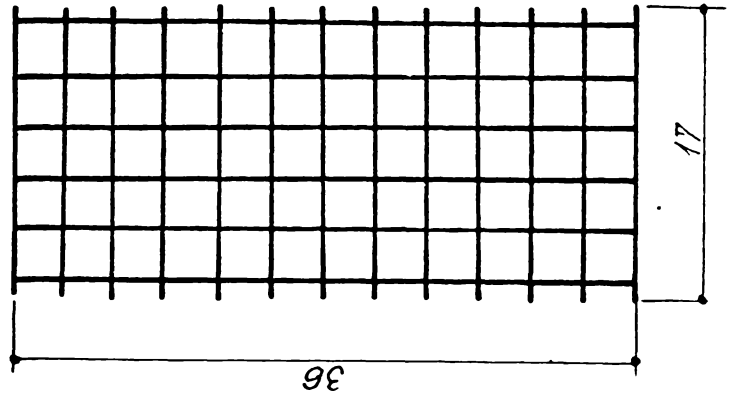
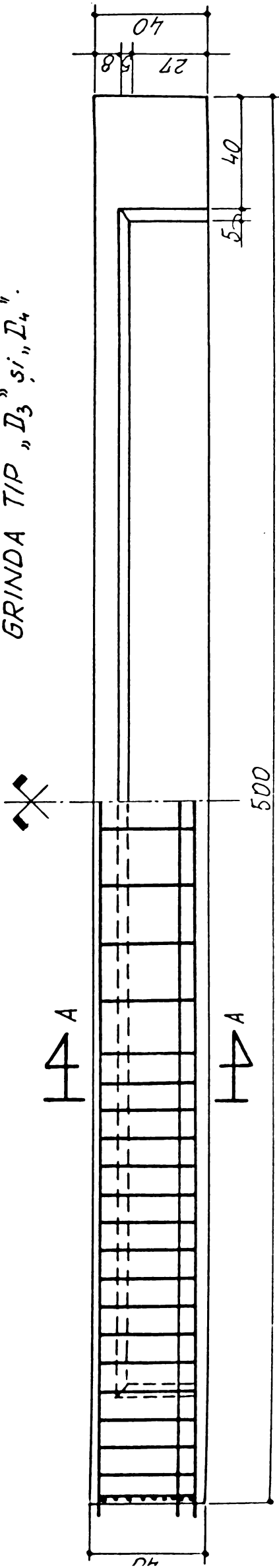
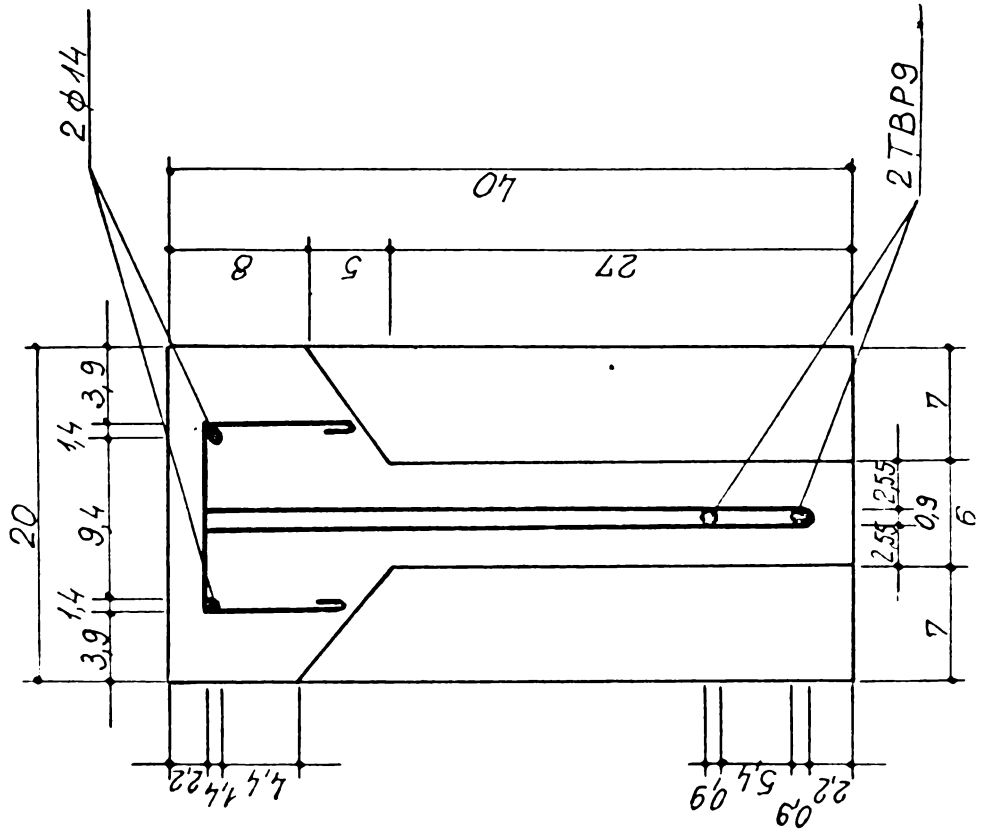


Fig. IV.4.

GRINDA TIP „D₃” și „D₄”.



SECȚIUNEA A-A



GRĂȚAR $\phi 6/3cm$.

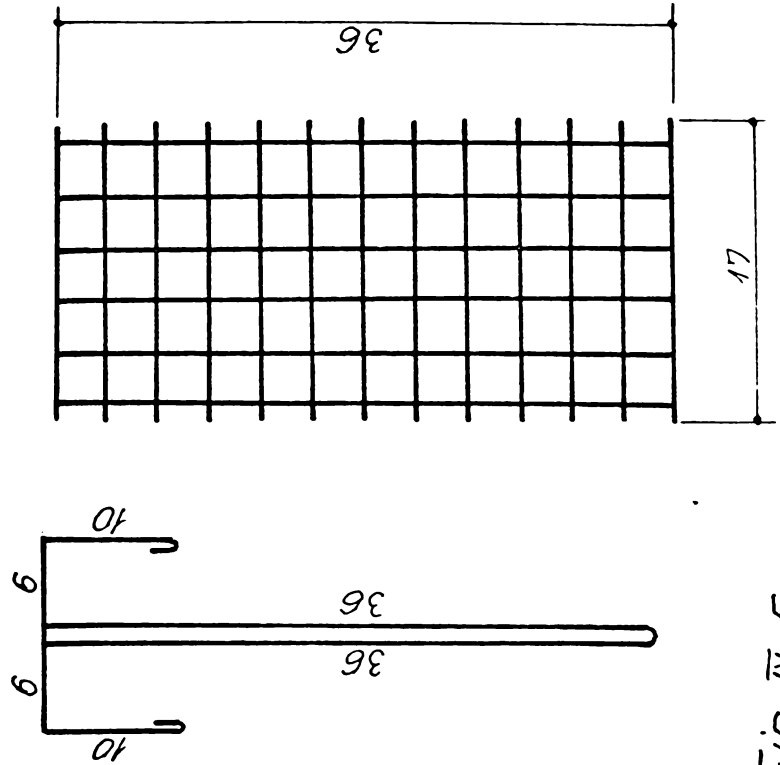


Fig. IV.5.

Tabelul IV.4.

Caracteristicile grinzilor pretensionate cu secțiune I din etapa a II-a.

Tipul grinzii	Indicati-vul gr.	Parametri variabili		Schema de încărcare	Modul de armare			
		Procent de arm. %	Dia-metru d mm.		Armătura longitudinală în zona întinsă	Armătura în zona comprimată	Armătura transversală	
	2	3	4		6	7	8	9
I	11	0,877	12,2		2TBP12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 14 $A'_a = 4,62 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	$\emptyset 6/30 \text{ cm}$
	12	0,877	12,2		2TBP12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 14 $A'_a = 4,62 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	-
	21	0,49	9,1		2TBP9 $A_p = 0,99 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 14 $A'_a = 4,62 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	$\emptyset 6/15 \text{ cm}$
	22	0,49	9,1		2TBP9 $A_p = 0,99 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 14 $A'_a = 4,62 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	-
F	11	0,877	12,2		2TBP12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 12 $A'_a = 3,39 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	$\emptyset 6/30 \text{ cm}$
	12	0,877	12,2		2TBP12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 12 $A'_a = 3,39 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	-

Tabelul IV.4.(continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
F	21	0,48	9,1		2TBP9 $A_p = 0,999 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 12 $A'_a = 3,39 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	$\emptyset 6/15 \text{ cm}$
	22	0,49	9,1		2TBP9 $A_p = 0,999 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 12 $A'_a = 3,39 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	-
G	11	0,877	12,2		2TBP12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 12 $A'_a = 3,39 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	$\emptyset 6/30 \text{ cm}$
	12	0,877	12,2		2TBP12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 12 $A'_a = 3,39 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	-
	21	0,49	9,1		2TBP9 $A_p = 0,999 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 12 $A'_a = 3,39 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	$\emptyset 6/16 \text{ cm}$
	22	0,49	9,1		2TBP9 $A_p = 0,999 \text{ cm}^2$	3 \emptyset 12 $A'_a = 3,39 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/10 \text{ cm}$	-

Caracteristicile de pretensionare a grinzilor de secțiune I (din etapa a II-a) imediat după transfer.

Tip element	Armătură pretensionată	σ_k proiect (daN/cm ²)	σ_k la preten-sionare (daN/cm ²)	σ_k la transfer (daN/cm ²)	Poziția armăturilor	Vârsta la transfer (zile)	Rezistența elementelor la transfer (daN/cm ²)	$\frac{\sigma_o}{R_p^n}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
F11	2 TBP 12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	13.090	13.100 13.120	11.250 x 11.450 +	[+ x]	13	410	0,668
F12	2 TBP 12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	13.090	13.040 13.200	11.550 x 11.340 +	[+ x]	13	410	0,673
F21	2 TBP 9 $A_p = 0,999 \text{ cm}^2$	13.860	14.060 14.080	14.060 x 14.900 +	[+ x]	11	350	0,774
F22	2 TBP 9 $A_p = 0,999 \text{ cm}^2$	13.860	14.100 14.100	14.100 x 14.100 +	[+ x]	11	350	0,782
F11	2 TBP 12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	13.860	9.650 9.780	8.350 x 8.660 +	[+ x]	6	335	0,500
F12	2 TBP 12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	9.350	9.870 9.720	8.450 x 8.400 +	[+ x]	6	335	0,496

Tabelul IV.5.(continuare).

1	2	3	4	5	6	7	8	9
F ₂₁	2 TBP 9 A _p =0,999 cm ²	9.900	7.860 10.080	7.860 x 10.000 +	[+ x]	7	340	0,545
F ₂₂	2 TBP 9 A _p =0,999 cm ²	9.900	10.000 10.040	10.000 x 10.040 +	[+ x]	7	340	0,565
G ₁₁	2 TBP 12 A _p =1,79 cm ²	5.610	5.200 5.090	5.100 x 4.920 +	[+ x]	5	380	0,300
G ₁₂	2 TBP 12 A _p =1,79 cm ²	5.610	5.120 5.120	5.020 x 5.060 +	[+ x]	5	356	0,302
G ₂₁	2 TBP 9 A _p =0,999 cm ²	5.940	6.200 6.240	6.200 x 6.240 +	[+ x]	13	400	0,345
G ₂₂	2 TBP 9 A _p =0,999 cm ²	5.940	6.420 6.340	6.420 x 5.740 +	[+ x]	13	400	0,338

Tabelul IV.6.

Caracteristicile fizico-mecanice ale betonului folosit la confecționarea elementelor experimentale pretensionate de secțiune I.

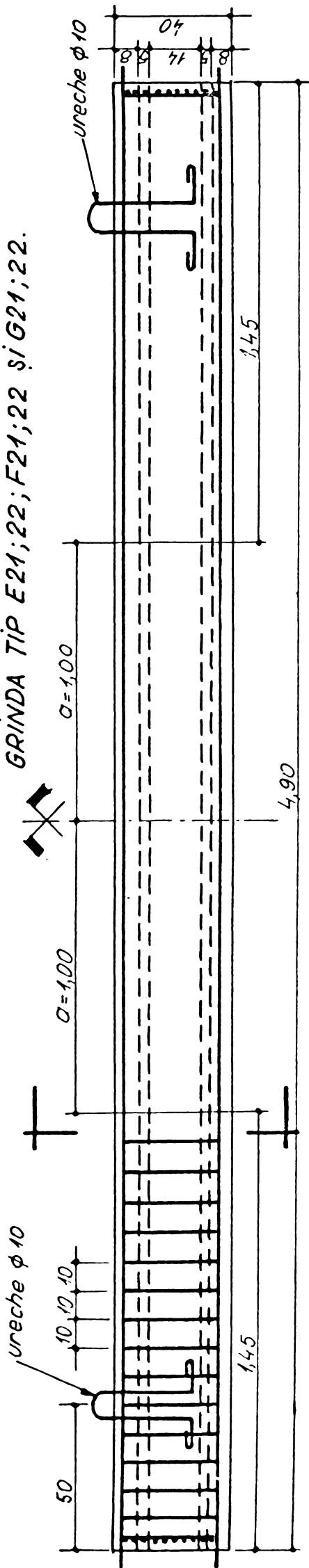
Elementul	Rezistența betonului (daN/cm ²)			Modulul de elasticitate E _b (daN/cm ²)		
	La 28 zile (punerea în operă în condiții STAS) E _b	In momentul încercării elementelor experimentale (punerea în operă prin vibrare)		La 28 zile (punerea în operă în condiții STAS)	In momentul încercării elementelor (punerea în operă prin vibrare)	
		R _b	R _{pr}			R _t
E ₁₁	390	414 _{t=45 z}	256	43,5	290.000	304.000
E ₁₂	390	414 _{t=43 z}	256	43,5	290.000	304.000
E ₂₁	423	426 _{t=29 z}	270	36,7	310.500	335.000
E ₂₂	423	426 _{t=30 z}	270	36,7	310.500	335.000
F ₁₁	412	456 _{t=64 z}	262	38,5	295.000	317.000
F ₁₂	412	456 _{t=62 z}	262	38,5	295.000	300.000
F ₂₁	370	402 _{t=60 z}	258	43,3	297.100	312.000
F ₂₂	370	402 _{t=57 z}	258	43,3	297.100	312.000
G ₁₁	420	460 _{t=57 z}	287	44,0	301.200	328.000
G ₁₂	420	460 _{t=59 z}	287	44,0	301.200	328.000
G ₂₁	353	380 _{t=41 z}	247	40,7	292.200	307.000
G ₂₂	353	380 _{t=39 z}	247	40,7	292.200	307.000

Tabelul IV.7.

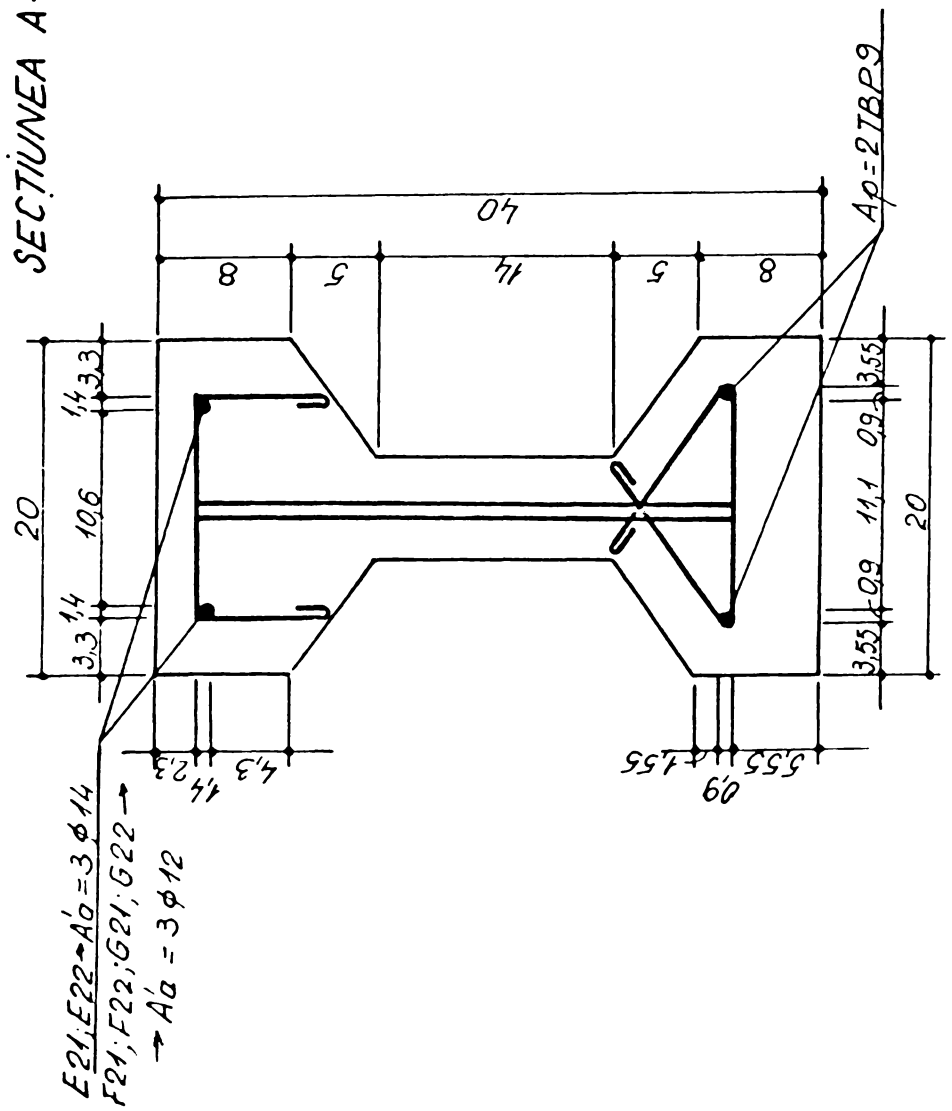
Stabilirea gradului efectiv de precomprimare σ_0/R_p^n la elementele experimentale de secțiune I din etapa a II-a

Indi- cativele- element	σ_0 (daN/cm ²)	σ_{bp} (daN/cm ²)	R (daN/cm ²)	$\frac{\sigma_{bp}}{R}$	k_L	$\bar{\varphi}$	Durata de pre- compr. pînă la încerc. (zile)	$k\bar{\varphi}$	E_b (daN/cm ²)	m_p	$\Delta\sigma_{\varphi}$ (daN/cm ²)	$\bar{\sigma}_0$ (daN/cm ²)	$\frac{\bar{\sigma}_0}{R_p^n}$
E11	11.350	68,3	365	0,187	1,095	2,92	45	0,43	304.000	5,93	508,5	10842	0,639
E12	11.445	69,4	365	0,190	1,095	2,92	43	0,43	304.000	5,93	516,7	10928	0,644
E21	14.080	46,0	340	0,135	1,145	3,08	51	0,44	335.000	5,37	391,5	13688	0,76
E22	14.050	46,0	340	0,135	1,145	3,08	54	0,45	335.000	5,37	400,4	13649	0,758
F11	8.505	49,1	325	0,151	1,24	3,31	37	0,46	308.000	5,85	437,3	8068	0,475
F12	8.425	48,9	325	0,150	1,24	3,31	55	0,45	308.000	5,85	426,1	7999	0,470
F21	9.775	29,7	335	0,089	1,071	2,88	53	0,45	312.000	5,76	259,4	9515	0,528
F22	10.000	31,0	335	0,093	1,071	2,88	50	0,44	312.000	5,76	264,7	9755	0,542
G11	5.110	26,9	375	0,072	1,146	3,06	51	0,44	328.000	5,5	199,2	4911	0,290
G12	5.140	27,2	375	0,072	1,146	3,08	53	0,445	328.000	5,5	206,0	4934	0,290
G21	6.220	16,3	333	0,049	1,041	2,80	48	0,435	307.000	5,85	136,0	6084	0,330
G22	6.080	16,0	333	0,048	1,041	2,80	46	0,43	307.000	5,85	131,9	5948	0,330

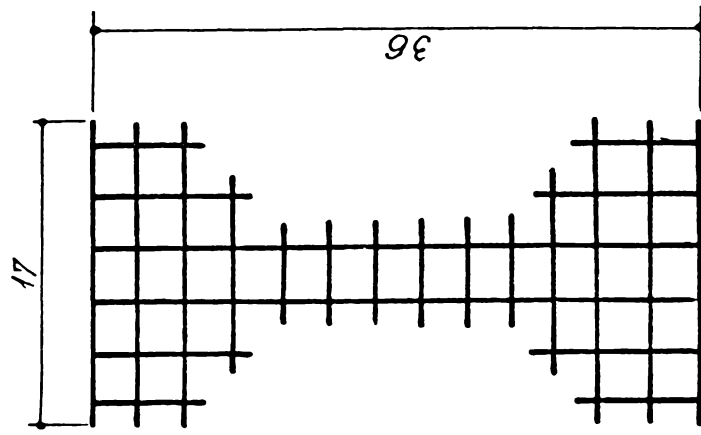
GRINDA TIP E21;22; F21;22 și G21;22.



SECȚIUNEA A-A



GRĂȚAR $\phi 6/30\text{cm}$.



NOTĂ: În zona 2a, etrierii se vor pune astfel:
 - La grinzile E21; F21 și G21 - $\phi 6/15\text{cm}$.
 - La grinzile E22; F22 și G22 - fără etrieri.

Fig. IV.8.

Tot în etapa a II-a s-au proiectat și confecționat un număr de 8 elemente experimentale din beton armat de secțiune dreptunghiulară, nepretensionate, în scopul de a stabili modul de conlucrare a toroanelor TBP 9 și TBP 12 cu betonul în stadiul II.

În tabelul IV.8 sînt date caracteristicile grinzilor de secțiune dreptunghiulară, armate cu toroane nepretensionate.

În tabelul IV.9 sînt date caracteristicile fizico-mecanice ale betonului folosit la confecționarea elementelor experimentale de secțiune dreptunghiulară.

Tabelul IV.9.

Caracteristicile fizico-mecanice ale betonului folosit la confecționarea elementelor experimentale de secțiune dreptunghiulară

Elementul	Rezistențele betonului (daN/cm ²)				Modulul de elasticitate E _b (daN/cm ²)	
	La 28 zile (punerea în operă în condiții STAS)	În momentul încercării elementelor experimentale (punerea în operă prin vibrație)			La 28 zile (punerea în operă în condiții STAS)	În momentul încercării elementelor (punerea în operă prin vibrație)
	R _b	R _b	R _{pr}	R _t		
GA-01	350	375 _{t=57z}	244	37,0	291.500	305.925
GA-02	350	375 _{t=59z}	244	35,0	291.500	305.925
GA-03	320	343 _{t=67z}	228	29,5	290.600	302.857
GA-04	300	322 _{t=68z}	217	31,0	290.600	302.857
GB-01	450	490 _{t=57z}	300	30,0	291.500	302.900
GB-02	500	540 _{t=58z}	325	36,7	291.500	302.900
GB-03	390	410 _{t=52z}	265	28,1	282.100	290.000
GB-04	330	360 _{t=55z}	238	27,3	282.100	290.000

Confecționarea elementelor experimentale

Elementele confecționate în etapa I (16 elemente) și cele 12 elemente precomprimate confecționate în etapa a II-a au fost tur-

Tabelul IV.8.

Caracteristicile grinzilor de secțiune dreptunghiulară armate cu toroane.

Tipul grinzii	Indicativ	Parametrii verticali		Schema de încărcare	Modul de armare		
		Procent de arm. %	Diametru d (mm)		Armătură longitudinală în zona întinsă	Armătură în zone comprimate	Armătură transversală
GA	01	0,434	12,2		A_p	A'_a	etrieri
					2 TBP 13 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	2 \emptyset 10 $A'_a = 1,57 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/15$
	02	0,434	12,2		2 TBP 12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	2 \emptyset 10 $A'_a = 1,57 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/15$
	03	0,243	9,1		2 TBP 9 $A_p = 0,999 \text{ cm}^2$	2 \emptyset 10 $A'_a = 1,57 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/15$
GB	04	0,243	9,1	2 TBP 9 $A_p = 0,999 \text{ cm}^2$	2 \emptyset 10 $A'_a = 1,57 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/15$	
	01	0,434	12,2	2 TBP 12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	2 \emptyset 10 $A'_a = 1,57 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/15$	
	02	0,434	12,2	2 RBP 12 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	2 \emptyset 10 $A'_a = 1,57 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/15$	
	03	0,243	9,1	2 TBP 9 $A_p = 1,79 \text{ cm}^2$	2 \emptyset 10 $A'_a = 1,57 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/15$	
	04	0,243	9,1	2 TBP 9 $A_p = 0,999 \text{ cm}^2$	2 \emptyset 10 $A'_a = 1,57 \text{ cm}^2$	$\emptyset 6/15$	

nate la INCERC București, unde s-a controlat și mărimea forței de precomprimare, cu ajutorul unei doze de măsurare a forței.

Pentru determinarea mărcii betonului și a rezistenței minime la transfer, s-au turnat cuburi și prisme, în condițiile prevăzute de standard și de păstrare a elementelor experimentale.

Pentru realizarea mărcii betonului s-a utilizat următoarea compoziție :

- agregate :	0-3 mm	30 %	520 kg/m ³
	3-7 mm	20 %	345 kg/m ³
	7-15 mm	50 %	860 kg/m ³
- ciment RIM 200			550 kg/m ³
- apă			175 litri

Condițiile de întărire a elementelor au fost normale. Transportul s-a realizat în cadrul INCERC București, numai după ce s-a atins - în elementele experimentale turnate - o rezistență minimă de 335 daN/cm².

Cele 8 elemente de secțiune dreptunghiulară, armate cu toaroane nepretensionate, au fost confecționate în cadrul Catedrei de Beton armat și clădiri de la Institutul Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara.

4.3. Pregătirea și efectuarea încercărilor experimentale

Cele 16 grinzi din etapa I și cele 12 grinzimpretensionate de secțiune I din etapa a II-a au fost pregătite în felul următor : în vederea măsurării deformațiilor betonului, la diferite trepte de încărcare, pe una din fețele elementelor experimentale au fost fixate timbre tensometrice cu baza de măsurare $l_0 = 5$ cm. Dispunerea timbrelor tensometrice și a aparatelor pentru măsurarea deformațiilor se arată în figura IV.9.

Modul de încărcare

La încercarea elementelor precomprimate cu diferite grade de precomprimare solicitate la încovoiere, s-a folosit o presă hidraulică de 100 tone capacitate, de la Laboratorul de Beton armat și clădiri al Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timișoara. Cu ajutorul acestei prese s-a realizat schema de încărcare arătată în fotografia din figura IV.10.

Astfel, grinda a fost încărcată cu două forțe concentrate, așezate simetric față de mijlocul deschiderii grinzii, asigurându-se astfel o zonă de moment constant de 2 m și în felul acesta s-a res-

GRINZILE: E11 F11 G11
 E12 F12 G12
 E21 F21 G21
 E22 F22 G22

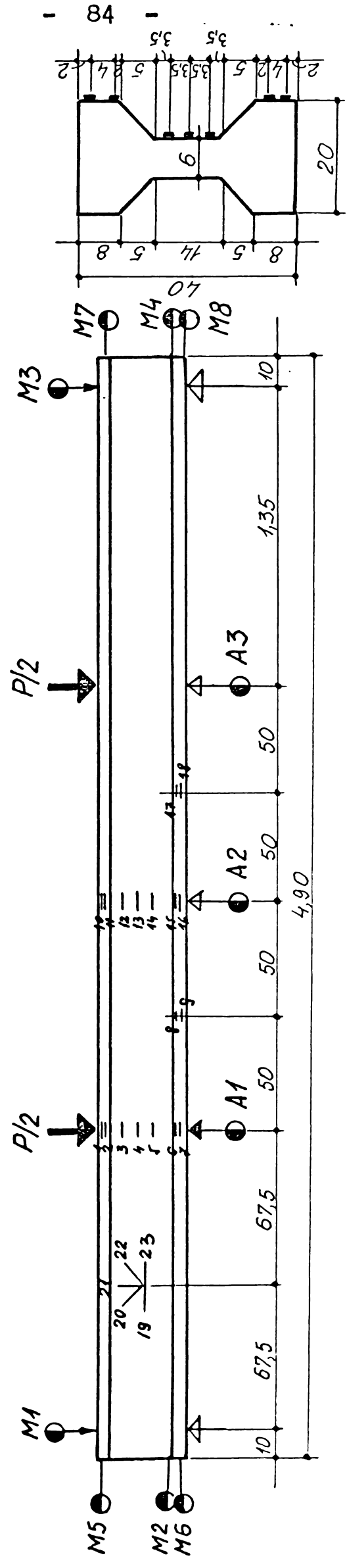


FIG. IV. 9

pectat și recomandarea CAER pentru această zonă de cel puțin 3 h. Pe această zonă s-a studiat procesul de fisurare.

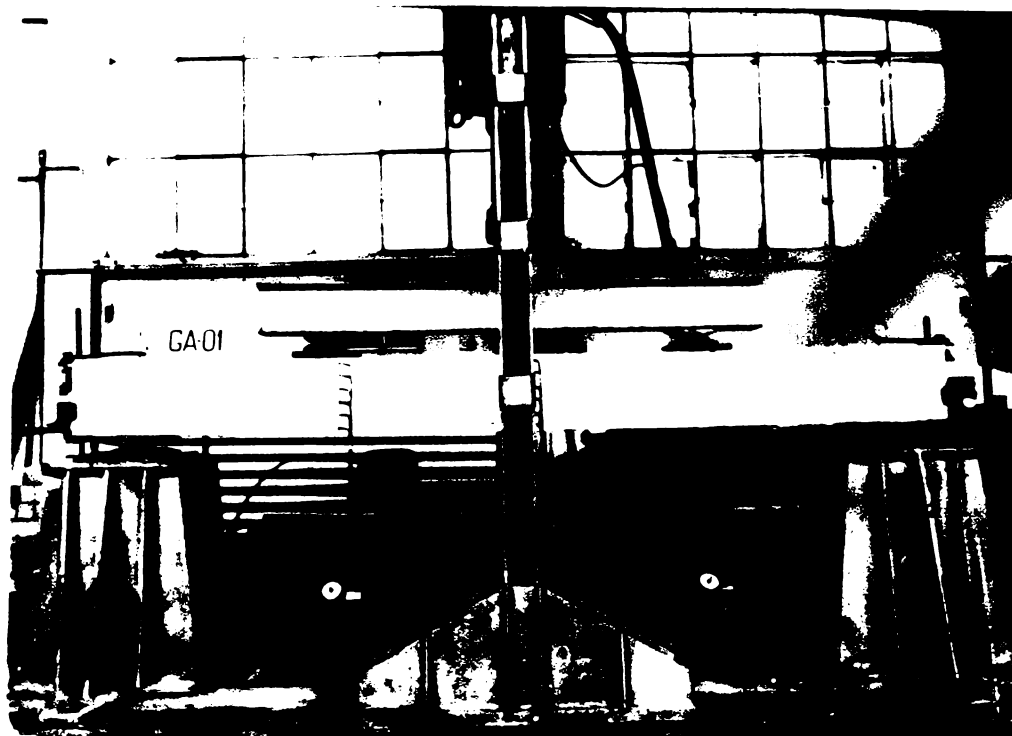


FIG. IV. 10

Pentru măsurarea forței la fiecare treaptă de încărcare, s-a folosit o doză de tip BAC, avînd o precizie de 0,2 %.

Treapta de încărcare s-a stabilit în conformitate cu metodologia de încercare aprobată în ședința CAER din aprilie 1971 de la București. Mărimea treptei de încărcare nu a depășit 10 % din încărcarea de rupere calculată.

În intervalul de încărcare, începînd de la o treaptă care reprezintă 80 % din încărcarea de apariție a fisurilor (încărcare calculată) și pînă la încărcarea egală cu 120 % din încărcarea efectivă de apariție a fisurilor, valoarea treptei de încărcare nu a depășit 5 % din încărcarea de apariție a fisurilor.

Descărcarea elementelor s-a efectuat începînd de la o încărcare la care lățimea deschiderii fisurilor a atins 0,1 mm, iar dezvoltarea lor pe înălțimea secțiunii a atins cel puțin dublul distanței de la centrul de greutate al armăturii întinse pînă la fața cea mai întinsă a betonului.

S-a notat apoi treapta la care s-a produs redeschiderea fisurilor atunci cînd elementul a fost reîncărcat. Drept forță de redeschidere a fisurilor s-a considerat treapta de încărcare la care fisurile complet închise la descărcare, au valoarea de 0,02 mm.

S-a studiat de asemenea și evoluția deschiderii fisurilor la repetarea încărcare - descărcare, de trei ori, și anume :

- imediat după atingerea unei lățimi a deschiderii fisurii, de 0,15 mm;
- la treapta de încărcare la care lățimea medie a deschiderii fisurilor a fost de 0,2 mm;
- la treapta de încărcare la care lățimea medie a deschiderii fisurilor a fost de 0,3 mm.

S-a continuat apoi cu trepte de încărcare reprezentând 10% din încărcarea de rupere calculată.

Măsurători efectuate

S-au efectuat măsurători ale mărimii :

- încărcării de fisurare și refisurare;
- deformațiilor betonului din zona întinsă și comprimată la diferite nivele pe înălțimea secțiunii transversale, utilizând tensometria electrică rezistivă. Aceste măsurători s-au efectuat, în zona comprimată, în trei secțiuni, iar în zona întinsă în cinci secțiuni. Inregistrarea deformațiilor s-a făcut cu ajutorul unui dispozitiv de înregistrare automată, prevăzut în figura IV.11;

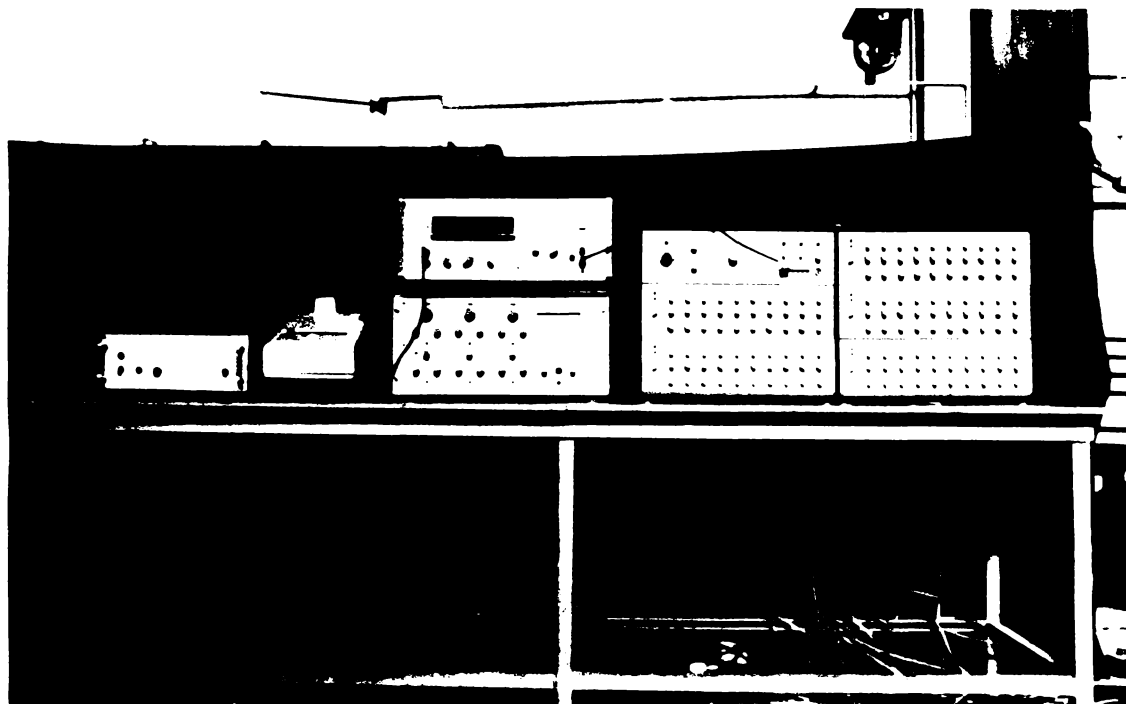


FIG. IV.11

- lunecarea armăturii longitudinale pretensionate cu micro-comparatoare având precizia de 1:1000;

- tasarea reazemelor, folosind microcomparatoare cu precizia 1:100 mm;
- săgețile în trei puncte, cu ajutorul fleximetrelor tip Maximov, cu precizia 1:10 mm;
- lățimea deschiderii fisurilor, la fiecare treaptă de încărcare de la apariția lor, pînă la o treaptă de încărcare egală cu 80% din încărcarea de rupere sau pînă la o lățime a deschiderii fisurilor, egală cu 1 mm. Măsurarea lățimii deschiderii fisurilor s-a efectuat la nivelul armăturii pretensionate și după cel puțin 5 minute de menținere constată a încărcării pe fiecare treaptă cu ajutorul unei lupe micrometrice cu o precizie de 1/100 mm.

Distanța dintre fisuri, la fiecare treaptă de încărcare, de la apariția lor pînă la treapta de stabilizare a distanței dintre fisuri, s-a măsurat cu o precizie de ordinul milimetrilor.

Si pentru cele 8 elemente din beton armat de secțiune dreptunghiulară armate cu toroane s-a respectat aceeași metodologie de încercare.

Încărcarea elementelor s-a efectuat astfel, încît să se obțină la încărcare, o zonă de moment încovoietor constant pe o porțiune de 1,5 metri lungime, care s-a realizat prin aplicarea a două forțe concentrate așezate simetric față de mijlocul deschiderii elementului.

S-au măsurat aceleași mărimi ca și la celelalte 28 de elemente din beton precomprimat. La aceste elemente s-a pus un accent deosebit pe măsurarea lățimii deschiderii fisurilor și a distanțelor dintre fisuri, elementele fiind urmărite pînă la rupere, pentru a se vedea modul de conlucrare a toronului cu betonul în diferite stadii de lucru.

Cap.5. REZULTATELE INCERCARILOR EXPERIMENTALE

5.1. Studiul statistic al distanței dintre fisuri.

Verificarea normalității distribuției distanței dintre fisuri

Pentru stabilirea parametrilor necesari calculului distanței dintre fisuri la elementele din beton armat precomprimat cu armătură preîntinsă de tipul toroanelor, s-a efectuat un studiu statistic pe elementele experimentale încercate.

Metodele statistice sînt folosite pentru a pune în evidență mai bine corelațiile dintre datele inițiale și caracteristicile materialelor, pe de o parte, și rezultatele experimentale, pe de altă parte.

Studiul statistic al distanței dintre fisuri s-a efectuat pe media rezultatelor experimentale culese la încercarea fiecărei grinzi, admițîndu-se că, sub încărcarea de exploatare, distribuția variabilelor se poate considera, practic, nulă.

În fotografia din figura V.1 se poate vedea aspectul fisurilor unei grinzi încercată pînă la rupere.



FIG. V. 1

Se poate observa la această grindă, o dezvoltare caracteristică a fisurilor și anume : că ele sînt mai numeroase în drep-

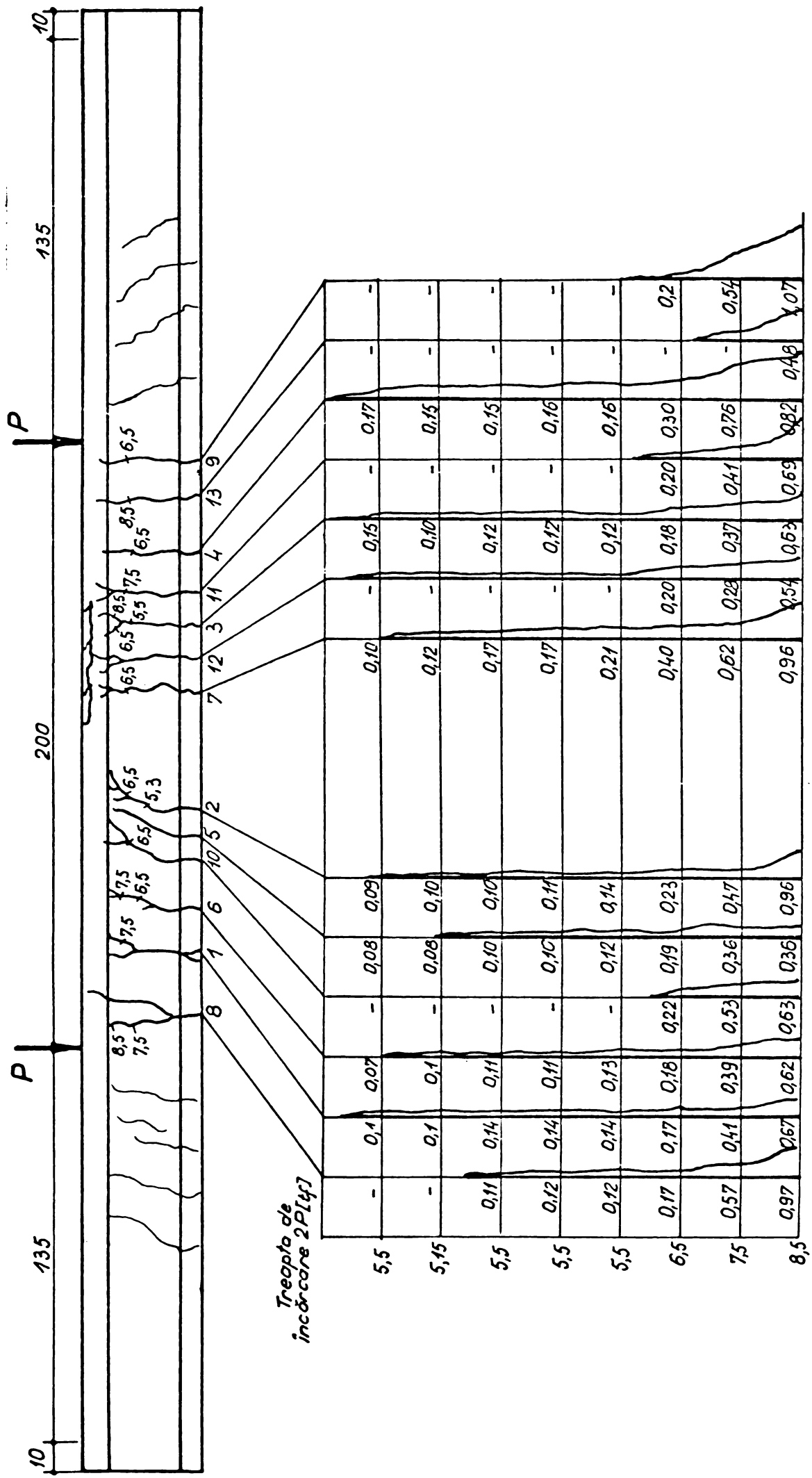


FIG. V. 2

tul armăturilor, iar spre mijlocul înălțimii grinzii sînt mai rare. Pe aceeași grindă s-a prezentat, în figura V.2, releveul fisurilor și deschiderea lor pe o față laterală a grinzii, marcîndu-se și treapta de încărcare corespunzătoare. Se poate urmări progresarea deschiderii fisurilor cu încărcarea, atît la nivelul armăturii, cît și la jumătate din înălțimea grinzii.

În figura V.3, s-au reprezentat curbele de frecvență cumulate, ale distanțelor dintre fisuri, măsurate pe zona de moment constant a aceleiași grinzii, la două trepte de încărcare, care încadrează treapta de exploatare.

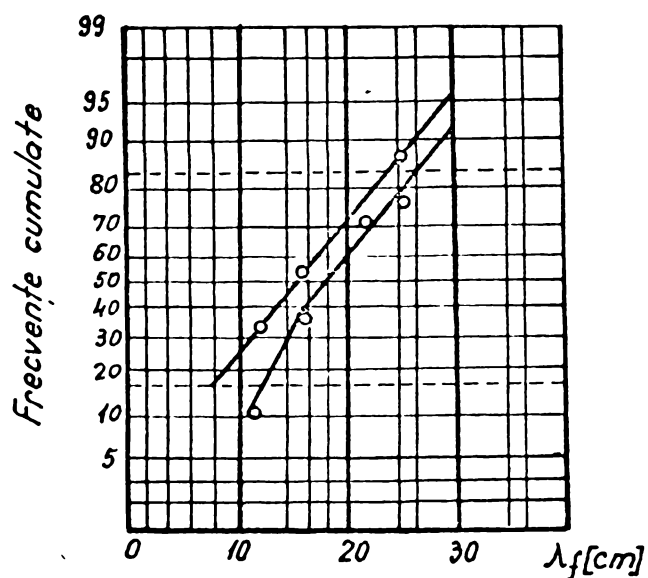


FIG. V. 3

Diagrama confirmă faptul, cunoscut, că distanțele dintre fisuri, în dreptul armăturii, se micșorează odată cu creșterea încărcării, dar numai pînă la o anumită limită. La reprezentarea diagramei s-a folosit o rețea de probabilitate ale cărei ordonate sînt dispuse după o scară funcțională, astfel încît funcția de distribuție a legii normale să se reprezinte printr-o dreaptă. Din diagramă rezultă că distanțele între fisuri, la trepte de încărcare din ce în ce mai mari, au o distribuție apropiată de cea normală, punctele aliniindu-se.

Verificarea normalității distribuției distanței dintre fisuri

Pentru verificarea normalității distribuției valorilor distanței dintre fisuri, λ_f , de pe zona de moment constant, s-a aplicat :

- metoda diagramelor;
- metoda abaterilor normate.

Metoda diagramelor constă în compararea valorilor empirice ale variabilei normate $\hat{z}(\lambda)$ cu distribuția valorilor teoretice normate corespunzătoare, $z(\lambda)$.

Dacă distribuția valorilor teoretice este normală, atunci $z(\lambda)$ este o funcție liniară și are valoarea :

$$Z = \frac{\lambda - \lambda_i}{\sigma_\lambda}$$

In figura V.4, s-a reprezentat această dreaptă, al cărei coeficient unghiular este egal cu $1/\sigma_\lambda$ și trece prin punctul $(\lambda_f, 0)$.

Valorile empirice ale variabilei \hat{z}_i au fost reprezentate printr-o curbă în trepte, determinată cu ajutorul funcției de distribuție /87/. Valoarea funcției $F(z)$ este dată în relația (V.1) :

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} \cdot dz, \quad (V.1)$$

corespunzătoare frecvențelor relative experimentale cumulate :

$$F(z_i) = \frac{i - \frac{1}{2}}{n} \quad (V.2)$$

în care "i" este numărul de ordine al valorilor crescătoare λ_f și n (nuărul de probe).

In tabelul V.1 sînt date calculele numerice pentru grin-zile armate cu toroane avînd grade diferite de precomprimare.

Din figura V.4 se vede că linia frîntă și linia dreaptă sînt apropiate, așa încît se poate admite că distanțele dintre fisuri se distribuie aproximativ normal.

Drept criteriu numeric de verificare a ipotezei normalității distribuției distanței dintre fisuri, se poate folosi mărimea:

$$Z = \frac{\hat{z}_i - z_i}{\hat{\sigma}_{z_i}}$$

care reprezintă diferența valorilor empirice \hat{z}_i și teoretice z_i raportate la abaterea medie pătratică :

$$\hat{\sigma}_{z_i} = \frac{1}{f(z_i)} \cdot \frac{\sqrt{F(z_i) \cdot F(-z_i)}}{n} = \frac{1}{f(z_i)} \cdot \frac{\sqrt{[0.5 + \phi(z_i)][0.5 - \phi(z_i)]}}{n} \quad (V.3)$$

unde $f(z_i)$ este funcția de frecvență și $F(z_i)$ este funcția de distribuție corespunzătoare valorilor teoretice normale z_i și care se determină prin intermediul funcției $\phi(z_i)$.

Pentru un nivel de semnificație q, se stabilește valoarea lui z.

Numărul de probe	Intervalul λ_f (cm)	λ_f (cm)	$\hat{\sigma}$ (cm)	z	$z_{0,05}$
30	11,3 - 32,2	21,1	5,1	1,587	1,96

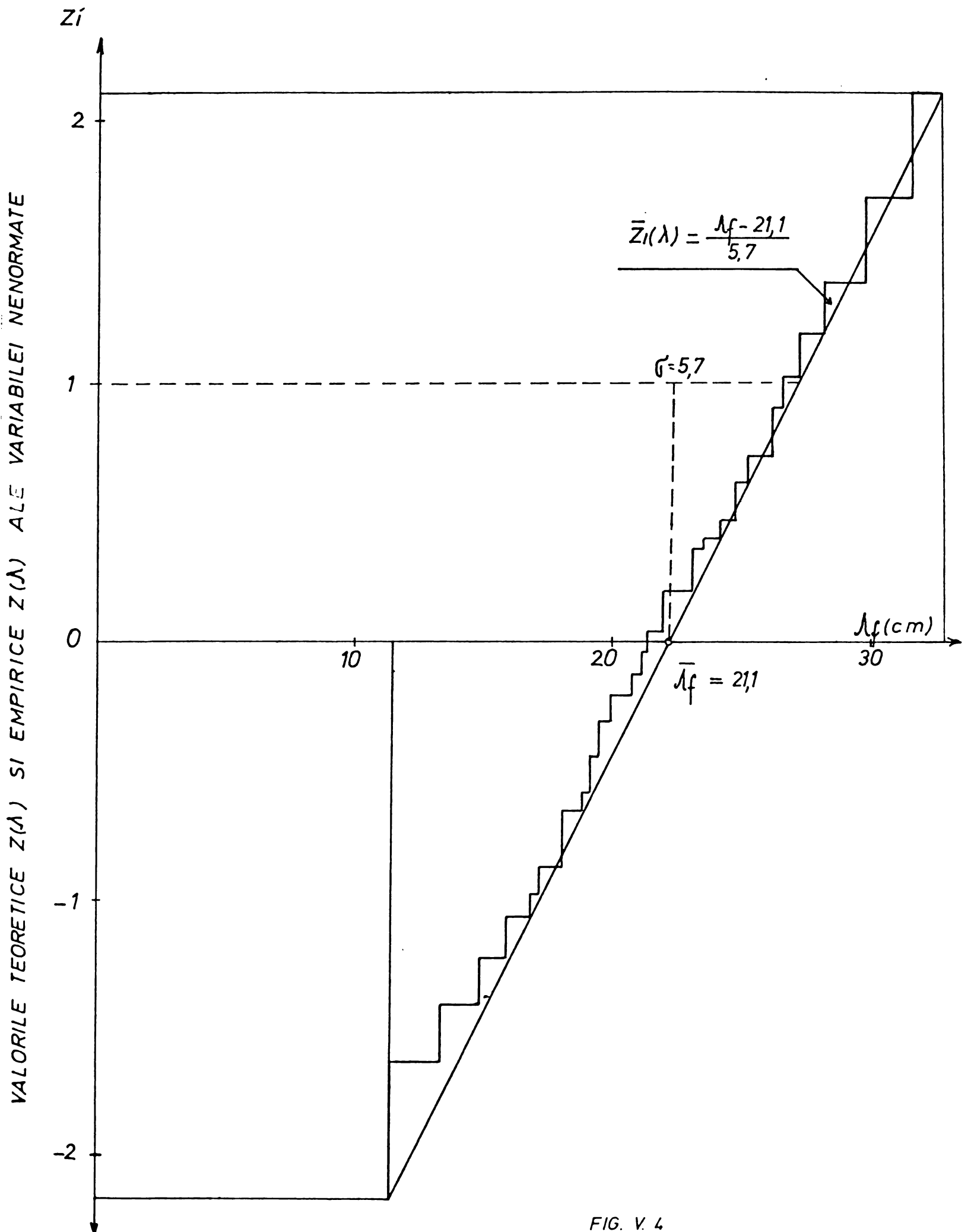


FIG. V. 4

Tabelul V.1.

Verificarea normalității distanței dintre fisuri la grinziile armate cu toroane

Nr. Crt.	λ_f	λ_f^2	$F_i \cdot 100 = \frac{1-\hat{z}_i}{n} \cdot 100$	$\Phi(\hat{z}_i)$	\hat{z}_i	$\frac{\lambda - \lambda_i}{\sigma} = z_i$	$ z_i - z $	$\Phi(z_i)$	$\frac{\sqrt{[0,5 + \Phi(z)]} \cdot n}{[0,5 - \Phi(z)]}$	$f(z)$	$\hat{\sigma}_{z_i}$	$z \cdot \frac{ z - z_i }{\hat{\sigma}_{z_i}}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	11,30	128	1,67	0,483	2,12	1,77	0,35	0,4608	0,064	0,0844	0,75	0,47
2	12,87	166	5,00	0,450	1,65	1,51	0,14	0,4355	0,083	0,1254	0,66	0,21
3	13,88	192	8,31	0,416	1,38	1,28	0,10	0,3949	0,097	0,1817	0,53	0,19
4	14,30	204	11,70	0,383	1,19	1,19	0	0,3847	0,106	0,1940	0,54	0
5	14,60	213	15,00	0,350	1,04	1,02	0,02	0,3460	0,120	0,2372	0,51	0,04
6	15,30	234	18,35	0,316	0,91	1,00	0,09	0,3393	0,123	0,2440	0,50	0,18
7	15,36	235	21,70	0,283	0,78	0,88	0,10	0,3119	0,132	0,2694	0,49	0,21
8	16,00	256	25,00	0,250	0,67	0,80	0,13	0,2830	0,138	0,2935	0,47	0,28
9	16,50	273	28,30	0,217	0,58	0,78	0,20	0,2823	0,139	0,2943	0,47	0,42
10	16,60	275	31,70	0,183	0,47	0,77	0,30	0,2773	0,140	0,2981	0,47	0,64
11	16,70	280	35,00	0,150	0,39	0,75	0,36	0,2748	0,141	0,2998	0,47	0,76
12	17,00	289	38,30	0,117	0,29	0,72	0,43	0,2627	0,143	0,3093	0,46	0,93
13	17,50	306	41,70	0,083	0,20	0,63	0,43	0,2357	0,148	0,3271	0,45	0,95
14	18,85	355	45,00	0,050	0,13	0,39	0,26	0,1533	0,159	0,3689	0,43	0,60
15	19,70	390	48,30	0,017	0,04	0,24	0,20	0,0902	0,164	0,3885	0,42	0,47
16	19,90	396	51,60	0,016	0,04	0,21	0,25	0,0832	0,165	0,3902	0,42	0,59
17	20,90	438	55,00	0,050	0,13	0,04	0,17	0,0308	0,168	0,3976	0,42	0,40

Tabelul V.1. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	21,90	480	58,40	0,080	0,19	0,08	0,11	0,0308	0,168	0,3976	0,42	0,26
19	22,60	510	61,70	0,117	0,29	0,15	0,14	0,0587	0,166	0,3940	0,42	0,33
20	25,10	626	65,00	0,150	0,39	0,70	0,31	0,2589	0,143	0,3355	0,43	0,72
21	25,70	662	69,40	0,194	0,51	0,80	0,29	0,2883	0,138	0,2992	0,46	0,63
22	25,90	672	71,80	0,218	0,58	0,84	0,26	0,2995	0,136	0,2803	0,48	0,54
23	26,00	680	75,00	0,250	0,67	0,88	0,21	0,3108	0,134	0,2683	0,50	0,42
24	26,17	681	78,30	0,283	0,78	0,91	0,13	0,3290	0,125	0,2555	0,48	0,27
25	26,80	720	81,90	0,319	0,92	1,00	0,08	0,3400	0,122	0,2431	0,51	0,15
26	27,00	730	84,90	0,349	1,04	1,02	0,02	0,3450	0,121	0,2482	0,49	0,04
27	27,10	735	88,20	0,382	1,19	1,05	0,14	0,3531	0,115	0,2299	0,50	0,28
28	28,00	785	91,70	0,417	1,39	1,24	0,15	0,3869	0,106	0,1931	0,55	0,27
29	31,23	980	95,00	0,450	1,66	1,78	0,12	0,4625	0,064	0,0814	0,78	0,15
30	32,20	1022	98,30	0,483	2,12	2,01	0,11	0,4751	0,052	0,0581	0,89	0,06

In cazul cînd această valoare este mai mică decît mărimea z calculată, distribuția valorilor distanței dintre fisuri este normală. In cazul nostru, valoarea maximă 0,95 este mai mică decît $z = 1,587$, ceea ce denotă că distribuția valorilor distanței dintre fisuri este normală.

Metoda abaterilor normate constă în compararea valorilor abaterilor normate cu valorile $t(0,975; f)$ din tabelul distribuției Student /87/, pentru probabilitatea $P = 0,975$ și numărul gradelor de libertate $f = n-1$.

In cazul în care abaterile normate în valoare absolută sînt mai mici decît t , distribuția parțială a valorilor λ se consideră normală. Din tabelul V.1 se poate constata că din cele 30 de probe, numai două probe au avut abateri normate mai mari decît $t(0,975; 29)$, (2,12 față de 2,045), celelalte probe avînd valori mai mici decît $t(0,975; 29)$, ceea ce înseamnă că distribuția parțială a valorilor lui λ se consideră normală.

Verificarea normalității distribuției bidimensionale:

λ_f și d/μ

Din studiile efectuate precum și din datele din literatura de specialitate, rezultă că o influență mai evidentă asupra distanței dintre fisuri o are nu numai profilul barelor de armătură, dar și diametrul și procentul de armare și anume prin raportul d/μ . In cazul elementelor încercate, d reprezintă diametrul echivalent al toronului. S-au folosit două tipuri de toroane : TBP 9 (7Ø3) și TBP 12 (7Ø4).

Intensitatea corelației între cele două variabile λ_f și d/μ este indicată de coeficientul de corelație. Corelația este justă numai cînd distribuția bidimensională este normală.

O primă condiție, cu privire la normalitatea distribuției bidimensionale, este ca distribuțiile parțiale ale lui λ_f sau d/μ să fie normale. Distribuția valorilor distanțelor dintre fisuri, așa cum s-a arătat mai înainte, este normală.

Pentru verificarea normalității distribuției valorilor d/μ , s-a verificat dacă abaterile normate :

$$\frac{\frac{d}{\mu} - \bar{d}}{\sigma_d}$$

sînt mai mici decît valorile $t_{(0,975;f)}$ din tabelul distribuției Student, pentru probabilitatea $P = 0,975$ și numărul gradelor de libertate $f = n-1$.

La toate grinzile încercate, cu excepția a două grinzi, abaterile normate au fost mai mici (în valoare absolută) decît $t_{(0,975;f)} = 2,045$, așa încît distribuția parțială a variabilei d/μ s-a considerat normală.

Pentru verificarea normalității bidimensionale, s-a luat, drept criteriu, compararea valorii $\chi_{(i)}^2$, calculată pentru fiecare pereche de valori : λ_f și d/μ , cu valorile corespunzătoare ale distribuției teoretice.

$$\chi_{(i)}^2 = \frac{1}{1-r^2} \left[\frac{\frac{d}{\mu} i - \frac{d}{\mu}}{\hat{\sigma}_d^2} + \frac{(\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{\hat{\sigma}_\lambda^2} - 2r \frac{\left(\frac{d}{\mu} i - \frac{d}{\mu}\right)}{\frac{\hat{\sigma}_d}{\mu}} \cdot \frac{\lambda_i - \bar{\lambda}}{\hat{\sigma}_\lambda} \right] \quad (V.4)$$

Pentru fiecare element încercat, sînt reprezentate puncte avînd în abscisă valorile empirice $\chi_{(i)}^2$ și în ordonată estimațiile calculate $(n-i+1/2)/n$ ale mărimii $1 - P[\chi_{(i)}]$, exprimate în procente la scara logaritmică (i reprezintă numărul de ordine al valorilor crescătoare $\chi_{(i)}^2$ iar n , reprezintă numărul de probe).

În tabelul V.2 sînt date calculele numerice pentru verificarea normalității distribuției empirice bidimensionale $\lambda_f = f(d/\mu)$.

Se observă că toate abaterile normate $(d/\mu - \bar{d}/\mu) / \frac{\hat{\sigma}_d}{\mu}$ și $(\lambda_f - \bar{\lambda}_f) / \hat{\sigma}_{\lambda_f}$ sînt mai mici în valoare absolută decît $t_{(0,975;f)}$. Pentru controlul calculelor s-a utilizat proprietatea cunoscută a abaterilor normate și anume ca suma abaterilor normate să fie egală cu zero.

Efectuînd totalul coloanelor 5 și 6 (din tabelul V.2), obținem : $-10,13 + 10,08 = -0,05$, respectiv $-13,51 + 13,51 = 0$. După cum se observă, rezultatele sînt foarte apropiate de zero, respectiv sînt egale cu zero, așa încît se poate trage concluzia că, calculele sînt exacte.

Pentru a verifica în continuare normalitatea distribuției comune a variabilelor d/μ și λ_f , vom proceda în felul următor : în coloana 11 din tabelul V.2 se calculează valorile lui $\chi_{(i)}^2$, utilizînd relația V.4, iar valorile astfel obținute se înregistrează, în ordine crescătoare, în coloana 12. În coloana 13 sînt calculate estimațiile $(n-i+1/2)/n$ ale mărimii $1 - P[\chi_{(i)}^2]$ exprimate în procente. Perechile $\chi_{(i)}^2$ și $(n-i+1/2)/n$ sînt reprezentate în figura V.5.

Verificarea normalității distribuției empirice bidimensionale la grinzile

$\lambda_f = f(\frac{d}{\mu})$ armate cu toroane

Indicativ grindă	$\frac{d}{\mu}$	$\frac{d-d}{\mu}$	λ_f	$\lambda_f - \bar{\lambda}_f$	$\frac{\frac{d-d}{\mu} - \frac{\bar{d}}{\mu}}{\frac{\sigma_d}{\mu}}$	$\frac{\lambda_f - \bar{\lambda}_f}{\sigma_{\lambda_f}}$	t_x^2	t_y^2	$2r \cdot t_x \cdot t_y$	$t_x^2 + t_y^2 - 2r \cdot t_x \cdot t_y$	$\chi_{(i)}^2$	$\chi_{(i)}^2$	$1 - P_{\chi^2(i)}$	$\frac{d-d}{\mu} - \frac{\bar{d}}{\mu}$	$(\lambda_f - \bar{\lambda}_f)^2$	$(\frac{d-d}{\mu} - \frac{\bar{d}}{\mu}) \cdot (\lambda_f - \bar{\lambda}_f)$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
A1	141	64	16,60	4,46	0,722	0,714	0,521	0,510	0,107	1,138	1,148	0,047	98,5	4096	17,31	266,24
A3	127	78	11,30	9,46	0,880	1,625	0,770	2,641	0,297	3,708	3,720	0,304	95,0	6084	89,49	737,88
A4	127	78	12,87	7,89	0,880	1,356	0,770	1,839	0,247	2,854	2,870	0,489	91,7	6084	62,25	615,42
B1	124	81	26,00	5,24	0,914	0,920	0,835	0,846	0,174	1,507	1,520	0,732	88,5	6561	27,46	424,44
B2	124	81	19,90	0,86	0,914	0,148	0,835	0,022	0,028	0,885	0,892	0,792	85,0	6561	0,74	69,66
B3	102	103	13,88	6,88	1,160	1,182	1,346	1,397	0,284	3,027	3,050	0,892	81,7	10609	47,34	708,64
B4	102	103	17,00	3,76	1,160	0,646	1,346	0,417	0,155	1,918	1,932	0,956	78,5	10609	14,14	387,28
C3	279	74	28,00	7,24	0,835	1,244	0,697	1,548	0,217	2,462	2,490	0,976	75,0	5476	52,42	535,76
C4	279	74	26,17	5,41	0,835	0,930	0,697	0,865	0,160	1,722	1,740	1,148	71,5	5476	29,27	400,34
D3	169	36	14,30	6,46	0,406	1,111	0,165	1,234	0,094	1,493	1,508	1,172	68,5	1296	41,73	232,56
D4	169	36	18,85	1,91	0,406	0,328	0,165	0,108	0,028	0,301	0,304	1,194	65,0	1296	3,65	68,76
E11	141	64	26,80	6,04	0,722	1,038	0,521	1,077	0,156	1,442	1,456	1,270	61,7	4096	36,48	386,56
E12	141	61	21,90	1,16	0,688	0,199	0,473	0,040	0,028	0,485	0,489	1,448	58,5	3721	1,35	70,76
E21	186	19	20,90	0,14	0,214	0,024	0,046	0,001	0,001	0,046	0,047	1,456	55,0	361	0,02	2,66
E22	186	19	27,10	6,34	0,214	1,089	0,046	1,186	0,048	1,184	1,194	1,470	51,7	361	40,20	120,46

Tabelul V.2. (continuare)

o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
F11	141	64	27,00	6,24	0,722	1,072	0,521	1,149	0,160	1,510	1,520	1,508	48,5	4096	38,94	399,36
F21	141	64	16,50	4,26	0,722	0,732	0,521	0,536	0,109	1,166	1,172	1,520	45,0	4096	18,15	272,64
F22	186	19	31,23	10,47	0,214	1,799	0,046	3,236	0,080	3,202	3,230	1,520	41,7	361	109,62	198,93
G11	141	64	25,10	4,34	0,722	0,746	0,521	0,556	0,111	0,966	0,976	1,740	38,5	4096	18,84	277,76
G12	141	64	32,20	11,44	0,722	1,966	0,521	3,865	0,294	4,092	4,110	1,932	35,0	4096	130,87	732,17
G21	186	19	25,70	4,94	0,214	0,848	0,046	0,719	0,037	0,726	0,732	2,490	31,7	361	24,40	93,86
G22	186	19	25,90	5,14	0,214	0,883	0,046	0,780	0,039	0,787	0,792	2,870	28,3	361	26,42	97,66
GA01	281	76	15,36	5,40	0,858	0,928	0,736	0,861	0,165	1,432	1,448	3,050	25,0	5776	29,16	410,40
GA02	281	76	16,00	4,76	0,858	0,818	0,736	0,669	0,145	1,260	1,270	3,230	21,7	5776	22,66	361,76
CA03	375	170	16,70	4,06	1,919	0,696	3,682	0,484	0,276	3,890	3,920	3,680	18,3	28900	16,48	690,20
GA04	375	170	19,70	1,06	1,919	0,182	3,682	0,033	0,073	3,642	3,680	3,720	15,0	28900	1,12	180,20
GB01	281	76	17,50	3,26	0,858	0,560	0,736	0,313	0,099	0,950	0,956	3,920	11,7	5776	10,63	247,76
GB02	281	76	15,30	5,46	0,858	0,938	0,736	0,880	0,166	1,452	1,470	3,940	8,3	5776	29,81	414,96
GB03	375	170	22,70	1,84	1,919	0,316	3,682	0,100	0,125	3,907	3,940	4,110	5,0	28900	3,38	313,80
GB04	375	170	14,60	6,16	1,919	1,058	3,682	1,119	0,418	4,382	4,400	4,400	1,7	28900	37,95	1047,20

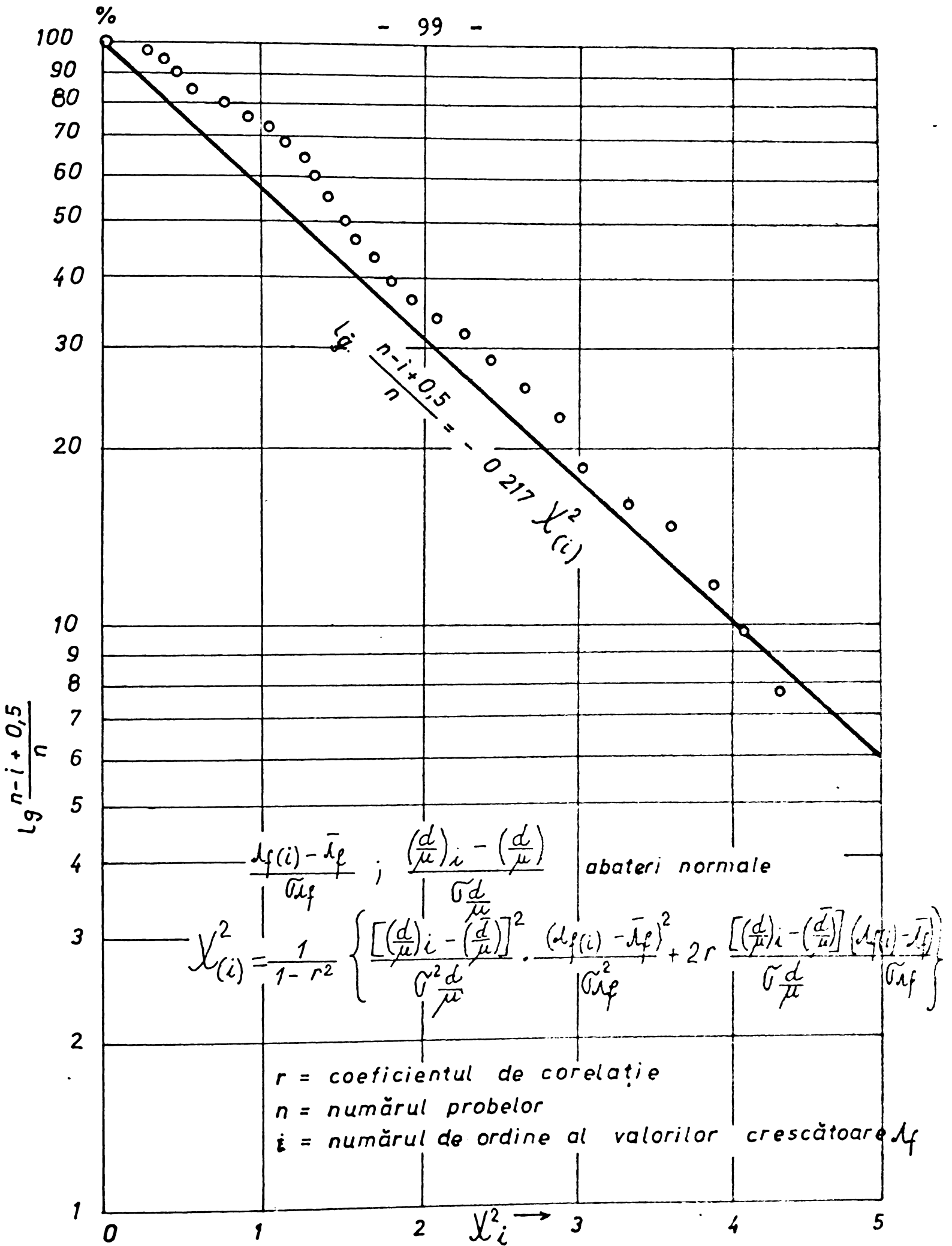


FIG. V. 5

Se observă că punctele care au drept ordonate logaritmi estimațiilor $(n - i + 1/2)/n$, iar ca abscise mărimile $x_{(i)}^2$, se grupează în jurul liniei drepte care trece prin punctul de coordonate $(0,100)$ și are coeficientul unghiular egal cu -2.17 , așa încât putem trage concluzia că distribuția distanțelor dintre fisuri este normală.

Pentru controlul calculelor, se determină totalul coloanelor 7, 8 și 11. Totalul coloanelor 7 și 8 trebuie să fie egal cu numărul gradelor de libertate. Într-adevăr, suma patratelor abaterilor valorilor variabile față de media acestor valori, împărțită la numărul valorilor sau la numărul gradelor de libertate reprezintă dispersia.

În coloanele 7 și 8 sînt înregistrate patratele abaterilor normate. Se știe că media abaterilor normate este zero, iar dispersia este 1. Prin urmare, suma patratelor abaterilor normate împărțită la numărul gradelor de libertate trebuie să fie 1 sau, cu alte cuvinte, suma patratelor abaterilor de libertate. Totalul celor două coloane (7 și 8) este 29,13 respectiv 29,08 fiind foarte apropiate ca valori de numărul gradelor de libertate: $30 - 1 = 29$.

Din definiția mărimii $x_{(i)}^2$ rezultă că $\sum_{i=1}^{30} x_i^2 = 2f = 2 \times 29 = 58$, or, totalul coloanei 11, care reprezintă $\sum_{i=1}^{30} x_i^2$, este egal cu 58,076, adică foarte apropiat de 58. Aceste rezultate confirmă exactitatea calculelor.

5.2. Ecuația liniilor de regresie ale distanței dintre fisuri în funcție de procentul de armare și diametru

Dintre factorii care influențează distanța dintre fisuri s-a verificat influența lui d/μ , printr-un calcul de corelație, aplicîndu-se o formă simplificată :

$$\lambda_f = a_0 + a_1 \frac{d}{\mu} \quad (V.5)$$

Această ecuație a fost adoptată la Simpozionul RILEM de la Stockholm, din anul 1957 /17/.

În figura V.6 s-au reprezentat punctele experimentale corespunzătoare perechilor de valori λ_f și d/μ .

Din reprezentarea grafică a datelor pentru toate grinzile studiate și din faptul că distribuția bidimensională a fost normală, a rezultat că la majoritatea elementelor încercate, regresia a fost liniară.

Valorile coeficienților de corelație "r" cuprinse între 0,6 și 0,9 indică o corelație bună, putîndu-se interpreta că influența raportului d/μ asupra distanței dintre fisuri este preponderentă, în timp ce aportul altor factori este de numai 10 ... 40%.

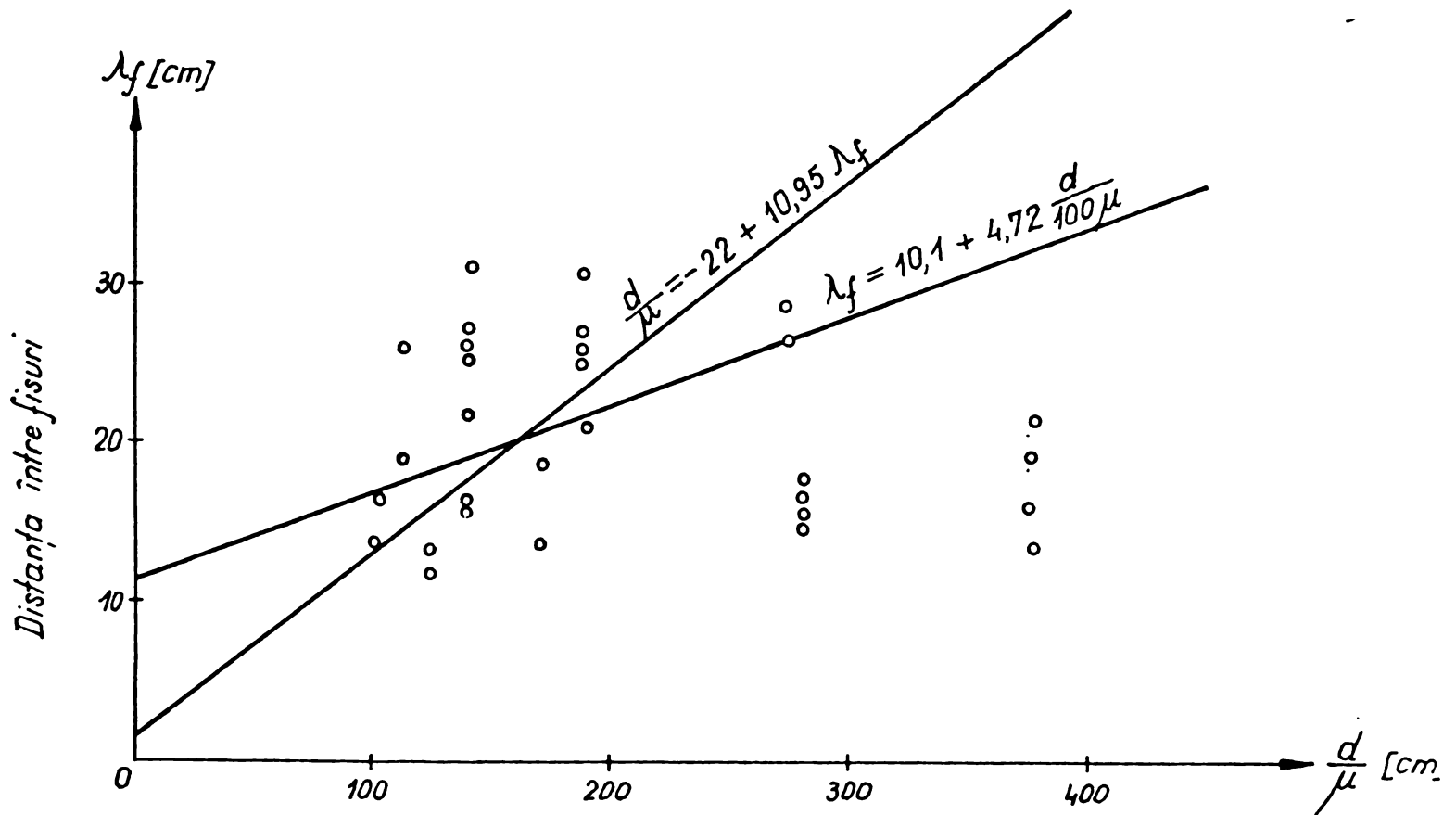


FIG. V. 6

Valorile coeficienților de corelație "r" $\leq 0,4$ indică o corelație slabă. La elementele experimentale încercate, coeficientul de corelație "r" este egal cu 0,72, ceea ce indică o corelație bună.

Ecuțiile dreptelor de regresie $\lambda_f = f(d/\mu)$

Cunoscînd că d/μ este variabila explicativă a lui λ_f , se poate determina dreapta care permite să se obțină λ_f în funcție de d/μ cu o probabilitate determinată.

În cazul legăturii a două variabile, ce se pot reprezenta într-un sistem de axe x y, cele două drepte de regresie sînt :

și
$$\lambda_f = a_0 + a_1 \frac{d}{\mu} \quad (V.6)$$

$$\frac{d}{\mu} = b_0 + b_1 \cdot \lambda_f \quad (V.6)$$

unde :

$$a_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{d}{\mu} \cdot i - \frac{\bar{d}}{\mu} \right) (\lambda_i - \bar{\lambda})}{\sum_1^n \left(\frac{d}{\mu} \cdot i - \frac{\bar{d}}{\mu} \right)^2} \quad (V.7)$$

$$a_0 = \bar{\lambda} - a_1 \cdot \frac{d}{\mu} \quad (V.8)$$

$$b_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{d}{\mu} \cdot i - \frac{\bar{d}}{\mu} \right) (\lambda_i - \bar{\lambda})}{\sum_1^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2} \quad (V.9)$$

$$b_0 = \frac{d}{\mu} - b_1 \cdot \bar{\lambda} \quad (V.10)$$

După cum se știe, mediile și abaterea medie patratică are expresiile :

$$\lambda = \frac{\sum_1^n \lambda_i}{n} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n-1}}$$

iar coeficientul de corelație "r" are următoarea expresie :

$$r = \sqrt{a_1 \cdot b_1} \quad (V.11)$$

Pentru a putea admite expresiile semiempirice deduse pe baza calculelor statistice , în cazul de față , efectuate pe un număr restrîns de date de la încercări, s-a verificat în ce măsură coeficientul de corelație "r", calculat, reprezintă o corelație reală cu o siguranță suficientă. In acest scop s-a calculat valoarea lui "t" pentru $f = n - 2$ grade de libertate, cu expresia :

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \quad (V.12)$$

In cazul în care t calculat depășește valoarea $t_{(0,95;f)}$, pentru probabilitatea $P = 0,95$ și numărul gradelor de libertate corespunzător, coeficientul de corelație se deosebește semnificativ de zero și deci corelația este sigură.

Folosind datele din tabelul V.2, pentru corelația $\lambda_f = f(d/\mu)$ la grinzile experimentale încercate, rezultă :

$$a_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{d}{\mu} i - \frac{\bar{d}}{\mu}\right) (\lambda_i - \bar{\lambda})}{\sum_1^n \left(\frac{d}{\mu} i - \frac{\bar{d}}{\mu}\right)^2} = \frac{10.764}{228.858} = 0,0472$$

$$b_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{d}{\mu} i - \frac{\bar{d}}{\mu}\right) (\lambda_i - \bar{\lambda})}{\sum_1^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2} = \frac{10.764}{982} = 10,95$$

$$\lambda = \frac{\sum_1^n \lambda_i}{n} = \frac{622,96}{30} = 20,76$$

$$\frac{d}{\mu} = \frac{6.146}{30} = 205$$

$$a_0 = \bar{\lambda} - a_1 \cdot \frac{\bar{d}}{\mu} = 20,76 - 0,0472 \times 205 = 11,10$$

$$b_0 = \frac{\bar{d}}{\mu} - b_1 \cdot \bar{\lambda} = 205 - 10,95 \times 20,76 = -22$$

$$\lambda_f = a_0 + a_1 \frac{d}{\mu} = 11,1 + 4,72 \frac{d}{100\mu}$$

$$\lambda_f = 11,1 + 4,72 \frac{d}{100\mu}$$

(V.13)

$$\frac{d}{\mu} = -22 + 10,95 \lambda_f$$

(V. 14)

$$r = \sqrt{a_1 \cdot b_1} = \sqrt{0,0472 \times 10,95} = 0,72$$

$$t = \frac{r}{1-r^2} \cdot \sqrt{n-2} = \frac{0,72}{1-0,52} \cdot \sqrt{28} = 8,6$$

$$t = 8,6 > t(0,95; 28) = 1,70$$

Deci ecuația liniei de regresie empirică, care ar estima linia de regresie teoretică, reprezentată în figura IV.6, este :

$$\lambda_f = 11,10 + 4,72 \frac{d}{100\mu}$$

5.3. Determinarea coeficientului β_f prin metode statistice

Una din problemele de bază care se pun la folosirea relațiilor stabilite în teoria generală pentru calculul distanței și al deschiderii fisurilor, este găsirea unor legi de variație a efortului unitar de aderență între armătură și beton.

După cum se cunoaște, efortul unitar de aderență τ_a este variabil pe intervalul dintre două fisuri consecutive.

În momentul apariției fisurii, stabilirea legii de variație a efortului unitar de aderență este dificilă, din cauza numeroșilor factori care intervin.

În stadiul I (înainte de apariția fisurilor), efortul este preluat atât de armătură, cât și de beton.

$$N = N_b + N_a = \sigma_b' \cdot A_b + \sigma_a \cdot A_a = ct \quad (V.15)$$

Dacă N crește, în secțiunea cea mai slabă se produce prima fisură. Eforturile din beton sînt preluate de armătură.

$$N = N_f = N_{a2} = \sigma_{a2} \cdot A_a.$$

Pe măsură ce ne îndepărtăm de fisură, efortul din armătură scade, iar cel din beton crește. Transmiterea efortului se face prin aderență. Această transmitere se face pînă cînd într-o secțiune efortul în beton ajunge la valoarea R_t , unde se va produce a doua fisură.

$$N = N_f = N_{b1} + N_{a1}$$

N_{b1} este efortul preluat de beton în stadiul Ia și are valoarea :

$$N_{b1} = N_{bf} = R_t \cdot A_{bt}$$

$$N_{a1} = \sigma_a \cdot A_a$$

$$\epsilon_a = \epsilon_t \quad \epsilon_t = \frac{2R_t}{E_b}$$

Efortul în armătură σ_f , în stadiul I, în funcție de efortul din beton, va avea valoarea :

$$\sigma = \epsilon_a E_a = \frac{2R_t}{E_b} = 2n \cdot R_t$$

Diferența de efort preluat de armătură în secțiunea unde a apărut prima fisură, față de secțiunea unde a apărut cea de a doua fisură, este predată betonului pe distanța dintre fisuri.

$$N_{a2} - N_{a1} = N_{b1} = \tau_a \cdot \lambda_f \cdot \mu$$

Dar : $N_{bt} = R_t A_{bt}$

și atunci $R_t \cdot A_{bt} = \lambda_f \cdot u \cdot \tau_a$

Distanța dintre fisuri λ_f va avea expresia :

$$\lambda = \frac{R_t}{\tau_a} \cdot \frac{A_{bt}}{u} \tag{V.16}$$

notînd

$$\frac{R_t}{\tau_a} = \beta_f$$

relația (V.16) va avea următoarea formă :

$$\lambda_f = \beta_f \frac{A_{bt}}{u} \tag{V.17}$$

unde : A_{bt} este aria zonei întinse de beton în stadiul Ia, de apariție a fisurilor :

$$u = \sum u_i \tag{V.18}$$

u reprezintă perimetrul total al armăturilor din zona întinsă.

$$A_{bt} = b_{ai} \cdot h_{pi} + b(h - x_1) \tag{V.19}$$

Notațiile se pot vedea în figura V.7. Aria zonei întinse de beton A_{bt} se determină ținînd seama și de acțiunea forței de precomprimare N_0 .

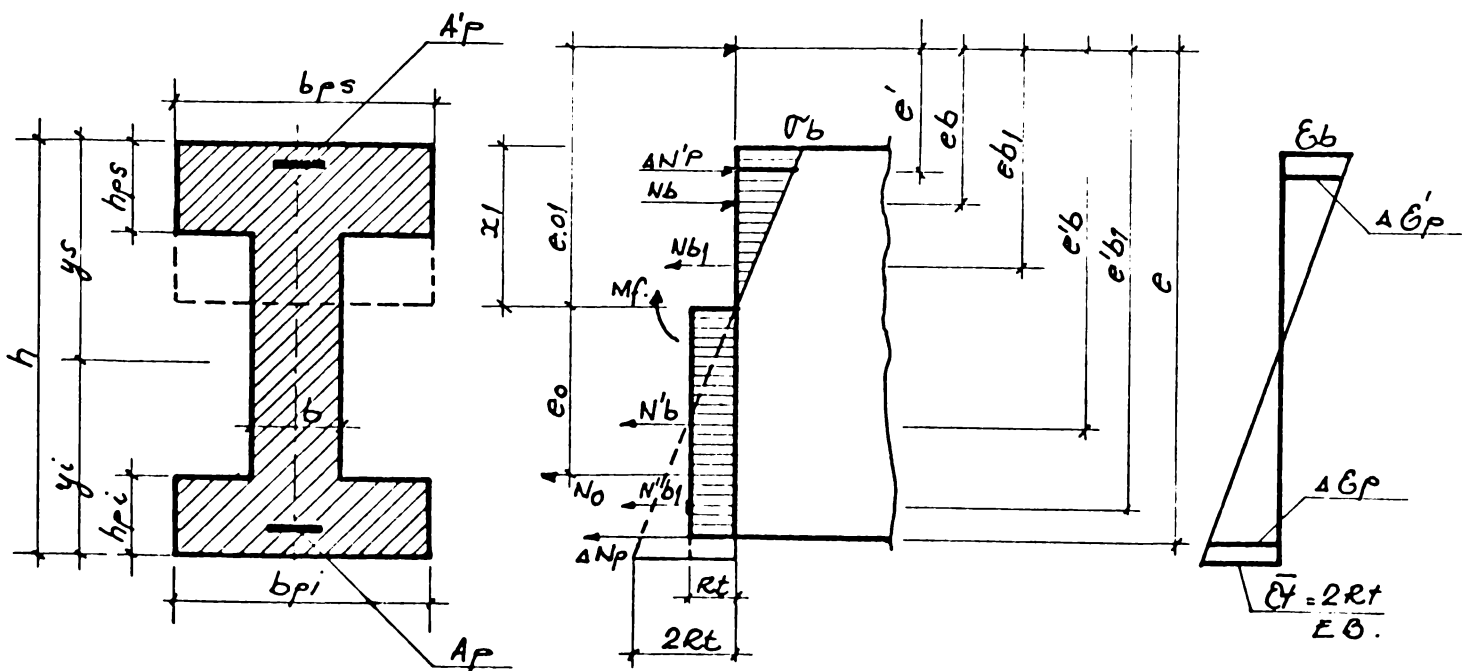


FIG. V. 7.

Astfel, valoarea lui $h-x$ rezultă din ecuația de proiecție după axa barei :

$$N_o = N_b - N_{b_1} - N'_b - N'_{b_1} - N_p + N'_p \quad (V.20)$$

După înlocuirea valorii rezultantei eforturilor, ecuația (V.20) devine :

$$N_o = \frac{x_1^2}{h-x_1} \cdot b_{ps} \cdot R_t - \frac{(x_1 - h_{ps})^2}{h-x_1} \cdot b_{as} \cdot R_t - (h-x_1) \cdot b \cdot R_t - \\ - b_{ai} \cdot h_{ps} \cdot R_t - 2n \cdot R_t \frac{h_0 - x_1}{h-x_1} \cdot A_p + 2n R_t \frac{x_1 - a'}{h-x_1} \cdot A_p \quad (V.21)$$

în care s-a notat :

$$b_{as} = b_{ps} - b \quad (V.22)$$

și

$$b_{ai} = b_{pi} - b \quad (V.23)$$

Rezolvînd ecuația (V.21), în final se obține mărimea zonei întinse, sub forma :

$$h-x_1 = \frac{2h \cdot h_{ps} \cdot b_{as} + h^2 b + 2n_p A_p \cdot a + 2n_p A'_p (h-a') - h_{ps}^2 \cdot b_{as}}{2h_{ps} \cdot b_{as} + 2hb + b_{ai} \cdot h_{pi} + 2n_p A_p + 2n_p A'_p + \frac{N_o}{R_t}} \quad (V.24)$$

În relația (V.17) se observă că distanța dintre fisuri este direct proporțională cu coeficientul β_f .

Cu cît valoarea lui β_f este mai mică, cu atît aderența este mai bună.

Mărimea β_f este o mărime variabilă, care depinde de procentul de armare, de raportul $R_t / \tilde{\tau}_m$, care este funcție de diametrul armăturii pretensionate, de grosimea stratului de acoperire, de felul armăturii și, într-o anumită măsură, și de calitatea betonului.

Studiul statistic al distanței dintre fisuri s-a făcut luînd în considerare media rezultatelor experimentale.

Pentru elementele armate cu toroane s-a stabilit o corelație de forma :

$$\lambda_f = f\left(\frac{d}{\mu}\right)$$

iar valoarea coeficientului β_f se poate exprima sub forma unei drepte :

$$\beta_f = a + b \cdot \frac{\mu}{d} \quad (V.25)$$

Se pune deci problema determinării celor doi coeficienți: a și b.

Considerînd că raportul μ/d este variabila explicativă a lui β_f , se poate determina valoarea lui β_f în funcție de μ/d , cu o probabilitate determinată.

În cazul legăturii celor două variabile, dreptele de regresie sînt :

$$\beta_f = a_0 + a_1 \frac{\mu}{d} \quad (\text{V.26})$$

și

$$\frac{\mu}{d} = b_0 + b_1 \beta_f \quad (\text{V.27})$$

unde :

$$a_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{\mu}{d} i - \frac{\bar{\mu}}{d} \right) (\beta_f - \bar{\beta}_f)}{\sum_1^n \left(\frac{\mu}{d} i - \frac{\bar{\mu}}{d} \right)^2} \quad (\text{V.28})$$

$$a_0 = \bar{\beta}_f - a_1 \frac{\mu}{d} \quad (\text{V.29})$$

$$b_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{\mu}{d} i - \frac{\bar{\mu}}{d} \right) (\beta_f - \bar{\beta}_f)}{\sum_1^n (\beta_f - \bar{\beta}_f)^2} \quad (\text{V.30})$$

$$b_0 = \frac{\mu}{d} - b_1 \beta_f \quad (\text{V.31})$$

Folosind datele din tabelul V.3 pentru corelația $\beta_f = f(\mu/d)$ la grinzile încercate, rezultă :

$$a_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{\mu}{d} i - \frac{\bar{\mu}}{d} \right) (\beta_f - \bar{\beta}_f)}{\sum_1^n \left(\frac{\mu}{d} i - \frac{\bar{\mu}}{d} \right)^2} = \frac{234,012 \cdot 10^{-5}}{7,7987 \cdot 10^{-5}} = 30,06$$

Deci : $a_1 \cong 30$

$$a_0 = \bar{\beta}_f - a_1 \frac{\mu}{d} = 0,590 - 30 \times 0,636 = 0,590 - 0,1908 = 0,3992$$

Tabelul V.3.

Verificarea normalității distribuției empirice bidimensionale

$\beta_f = f\left(\frac{\mu}{d}\right)$ la grinzile experimentale încercate

Nr. crt.	Indicativ grindă	$\frac{\mu}{d}$	$\frac{\mu - \bar{\mu}}{d}$	β_f	$\beta_f - \bar{\beta}_f$	$\left(\frac{\mu - \bar{\mu}}{d}\right)^2$	$\beta_f - \bar{\beta}_f$	$\left(\frac{\mu - \bar{\mu}}{d}\right)(\beta_f - \bar{\beta}_f)$
0	1	2	3	4	5	6	7	7
1	A1	0,00718	0,00082	0,615	0,025	0,06724 · 10 ⁻⁵	0,625 · 10 ⁻³	2,050 · 10 ⁻⁵
2	A2	0,00718	0,00082	0,615	0,025	0,06724 · 10 ⁻⁵	0,625 · 10 ⁻³	2,050 · 10 ⁻⁵
3	A3	0,00788	0,00150	0,636	0,046	0,22500 · 10 ⁻⁵	2,116 · 10 ⁻³	6,900 · 10 ⁻⁵
4	A4	0,00788	0,00150	0,636	0,046	0,22500 · 10 ⁻⁵	2,116 · 10 ⁻³	6,900 · 10 ⁻⁵
5	B1	0,00806	0,00170	0,642	0,052	0,28900 · 10 ⁻⁵	2,704 · 10 ⁻³	8,840 · 10 ⁻⁵
6	B2	0,00806	0,00170	0,642	0,052	0,28900 · 10 ⁻⁵	2,704 · 10 ⁻³	8,840 · 10 ⁻⁵
7	B3	0,00979	0,00343	0,694	0,104	1,16749 · 10 ⁻⁵	10,816 · 10 ⁻³	35,672 · 10 ⁻⁵
8	B4	0,00979	0,00343	0,694	0,104	1,16749 · 10 ⁻⁵	10,816 · 10 ⁻³	35,672 · 10 ⁻⁵
9	C1	0,00359	0,00277	0,508	0,082	0,76729 · 10 ⁻⁵	6,724 · 10 ⁻³	22,714 · 10 ⁻⁵
10	C2	0,00359	0,00277	0,508	0,082	0,76729 · 10 ⁻⁵	6,724 · 10 ⁻³	22,714 · 10 ⁻⁵
11	C3	0,00359,	0,00277	0,508	0,082	0,76729 · 10 ⁻⁵	6,724 · 10 ⁻³	22,714 · 10 ⁻⁵
12	C4	0,00359	0,00277	0,508	0,082	0,76729 · 10 ⁻⁵	6,724 · 10 ⁻³	22,714 · 10 ⁻⁵
13	D1	0,00538	0,00098	0,561	0,029	0,09604 · 10 ⁻⁵	0,841 · 10 ⁻³	2,842 · 10 ⁻⁵
14	D2	0,00538	0,00098	0,561	0,029	0,09604 · 10 ⁻⁵	0,841 · 10 ⁻³	2,842 · 10 ⁻⁵
15	D3	0,00590	0,00046	0,577	0,013	0,02116 · 10 ⁻⁵	0,169 · 10 ⁻³	0,589 · 10 ⁻⁵
16	D4	0,00590	0,00046	0,577	0,013	0,02116 · 10 ⁻⁵	0,169 · 10 ⁻³	0,598 · 10 ⁻⁵

Tabelul V.3. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8
17	E11	0,00718	0,00082	0,615	0,025	0,06724 · 10 ⁻⁵	0,625 · 10 ⁻³	2,050 · 10 ⁻⁵
18	E12	0,00718	0,00082	0,615n	0,025	0,06724 · 10 ⁻⁵	0,625 · 10 ⁻³	2,050 · 10 ⁻⁵
19	F11	0,00718	0,00082	0,615	0,025	0,06724 · 10 ⁻⁵	0,625 · 10 ⁻³	2,050 · 10 ⁻⁵
20	F12	0,00718	0,00082	0,615	0,025	0,06724 · 10 ⁻⁵	0,625 · 10 ⁻³	2,050 · 10 ⁻⁵
21	G11	0,00718	0,00082	0,615	0,025	0,06724 · 10 ⁻⁵	0,625 · 10 ⁻³	2,050 · 10 ⁻⁵
22	G12	0,00718	0,00082	0,615	0,025	0,06724 · 10 ⁻⁵	0,625 · 10 ⁻³	2,050 · 10 ⁻⁵
23	E21	0,00538	0,00098	0,561	0,029	0,09604 · 10 ⁻⁵	0,841 · 10 ⁻³	2,842 · 10 ⁻⁵
24	E22	0,00538	0,00098	0,561	0,029	0,09604 · 10 ⁻⁵	0,841 · 10 ⁻³	2,842 · 10 ⁻⁵
25	F21	0,00538	0,00098	0,561	0,029	0,09604 · 10 ⁻⁵	0,841 · 10 ⁻³	2,842 · 10 ⁻⁵
26	F22	0,00538	0,00098	0,561	0,029	0,09604 · 10 ⁻⁵	0,841 · 10 ⁻³	2,842 · 10 ⁻⁵
27	G21	0,00538	0,00098	0,561	0,029	0,09604 · 10 ⁻⁵	0,841 · 10 ⁻³	2,842 · 10 ⁻⁵
28	G22	0,00538	0,00098	0,561	0,029	0,09604 · 10 ⁻⁵	0,841 · 10 ⁻³	2,842 · 10 ⁻⁵
	$\frac{\mu}{d}$	0,00636		$\beta_4 = 0,590$		$\Sigma = 7,7987 \cdot 10^{-5}$	$70,234 \cdot 10^{-3}$	$234,012 \cdot 10^{-5}$

se poate lua : $\underline{a_0 \cong 0,40}$

$$= \frac{\sum_1^n \left(\frac{\mu}{d} i - \frac{\mu}{d} \right) (\beta_f - \bar{\beta})}{\sum_1^n (\beta_f - \bar{\beta})^2} = \frac{234,012 \cdot 10^{-5}}{70,234 \cdot 10^{-3}} = 3,32 \times 10^{-2}$$

deci : $\underline{b_1 = 0,0333}$

Dreptele de regresie vor avea următoarea formă :

$$\beta_f = 0,40 + 30 \frac{\mu}{d} \quad (\text{V.31})$$

și

$$\frac{\mu}{d} = -0,0133 + 0,0333 \beta_f \quad (\text{V.32})$$

Deci valoarea coeficientului β_f determinat prin metode statistice pentru armătura formată din toroane, este dată de relația (V.31)

$$\beta_f = 0,40 + 30 \frac{\mu}{d}$$

Normativele românești în vigoare /119/ stabilesc pentru coeficientul β_f următoarele valori în cazul elementelor încovinate :

- pentru oțel OB 37 : $\beta_f = 0,50 + 30 \frac{\mu}{d}$ (V.33)

- pentru PC 52 și PC 60 : $\beta_f = 0,35 + 30 \frac{\mu}{d}$ (V.34)

Valoarea lui β_f pentru toroane, este cuprinsă între valoarea stabilită pentru β_f , la oțeluri cu armătura netedă și la oțeluri cu profil periodic PC 52 și PC 60, apropiindu-se mai mult de valoarea celor cu profil periodic. Această remarcă arată că aderența armăturilor din toroane este bună, apropiindu-se mult de cea a armăturilor cu profil periodic.

5.4. Studiul statistic al deschiderii fisurilor, verificarea normalității deschiderii fisurilor

Pe grinda dată în figura V.1 și V.2 se observă că valorile deschiderilor de fisuri în dreptul armăturii, pe zona de moment constant, se distribuie, la diferite trepte de încărcare pînă aproape de rupere, cu totul altfel decît distanțele dintre fisuri.

În figura V.8 s-a reprezentat frecvența relativă cumulată a deschiderii fisurilor pe o rețea de probabilitate ale cărei ordonate sînt dispuse după o scară funcțională, astfel încît func-

ția de distribuție a legii normale să se reprezinte printr-o dreaptă. Din această diagramă și din cele prezentate de Rüşch și G. Rehm /94/, reese că valorile deschiderii fisurilor se măresc și se distribuie cu atît mai diferit de distribuția normală, cu cît crește încărcarea.

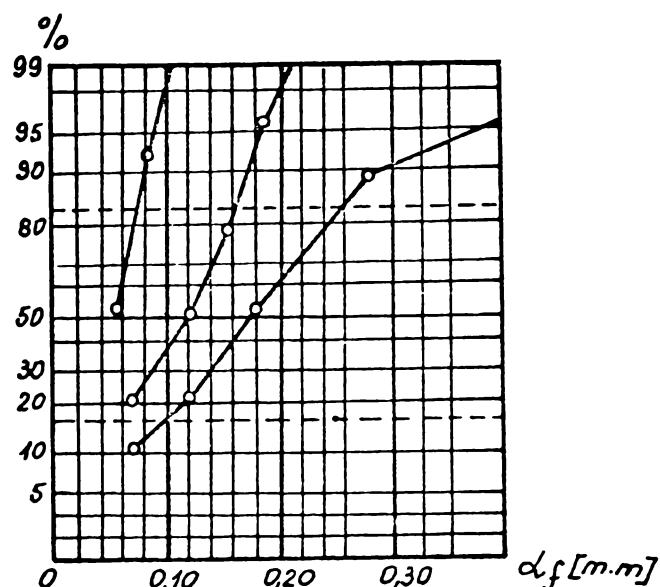


FIG. V.8

In figura V.9 s-a reprezentat această dreaptă, al cărei coeficient unghiular este egal cu $1/\sigma_\alpha$ și trece prin punctele $(\lambda_\alpha, 0)$.

Valorile empirice ale variabilei \hat{Z}_i au fost reprezentate printr-o curbă în trepte, determinată cu ajutorul tabelii, funcție de distribuție.

Valoarea funcției $F(z)$ are forma :

$$F(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

corespunzătoare frecvențelor relative experimentale cumulate :

$$F(z) = \frac{i - \frac{1}{2}}{n}$$

în care i este numărul de ordine al valorilor crescătoare λ_f și n , numărul de probe.

In tabelul V.4 sînt date calculele numerice pentru verificarea normalității deschiderii fisurilor la grinzile experimentale încercate.

In figura V.9 se vede că linia frîntă și linia dreaptă sînt apropiate, așa încît se poate admite că mărimea deschiderii fisurilor se distribuie aproximativ normal.

Verificarea normalității deschiderii fisurilor

Ca și în cazul distanței dintre fisuri, normalitatea distribuției deschiderii fisurilor pe zona de moment constant s-a verificat prin metoda diagramelor.

S-au comparat valorile empirice ale variabilei normate $\hat{z}(\lambda)$ cu distribuția valorilor teoretice nenormate $z(\lambda)$ corespunzătoare.

Distribuția valorilor teoretice este normală, pentru că $z(\lambda)$ este o funcție liniară.

Tabelul V.4.

Verificarea normalității deschiderii fisurilor la grinziile armate cu toroane

Nr. crt.	α_f [mm]	α_f^2	$F_i \cdot 100 = \frac{i - \frac{1}{2}}{n} \cdot 100$	$\Phi(\hat{z}_i) = F_i - 0.5$	\hat{z}_i	$\frac{\alpha - \bar{\alpha}_f}{\sigma} = z_i$	$ \hat{z}_i - z_i $	$\Phi(z_i)$	$\frac{\sqrt{[0.5 + \Phi(z_i)][0.5 - \Phi(z_i)]}}{n}$	$f(z_i)$	$G(\hat{z}_i)$	$Z = \frac{ \hat{z}_i - z_i }{\sigma_z}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,080	0,006	1,67	0,483	2,12	2,12	0,00	0,483	0,024	0,042	0,595	0,00
2	0,105	0,011	5,00	0,450	1,64	1,62	0,02	0,447	0,040	0,107	0,374	0,053
3	0,116	0,013	8,31	0,416	1,38	1,40	0,02	0,419	0,047	0,150	0,314	0,064
4	0,120	0,014	11,70	0,380	1,17	1,30	0,13	0,403	0,053	0,171	0,310	0,420
5	0,123	0,015	15,00	0,350	1,04	1,22	0,18	0,389	0,057	0,189	0,300	0,600
6	0,125	0,016	18,35	0,316	0,90	1,20	0,30	0,385	0,059	0,194	0,308	0,972
7	0,150	0,022	21,70	0,283	0,79	0,72	0,07	0,264	0,078	0,308	0,253	0,270
8	0,158	0,025	25,00	0,250	0,67	0,56	0,11	0,212	0,083	0,341	0,244	0,455
9	0,160	0,026	28,30	0,217	0,57	0,52	0,05	0,198	0,084	0,348	0,241	0,200
10	0,165	0,027	31,70	0,183	0,48	0,42	0,06	0,163	0,086	0,365	0,236	0,252
11	0,165	0,028	35,00	0,150	0,39	0,38	0,01	0,148	0,087	0,371	0,234	0,043
12	0,170	0,029	38,30	0,117	0,30	0,32	0,02	0,125	0,088	0,379	0,232	0,086
13	0,172	0,030	41,70	0,083	0,21	0,28	0,07	0,110	0,089	0,384	0,231	0,303
14	0,180	0,032	45,00	0,050	0,13	0,12	0,01	0,048	0,090	0,396	0,227	0,044
15	0,185	0,034	48,30	0,017	0,04	0,02	0,02	0,008	0,091	0,399	0,228	0,088

Tabelul V.4. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	0,195	0,038	51,60	0,016	0,04	0,18	0,14	0,071	0,090	0,392	0,230	0,631
17	0,195	0,038	55,00	0,050	0,13	0,18	0,05	0,071	0,090	0,392	0,230	0,217
18	0,200	0,040	58,40	0,080	0,20	0,28	0,08	0,110	0,089	0,384	0,231	0,342
19	0,200	0,040	61,70	0,117	0,30	0,28	0,02	0,110	0,089	0,384	0,231	0,087
20	0,203	0,041	65,00	0,150	0,39	0,34	0,05	0,135	0,088	0,377	0,234	0,204
21	0,215	0,046	69,40	0,194	0,51	0,58	0,07	0,219	0,083	0,337	0,247	0,271
22	0,221	0,049	71,80	0,218	0,58	0,70	0,12	0,258	0,078	0,312	0,250	0,480
23	0,225	0,051	75,00	0,250	0,67	0,78	0,11	0,282	0,075	0,294	0,255	0,430
24	0,225	0,051	78,30	0,283	0,79	0,78	0,01	0,282	0,075	0,294	0,255	0,039
25	0,227	0,052	81,90	0,319	0,91	0,82	0,09	0,294	0,071	0,285	0,260	0,345
26	0,235	0,055	84,90	0,349	1,03	0,94	0,09	0,326	0,069	0,256	0,270	0,334
27	0,235	0,055	88,20	0,382	1,19	0,94	0,25	0,326	0,069	0,256	0,270	0,925
28	0,270	0,073	91,70	0,417	1,39	1,68	0,29	0,453	0,038	0,097	0,392	0,740
29	0,277	0,077	95,00	0,450	1,64	1,82	0,18	0,466	0,034	0,076	0,453	0,398
30	0,280	0,078	98,30	0,483	2,12	1,88	0,24	0,470	0,031	0,068	0,456	0,525

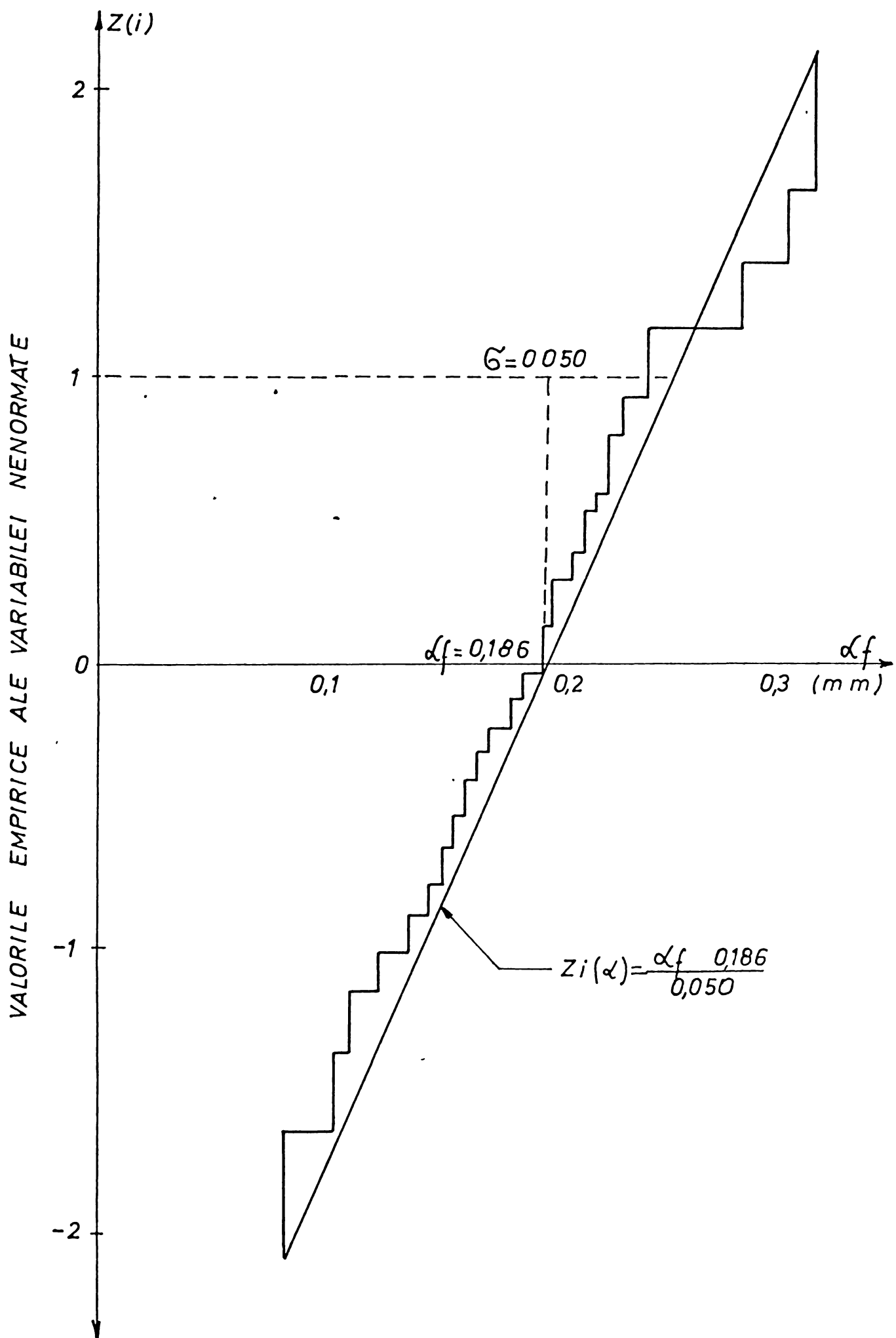


FIG. V. 9

Drept criteriu numeric de verificare a ipotezei normalității, s-a folosit mărimea :

$$z = \frac{\hat{z}_i - z_i}{\sigma_{z_i}},$$

care reprezintă diferența valorilor empirice \hat{z}_i și teoretice z_i raportate la abaterea medie patrată.

Pentru un nivel de semnificație q s-a stabilit valoarea lui z :

Nr. probe	Intervalul f (mm)	α_f (mm)	σ_α (mm)	z	$z_{0,05}$	Obs.
30	0,08 - 0,280	0,186	0,05	1,70	1,999	

Valoarea maximă de 0,972 este mai mică decât a lui $z = 1,70$, ceea ce înseamnă că distribuția valorilor mărimii fisurilor este normală.

5.5. Corelația dintre deschiderea fisurilor și caracteristicile probelor

Din cercetările efectuate s-a constatat că deschiderea fisurilor depinde de o serie de factori, cum ar fi : efortul din armătură (σ_0), distanța dintre fisuri (λ_f), rezistența la întindere a betonului (R_t) etc.

Pentru a pune în evidență gradul și intensitatea influenței comune a acestor factori, s-a aplicat metoda statistică a teoriei corelației multiple.

Rezultatele cercetării simultane a valorii deschiderii fisurilor α_f și a unui număr "n" de caracteristici factoriale, se reprezintă prin puncte în spațiu, cu n+1 dimensiuni.

Valorile medii condiționate ale variabilelor α_f , λ_f , σ_0 și R_t se reprezintă prin așa numitele suprafețe de regresie în spațiul de corelație.

Corelația este liniară dacă suprafețele de regresie sînt plane sau hiperplane. Atunci, funcție de regresie a lui α_f , în raport cu caracteristicile factoriale menționate este liniară, de forma :

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 \quad (V.35)$$

sau

$$\alpha_f = a_0 + a_1 \lambda_f + a_2 \sigma_0 + a_3 R_t \quad (V.36)$$

Ecuatia de regresie liniară poate fi folosită la determinarea valorilor apropiate ale deschiderii fisurilor pentru valori date λ_f , σ_0 și R_t , în măsura în care distribuția acestora este normală și corelația dintre α_f și fiecare dintre caracteristicile factoriale este liniară.

Ecuatiile de regresie multiplă s-au stabilit în raport cu două sau trei caracteristici factoriale, apreciind ponderea influenței fiecăruia dintre acești factori după valoarea coeficienților de corelație simplă între α_f și fiecare dintre caracteristicile factoriale considerate : λ_f , σ_0 , R_t .

Coeficienții de regresie a_1 , a_2 și a_3 din ecuația regresiei multiple arată ce pondere are influența fiecărei caracteristici factoriale asupra deschiderii fisurilor și se determină cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate, în așa fel ca dispersia abaterii valorilor observate α_f , față de valorile determinate pe baza ecuației de regresie, să fie minimă.

Dacă în loc de valorile observate pentru α_f , λ_f , σ_0 și R_t , se consideră abaterile față de media lor aritmetică, atunci ecuațiile pentru determinarea coeficienților a_0 , a_1 , a_2 , a_3 se pot scrie sub forma :

$$\begin{aligned} a_1 \sum (\lambda_f - \bar{\lambda}_f)^2 + a_2 \sum (\lambda_f - \bar{\lambda}_f)(\sigma_0 - \bar{\sigma}_0) + a_3 \sum (\lambda_f - \bar{\lambda}_f)(R_t - \bar{R}_t) &= \sum (\lambda_f - \bar{\lambda}_f)(\alpha_f - \bar{\alpha}_f) \\ a_1 \sum (\lambda_f - \bar{\lambda}_f)(\sigma_0 - \bar{\sigma}_0) + a_2 \sum (\sigma_0 - \bar{\sigma}_0)^2 + a_3 \sum (\sigma_0 - \bar{\sigma}_0)(R_t - \bar{R}_t) &= \sum (\sigma_0 - \bar{\sigma}_0)(\alpha_f - \bar{\alpha}_f) \\ a_1 \sum (\lambda_f - \bar{\lambda}_f)(R_t - \bar{R}_t) + a_2 \sum (\sigma_0 - \bar{\sigma}_0)(R_t - \bar{R}_t) + a_3 \sum (R_t - \bar{R}_t)^2 &= \sum (R_t - \bar{R}_t)(\alpha_f - \bar{\alpha}_f) \\ a_1 \sum \lambda_f + a_2 \sum \sigma_0 + a_3 \sum R_t &= \sum \alpha_f - n a_0 \end{aligned} \quad (V.37 - V.40)$$

Din rezolvarea acestui sistem de ecuații se obțin coeficienții a_0 , a_1 , a_2 , a_3 și ecuațiile de regresie multiplă.

Abaterile medii patratice ale valorilor măsurate α_f se compară cu valorile calculate pe baza ecuației de regresie multiplă, cu ajutorul formulei :

$$\sigma_{\alpha, \lambda, R, \sigma} = \sqrt{\frac{\sum (\alpha - \bar{\alpha})^2}{n} - a_1 \frac{\sum (\lambda - \bar{\lambda})(\alpha - \bar{\alpha})}{n} - a_2 \frac{\sum (\sigma - \bar{\sigma})(\alpha - \bar{\alpha})}{n} - a_3 \frac{\sum (R - \bar{R})(\alpha - \bar{\alpha})}{n}} \quad (V.41)$$

Abaterile medii patratice $\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum (\alpha - \bar{\alpha})^2}{n-1}}$ au fost mai mari decât cele corespunzătoare calculate pe baza ecuației de regresie,

ceea ce se explică prin faptul că o parte a variației deschiderii fisurii se datorește variației lui λ_f , σ_o și R_t .

Coeficientul multiplu de corelație, care dă o indicație asupra intensității legăturii dintre α_f și λ_f , σ_o , R_t , s-a calculat cu formula :

$$R_{\alpha, \lambda, \sigma, R} = \sqrt{1 - \frac{\tilde{\sigma}_{\alpha, \lambda R \sigma}^2}{\tilde{\sigma}_{\alpha}^2}} \quad (V.42)$$

unde :

$$\tilde{\sigma}_{\alpha, \lambda R \sigma} = \frac{\sum \alpha^2 - a_0 \sum \alpha \lambda - a_2 \sum \alpha \sigma - a_3 \sum \alpha R}{n} \quad (V.43)$$

care în toate cazurile a fost mai mare decât coeficienții de corelație simplă dintre α_f și fiecare dintre caracteristicile factoriale considerate, ceea ce arată că α_f este corelat liniar cu λ_f , σ_o și R_t și că prin corelația multiplă s-a obținut o aproximare mai bună a mărimii deschiderii de fisuri.

Pentru a aprecia în ce măsură variația lui λ_f , σ_o sau R_t separat influențează asupra lui α_f , s-au calculat coeficienții de corelație parțială de ordinul I și II, după cum au fost eliminate una sau două caracteristici dintre cele considerate în corelația multiplă cu formulele :

$$r_{\alpha, \lambda, \sigma} = \frac{r_{\alpha, \lambda} - r_{\alpha R} r_{\lambda R}}{\sqrt{(1 - r_{\alpha R}^2)(1 - r_{\lambda R}^2)}} \quad \text{de ordinul I} \quad (V.44)$$

$$r_{\alpha, \lambda, \sigma, R} = \frac{r_{\alpha, \lambda R} - r_{\alpha, R \sigma} r_{\lambda, \sigma R}}{\sqrt{(1 - r_{\alpha R \sigma}^2)(1 - r_{\lambda \sigma R}^2)}} \quad \text{de ordinul al IIlea} \quad (V.45)$$

Prin permutarea caracteristicilor factoriale s-au obținut toți coeficienții de corelație corespunzători dependențelor existente între α_f , λ_f , σ_o și R_t .

Calculul corelației multiple $\alpha_f = f(\lambda_f; R_t)$

Suma abaterilor diferențelor caracteristice, față de media lor aritmetică este :

$$\sum (\alpha - \bar{\alpha})^2 = \sum \alpha^2 - \frac{(\sum \alpha)^2}{n} = 0,806 - \frac{4,077^2}{22} = 0,051$$

$$\sum (\lambda - \bar{\lambda})^2 = 11.494,9 - \frac{485,20^2}{22} = 794,9$$

$$\sum (R - \bar{R})^2 = 27.605,79 - \frac{777,9^2}{22} = 100,0$$

$$\sum (\alpha - \bar{\alpha})(\lambda - \bar{\lambda}) = \sum \alpha \lambda - \frac{\sum \alpha \sum \lambda}{n} = 92,114 - \frac{4,077 \times 485,20}{22} = 2,20$$

$$\sum (\alpha - \bar{\alpha})(R - \bar{R}) = 146,20 - \frac{4,077 \times 777,9}{22} = 2,04$$

$$\sum (\lambda - \bar{\lambda})(R - \bar{R}) = 17.701 - \frac{485,20 \times 777,9}{22} = 545$$

Coeficienții ecuațiilor de regresie multiplă liniară sînt:

$$a_2 = \frac{\sum (\alpha - \bar{\alpha})(R - \bar{R}) - \frac{\sum (\lambda - \bar{\lambda})(R - \bar{R}) \cdot \sum (\alpha - \bar{\alpha})(\lambda - \bar{\lambda})}{\sum (\lambda - \bar{\lambda})}}{\sum (R - \bar{R}) - \frac{[\sum (\lambda - \bar{\lambda})(R - \bar{R})]^2}{\sum (\lambda - \bar{\lambda})}}$$

$$a_2 = \frac{2,04 - \frac{545 \times 2,20}{794}}{100 - \frac{545^2}{794,9}} = \frac{2,04 - 1,62}{100 - 373} = - \frac{0,42}{273} = - 0,0015$$

$$a_2 = - 0,0015$$

$$a_1 = \frac{\sum (\alpha - \bar{\alpha})(\lambda - \bar{\lambda}) - a_2 \sum (\lambda - \bar{\lambda})(R - \bar{R})}{\sum (\lambda - \bar{\lambda})^2}$$

$$a_1 = \frac{2,20 + 0,0015 \times 545}{794,9} = \frac{3,017}{794,9} = 0,0038$$

$$a_1 = 0,0038$$

$$a_0 = \frac{\sum \alpha - a_1 \sum \lambda - a_2 \sum R}{n}$$

$$a_0 = \frac{4,077 - 0,0038 \times 485,20 + 0,0015 \times 777,9}{22} = 0,154$$

$$a_0 = 0,154$$

Rezultă următoarea ecuație de regresie :

$$\alpha_f = 0,154 + 0,0038 \lambda_f - 0,0015 R_t \quad (V.46)$$

Abaterea medie patrativă rezultă :

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 2,192 & -48.113 & 537,20 \\ -159,70 & 118.805.893 & -98.445,00 \\ 2,035 & -98.445 & 899,97 \end{vmatrix} =$$

$$10^6 \begin{vmatrix} 2,192 & -4,811 & 5,37 \\ -159,70 & 11.880,59 & -984,45 \\ 2,035 & -9,84 & 9 \end{vmatrix} =$$

$$= 10^6 (2,19 \times 11.880,59 \times 9 + 159,70 \times 9,84 \times 5,37 + 4,81 \times 984,45 \times 2,035 - 2,035 \times 11.880,59 \times 5,37 - 159,70 \times 4,811 \times 9 - 9,84 \times 984,45 \times 2,192) = 9,24 \times 10^{10}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 793,58 & 2,192 & 537,2 \\ -48.113 & -159,70 & -98.445 \\ 537,2 & 2,035 & 899,7 \end{vmatrix} =$$

$$= 10^4 \begin{vmatrix} 7,94 & 2,19 & 5,37 \\ -481,13 & -159,7 & -984,45 \\ 5,37 & 2,035 & 9,0 \end{vmatrix} =$$

$$= 10(-7,94 \times 159,7 \times 9,0 - 148,13 \times 2,035 \times 5,37 - 2,19 \times 984,45 \times 5,37 + 5,37 \times 159,7 \times 5,37 + 2,035 \times 984,45 \times 7,94 + 481,13 \times 2,19 \times 9) = 1,65 \times 10^7$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 793,58 & -48.113 & 2,192 \\ -48.113 & 118.805.893 & -159,70 \\ 537,2 & -98.445 & 0,049 \end{vmatrix} =$$

$$10^6 \begin{vmatrix} 7,94 & 4,81 & 2,192 \\ -481,13 & 11.880,59 & -159,70 \\ 5,37 & -9,84 & 0,049 \end{vmatrix} =$$

$$= 10^6 (7,94 \times 11.880,59 \times 0,049 + 481,13 \times 9,84 \times 2,192 - 4,81 \times 159,70 \times 5,37 - 5,37 \times 11.880,59 \times 2,192 + 481,13 \times 4,81 \times 0,049 - 9,84 \times 159,7 \times 7,94) = 13,99 \times 10^{10}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 793,58 & -48.113 & 537,2 \\ -48.113 & 118.805.893 & -98.445 \\ 537,2 & -98.445 & 899,97 \end{vmatrix} =$$

$$= 10^8 \begin{vmatrix} 7,94 & -4,81 & 5,37 \\ -481,13 & 11.880,59 & -984,45 \\ 5,37 & -9,84 & 9 \end{vmatrix} =$$

$$= 10^8 (7,94 \times 11.880,59 \times 9 + 481,13 \times 9,84 \times 5,37 + 4,81 \times$$

$$\times 984,45 \times 5,37 - 5,37 \times 11.880,59 \times 5,37 - 481,13 \times 4,81 \times$$

$$\times 9 \times 9 - 9,84 \times 984,45 \times 7,94) = 28,04 \times 10^{12}$$

$$a_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{9,24 \times 10^{10}}{28,04 \times 10^{12}} = 0,0032$$

$$a_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{1,65 \times 10^7}{28,04 \times 10^{12}} = 0,00000059$$

$$a_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{13,99 \times 10^{10}}{28,04 \times 10^{12}} = 0,0049$$

$$a_0 = \frac{\sum \alpha - a_1 \sum \lambda - a_2 \sum \sigma - a_3 \sum R}{n}$$

$$= \frac{4,077 - 0,0032 \times 485,2 - 0,00000059 \times 206.745 - 0,0049 \times 777,9}{22}$$

$$a_0 = -0,0634$$

Ecuatia de regresie multiplă liniară este :

$$\alpha_f = -0,0634 + 0,0032 \lambda_f + 0,00000059 \sigma_0 + 0,0049 R_t \quad (V.47)$$

Abaterea medie pătratică este .

$$\sigma_{\alpha, \lambda, \sigma, R} = \sqrt{\frac{0,049}{22} - 0,0032 \frac{2,192}{22} + 0,00000059 \frac{159,70}{22} -$$

$$- 0,0049 \frac{2,035}{22}} = 0,069$$

Verificînd normalitatea distribuției valorilor λ_f , σ_0 și R_t , pe baza abaterilor normate, s-a găsit că aceste abateri sînt mai mici în valoare absolută, decît $t_{(0,975; f)}$ conform tablei distribuției Student pentru probabilitatea $P = 0,975$ și pentru numărul gradelor de libertate $f = n-1$. Rezultă că distribuțiile parțiale ale acestor variabile sînt normale.

Pentru grinzile armate cu toroane avînd grade diferite de

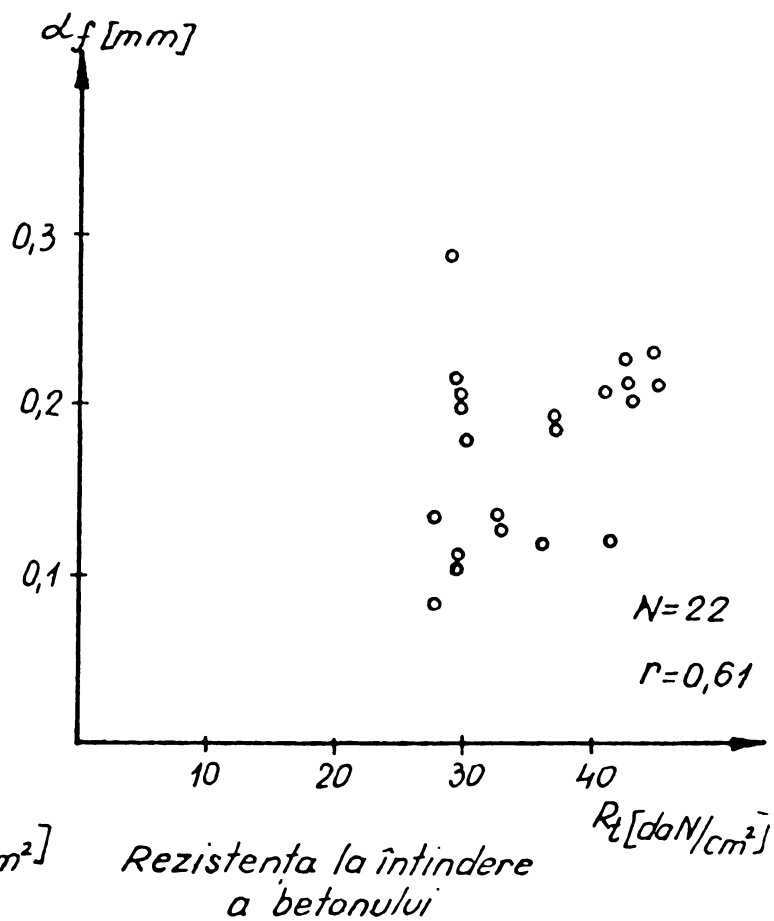
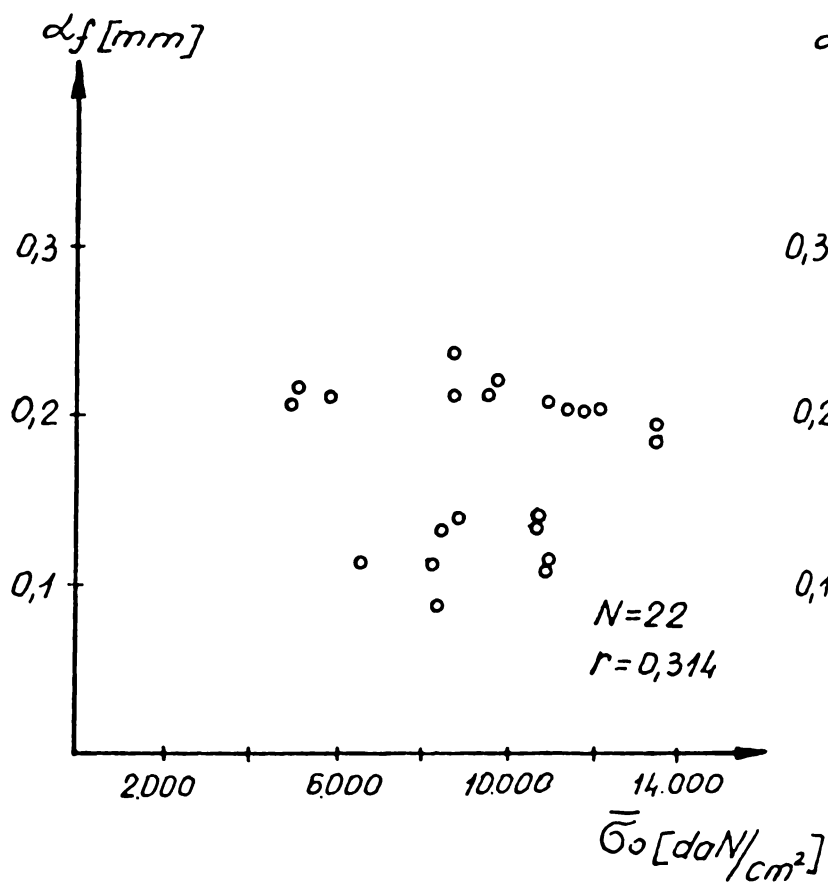
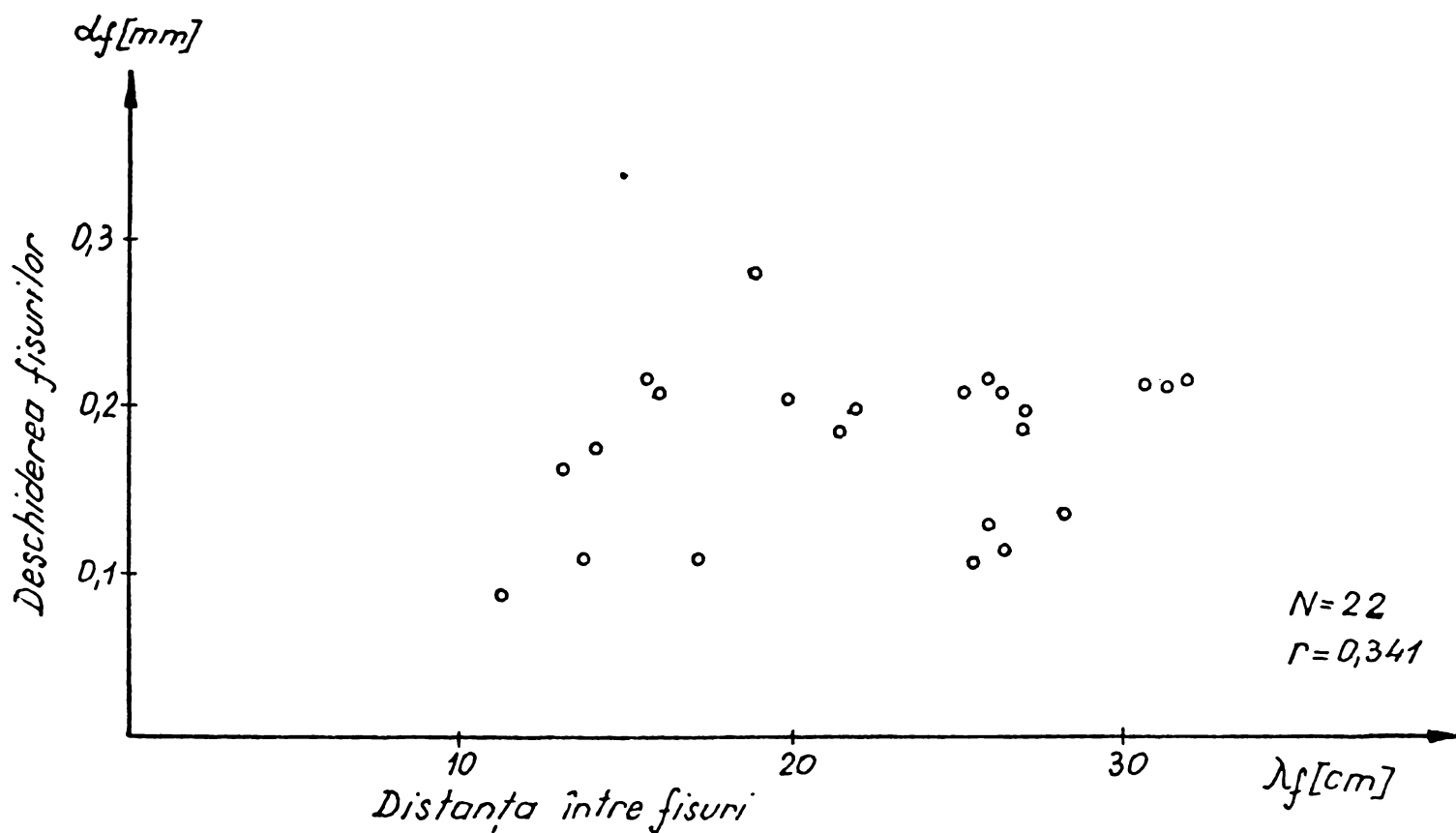


FIG. V. 10

Tabelul V.5.

Corelația multiplă $\alpha_f = f(\lambda_f, R_t)$ la grinzile armate cu toroane avînd grade diferite de precomprimare

Mr. Crt.	α_f	λ_f	G_0	R_t	α_f^2	λ_f^2	G_0^2	R_t^2	$\alpha_f \lambda_f$	$\alpha_f G_0$	$\alpha_f R$	$\lambda_f G_0$	$\lambda_f R_t$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,227	16,60	8,982	28,5	0,052	275,6	80,676,324	812,25	3,767	2,038	6,47	149,101	473,1
2	0,080	11,30	8,655	27,5	0,006	127,7	74,909,025	756,25	0,904	692	2,20	97,801	310,7
3	0,167	12,87	8,656	27,5	0,028	165,6	74,926,336	756,25	2,149	1,445	4,59	111,403	354,0
4	0,221	26,00	11,069	29,5	0,049	676,0	122,522,761	870,25	5,746	2,446	6,52	287,794	767,0
5	0,203	19,90	11,195	29,5	0,041	396,0	125,328,025	870,25	4,040	2,273	5,99	222,781	587,0
6	0,123	13,88	10,723	29,5	0,015	192,6	114,982,729	870,25	1,707	1,319	3,63	148,835	409,5
7	0,116	17,00	10,731	29,5	0,013	289,0	115,154,361	870,25	1,972	1,717	3,42	182,427	501,5
8	0,170	28,00	10,316	32,0	0,029	784,0	106,419,856	1,024,00	4,760	1,754	5,44	288,848	896,0
9	0,158	26,17	10,316	32,5	0,025	684,9	106,419,856	1,056,25	4,135	1,630	5,14	269,970	850,5
10	0,172	14,30	8,890	28,5	0,030	204,5	79,032,100	812,25	2,460	1,529	4,90	127,127	407,5
11	0,280	18,85	8,890	28,5	0,078	355,3	79,032,100	812,25	5,278	2,489	7,98	167,577	537,2
12	0,200	26,80	10,812	43,5	0,040	718,2	117,548,964	1,892,25	5,360	2,168	8,70	290,565	1,165,8
13	0,200	21,90	10,928	43,5	0,040	478,6	119,421,184	1,892,25	4,380	2,186	8,70	239,323	954,6
14	0,185	20,90	13,688	36,7	0,034	436,8	187,361,344	1,346,89	3,867	2,532	6,79	286,079	767,0

Tabelul V.5. (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	0,195	27,10	13.649	36,7	0,038	734,4	186.295.201	1.346,89	5,285	2.662	7,16	369.888	994,6
16	0,125	27,00	8.068	38,5	0,016	729,0	65.108.761	1.482,25	3,375	1.009	4,81	217.836	1.039,5
17	0,225	16,50	9.515	43,3	0,051	272,3	90.535.225	1.474,89	3,713	2.141	9,74	156.998	714,4
18	0,235	31,23	9.755	43,3	0,055	975,3	95.160.025	1.474,89	7,340	2.292	10,18	304.648	1.352,3
19	0,215	25,10	4.911	44,0	0,046	630,0	24.117.921	1.936,00	5,397	1.056	9,46	123.266	1.104,4
20	0,235	32,20	4.934	44,0	0,055	1036,8	24.344.356	1.936,00	7,567	1.159	10,34	158.875	1.416,8
21	0,120	25,70	6.084	40,7	0,014	660,5	37.015.056	1.656,49	3,084	730	4,88	156.359	1.046,0
22	0,225	25,90	5.948	40,7	0,051	670,8	35.378.704	1.656,49	5,828	1.338	9,16	154.053	1.054,1
	4,077	485,20	206.745	777,9	0,806	11494,9	2.061.690.214	27605,79	92,114	42205	146,20	4511554	17.701,5

Tabelul V.6.

Corelația multiplă $\alpha_f = f(\lambda_f; \sigma_0; R_t)$ la grinzile armate cu toroane avînd grade diferite de precomprimare

Nr. crt.	α_f	λ_f	σ_0	R_t	$\alpha_f - \bar{\alpha}_f$	$(\alpha_f - \bar{\alpha}_f)^2$
0	1	2	3	4	5	6
1	0,227	16,60	8.982	28,5	0,042	0,002
2	0,080	11,30	8.655	27,5	$\bar{0},105$	0,010
3	0,167	12,87	8.656	27,5	$\bar{0},018$	0,000
4	0,221	26,00	11.069	29,5	0,036	0,001
5	0,203	19,90	11.195	29,5	$\bar{0},018$	0,000
6	0,123	13,88	10.723	29,5	$\bar{0},062$	0,004
7	0,116	17,00	10.731	29,5	$\bar{0},069$	0,005
8	0,170	28,00	10.316	32,0	$\bar{0},015$	0,000
9	0,158	26,17	10.316	32,5	$\bar{0},027$	0,001
10	0,172	14,30	8.890	28,5	$\bar{0},013$	0,000
11	0,280	18,85	8.890	28,5	$\bar{0},095$	0,009
12	0,200	26,80	10.842	43,5	0,015	0,000
13	0,200	21,90	10.928	43,5	0,015	0,000
14	0,185	20,90	13.688	36,7	0,000	0,000
15	0,195	27,10	13.649	36,7	0,010	0,000
16	0,125	27,00	8.068	38,5	$\bar{0},060$	0,004
17	0,225	16,50	9.515	43,3	0,040	0,002
18	0,235	31,23	9.755	43,3	0,050	0,002
19	0,215	25,10	4.911	44,0	0,030	0,001
20	0,235	32,20	4.934	44,0	0,050	0,002
21	0,120	25,70	6.084	40,7	$\bar{0},065$	0,004
22	0,225	25,90	5.948	40,7	0,040	0,002
	4,077	485,20	206.745	777,9	/	0,049

$$\bar{\alpha}_f = 0,185$$

Tabelul V.6. (continuare).

Nr. crt.	$\lambda_f - \bar{\lambda}_f$	$(\lambda_f - \bar{\lambda}_f)^2$	$\sigma_o - \bar{\sigma}_o$	$(\bar{\sigma}_o - \bar{\sigma}_o)^2$	$R_t - \bar{R}_t$	$(R_t - \bar{R}_t)^2$
o	7	8	9	10	11	12
1	5,45	29,70	415	172,225	6,86	47,06
2	10,75	115,56	742	550,564	7,86	61,78
3	9,18	84,27	741	549,081	7,86	61,78
4	3,95	15,60	1.672	2.795,584	5,86	34,34
5	2,15	4,62	1.798	3.232,804	5,86	34,34
6	8,17	66,75	1.326	1.758,276	5,86	34,34
7	4,95	24,50	1.334	1.779,556	5,86	34,34
8	5,95	35,40	919	844,561	3,36	11,29
9	4,12	16,97	919	844,561	2,86	8,18
10	7,75	60,06	507	257,049	6,86	47,06
11	3,20	10,24	507	257,049	6,86	47,06
12	4,80	23,04	1.445	2.088,025	8,14	66,26
13	0,15	0,02	1.531	2.343,961	8,14	66,26
14	1,15	1,32	4.291	18.412,681	1,34	1,80
15	5,05	25,50	4.252	18.079,504	1,34	1,80
16	4,95	24,50	1.329	1.766,241	3,14	9,86
17	5,55	30,80	118	13,924	7,94	63,04
18	9,18	84,27	358	128,164	7,94	63,04
19	3,05	9,30	4.488	20,142,144	8,64	74,65
20	10,15	103,02	4.463	19,918,369	8,64	74,65
21	3,65	13,32	3.313	10,975,969	5,34	28,52
22	3,85	14,82	3.449	11,895,601	5,34	28,52
	/	793,58	/	118.805,893	/	899,97

$$\lambda_f = 22,05$$

$$\bar{\sigma}_o = 9,397$$

Tabelul V.6.(continuare)

Nr. crt.	$(\alpha_f - \bar{\alpha}_f)(\lambda_f - \bar{\lambda}_f)$	$(\alpha_f - \bar{\alpha}_f)(\sigma_0 - \bar{\sigma}_0)$	$(\alpha_f - \bar{\alpha}_f)(R_t - \bar{R}_t)$	$(\lambda_f - \bar{\lambda}_f)(\sigma_0 - \bar{\sigma}_0)$	$(\lambda_f - \bar{\lambda}_f)(R_t - \bar{R}_t)$	$(\sigma_0 - \bar{\sigma}_0)(R_t - \bar{R}_t)$
o	13	14	15	16	17	18
1	0,229	17,4	0,288	2.262	37,4	2.847
2	1,129	77,9	0,825	7.976	84,5	5.832
3	0,165	13,3	0,141	6.802	72,1	5.824
4	0,142	60,2	0,211	6.604	23,1	8.798
5	0,029	32,4	0,105	3.866	14,7	10.536
6	0,507	82,2	0,363	10.833	47,9	7.770
7	0,342	92,05	0,404	6.603	29,0	7.817
8	0,089	13,8	0,050	5.468	20,0	3.088
9	0,111	24,8	0,077	3.786	11,8	2.628
10	0,101	6,6	0,089	3.929	53,1	3.478
11	0,304	48,2	0,652	1.622	21,9	3.478
12	0,072	21,7	0,122	6.936	39,1	11.762
13	0,002	22,9	0,122	229	1,2	12.462
14	0,000	0,0	0,000	4.935	1,5	5.750
15	0,051	42,52	0,012	21.473	6,7	5.698
16	0,297	79,74	0,188	6.579	15,5	4.173
17	0,222	4,7	0,318	655	44,1	937
18	0,459	17,9	0,397	3.286	72,9	2.843
19	0,092	134,6	0,259	13.688	26,3	38.776
20	0,508	223,15	0,432	45.299	87,7	38.560
21	0,237	215,35	0,347	12.092	19,5	17.692
22	0,154	134,96	0,214	13.278	20,6	18.418
	2,192	159,70	/	48.113	537,2	98.445

$$R_t = 35,36$$

precomprimare, sînt reprezentate prin puncte, în figura V.10, datele experimentale din tabelul V.5, corespunzînd perechilor de valori : în ordonata α_f , iar în abscisă λ_f , σ_o sau R_t .

Din figura V.10 se observă dependența dintre deschiderea fisurii (α_f) și parametrii λ_f , σ_o și R_t .

Coeficienții de regresie a_0 , a_1 , a_2 și a_3 ai ecuațiilor de regresie multiplă au fost determinați astfel, încît, introducînd (cu valorile lor experimentale) λ_f în cm, σ_o în daN/cm², să rezulte, din calcul, valorile deschiderii fisurilor în mm.

Se observă că includerea în analiză a influenței mai multor factori are ca urmare reducerea abaterii medii patratice din corelația multiplă, ceea ce se explică prin faptul că variația deschiderii fisurilor se datorește, în parte, variației factorilor λ_f , σ_o , R_t .

5.6. Determinarea experimentală a parametrilor coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură ψ pe baza studiului statistic

Rezultatele măsurătorilor experimentale privind distanța dintre fisuri și mărimea deschiderii lor, arată că apar diferențe destul de mari între valorile calculate și cele măsurate efectiv.

Una din cauzele principale ale acestor diferențe între valorile teoretice și cele experimentale ale lui α_f , este valoarea incorectă a coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură

ψ .

Pornind de la ecuația (III.12) :

$$\psi = a - b \frac{M_f}{M}$$

și folosind relațiile (III.14) pînă la (III.19), obținem următoarele valori :

$$a_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{M_f}{M} i - \frac{\bar{M}_f}{M} \right) (\psi - \bar{\psi})}{\sum_1^n \left(\frac{M_f}{M} i - \frac{M_f}{M} \right)^2} = - \frac{0,0814}{0,1708} = -0,476$$

$$a_0 = 0,622 - (-0,476) 0,792 = 0,622 + 0,378 = 1,00$$

$$b_1 = \frac{\sum_1^n \left(\frac{M_f}{M} i - \frac{\overline{M_f}}{M} \right) (\psi - \overline{\psi})}{\sum_1^n (\psi - \overline{\psi})^2} = - \frac{0,0814}{0,248} = -0,328$$

$$b_0 = 0,792 - (-0,328) \cdot 0,622 = 0,792 + 0,204 = 0,996$$

Dreptele de progresie (III.14) și (III.15) vor avea următoarea formă :

$$\psi = 1,0 - 0,476 \frac{M_f}{M} \quad (\text{V.48})$$

și

$$\frac{M_f}{M} = 0,996 - 0,328 \psi \quad (\text{V.49})$$

Coeficientul de corelație r va avea următoarea valoare :

$$r = \sqrt{a_1 \cdot b_1} = \sqrt{(-0,476)(-0,328)} = \sqrt{0,156} = 0,395$$

Pentru a putea admite expresiile semiempirice deduse pe baza calculelor statistice, în cazul efectuării pe un număr restrîns de date de încercări, s-a verificat în ce măsură coeficientul de corelație r , calculat, reprezintă o corelație reală cu o siguranță statistică suficientă.

În acest scop, s-a calculat valoarea t pentru $f = n-2$ grade de libertate, cu expresia :

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2}$$

$$t = \frac{0,395}{\sqrt{1-0,156}} \sqrt{24-2} = 9,5$$

Intrucît $t = 9,5$ este mai mare decît t_f din tabelul distribuției Student pentru probabilitatea $P = 0,95$ și numărul grade-
lor de libertate $f = n-2$, coeficientul de corelație se deosebește semnificativ de zero și deci corelația este sigură.

Deci valoarea coeficientului de conlucrare din^{tre} beton și armătură ψ are valoarea stabilită de relația (V.48), adică :

$$\psi = 1,0 - 0,476 \frac{M_f}{M}$$

Această relație este valabilă în cazul cînd gradul de pre-comprimare $\overline{\sigma}_o / R_p^n = 0,5$. În celelalte cazuri, cînd gradul de pre-

comprimare este mai mic sau mai mare decât 0,5, se propune o relație care ține seama atât de influența treptei de încărcare (raportul M_f/M), cât și de gradul de precomprimare ($\bar{\sigma}_o/R_p^n$):

$$\psi = 1,0 - 0,9 \frac{\bar{\sigma}_o}{R_p^n} \cdot \frac{M_f}{M} \quad (V.50)$$

în care : M_f este valoarea momentului de fisurare a elementului precomprimat;

M este valoarea solicitării la care se determină deschiderea fisurilor.

În tabelele 7 și 8 sînt date calculele numerice pentru verificarea normalității distribuției empirice bidimensionale $\psi = f(M_f/M)$.

Relația de calcul (V.50) ține seama de conlucrarea dintre armătură și beton, luînd în considerare și lucrul betonului întins dintre fisuri și deasupra lor.

În figurile V.11 și V.12 se arată valorile coeficientului ψ determinate experimental și valorile obținute cu relația (V.50).

Valorile experimentale ale deschiderii fisurilor au fost comparate cu valorile teoretice calculate prin metoda propusă, precum și cu normele românești (STAS 10107/0-76) și cele străine (CEB-FIP 1970, CAER PC 119-74).

a) Calculul după metoda propusă

$$\alpha_f = \psi \frac{\Delta \bar{\sigma}_p}{E_p} \cdot \lambda_f \quad \text{unde} \quad \psi = 1,0 - 0,9 \frac{\bar{\sigma}_o}{R_p^n} \cdot \frac{M_f}{M}$$

b) Calculul după STAS 10107/0-76

$$\alpha_f = \psi \frac{\Delta \bar{\sigma}_p}{E_p} \cdot \lambda_f \quad \text{unde} \quad \psi = 1 - \bar{\beta} \frac{A_{bt}}{A_p} \cdot \frac{R_t}{\Delta \bar{\sigma}_p}$$

c) Calculul după prevederile normelor CAER - CP 119-74

$$a_f = K \cdot K_c \cdot C_g \cdot \eta \frac{\bar{\sigma}_a}{E_p} \cdot 20(3,5 - p)^3 \cdot \sqrt{d}$$

unde : $K = 1,0$ - pentru elemente încovoiate;

$$\eta = 1,2$$

$C_g = 1,0$ - pentru încărcări de scurtă durată;

$$K_c = 2,5 \frac{c}{h_o} \cdot t(1,0; 2,5)$$

Tabelul V.7.

Verificarea normalității distribuției empirice bidimensionale $\psi = f(M_f/M)$ la grinzile armate cu toțoane

$$\bar{\alpha}_f = 0,2 \text{ mm.}$$

Nr. Crt.	Indic. grindă	$\frac{M_f}{M}$	$\frac{M_f}{M} - \frac{\bar{M}_f}{M}$	ψ	$\psi - \bar{\psi}$	$\left(\frac{M_f}{M} - \frac{\bar{M}_f}{M}\right)^2$	$(\psi - \bar{\psi})^2$	$\left(\frac{M_f}{M} - \frac{\bar{M}_f}{M}\right)(\psi - \bar{\psi})$	Obs.
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A ₁	0,839	0,047	0,602	$\bar{0},020$	0,0022	0,0004	0,0009	
2	A ₂	0,870	0,078	0,582	$\bar{0},040$	0,0061	0,0016	$\bar{0},0031$	
3	A ₃	0,596	$\bar{0},196$	0,728	0,106	0,0385	0,0110	$\bar{0},0208$	
4	A ₄	0,738	$\bar{0},054$	0,662	0,040	0,0029	0,0016	$\bar{0},0022$	
5	B ₁	0,938	0,146	0,481	$\bar{0},141$	0,0213	0,0200	$\bar{0},0206$	
6	B ₂	0,938	0,146	0,477	$\bar{0},145$	0,0213	0,0210	$\bar{0},0212$	
7	B ₃	0,725	$\bar{0},067$	0,601	$\bar{0},021$	0,0045	0,0004	0,0014	
8	B ₄	0,746	$\bar{0},046$	0,588	$\bar{0},034$	0,0021	0,0011	0,0016	
9	C ₃	0,800	0,008	0,609	$\bar{0},013$	0,0001	0,0002	$\bar{0},0001$	
10	C ₄	0,800	0,008	0,609	$\bar{0},013$	0,0001	0,0002	$\bar{0},0001$	
11	D ₁	0,845	0,053	0,624	0,002	0,0028	0,0000	0,0001	
12	D ₃	0,684	$\bar{0},108$	0,696	0,074	0,0116	0,0055	$\bar{0},0080$	
13	D ₄	0,748	$\bar{0},044$	0,668	0,046	0,0019	0,0021	$\bar{0},0020$	
14	E ₁₁	0,812	0,020	0,534	$\bar{0},088$	0,0004	0,0078	$\bar{0},0018$	
15	E ₁₂	0,812	0,020	0,530	$\bar{0},092$	0,0004	0,0068	$\bar{0},0018$	
16	F ₁₁	0,865	0,073	0,646	0,020	0,0053	0,0004	0,0014	
17	F ₁₂	0,830	0,038	0,650	0,028	0,0014	0,0008	0,0010	
18	G ₁₁	0,816	0,024	0,787	0,165	0,0006	0,0272	0,0040	
19	G ₁₂	0,913	0,121	0,762	0,140	0,9148	0,0196	0,0169	
20	E ₂₁	0,725	$\bar{0},067$	0,506	$\bar{0},114$	0,0045	0,0130	0,0076	
21	E ₂₂	0,723	$\bar{0},069$	0,484	$\bar{0},138$	0,0048	0,0565	0,0095	
22	F ₂₁	0,762	$\bar{0},030$	0,636	0,014	0,0009	0,0002	$\bar{0},0004$	
23	G ₂₁	0,651	$\bar{0},141$	0,808	0,186	0,0200	0,0346	$\bar{0},0262$	
24	G ₂₂	0,842	0,050	0,751	0,129	0,0025	0,0167	$\bar{0},0064$	
Σ		19,018	/	14,921		0,1708	0,2487	$\bar{0},0814$	

$$\frac{\bar{M}_f}{M} = 0,792$$

$$\bar{\psi} = 0,622$$

Tabelul V.8.

Verificarea normalității distribuției empirice bidimensionale $\psi = f(M_f/M)$ la grinzile armate cu toroane

$$\bar{\alpha}_f = 0,1 \text{ mm.}$$

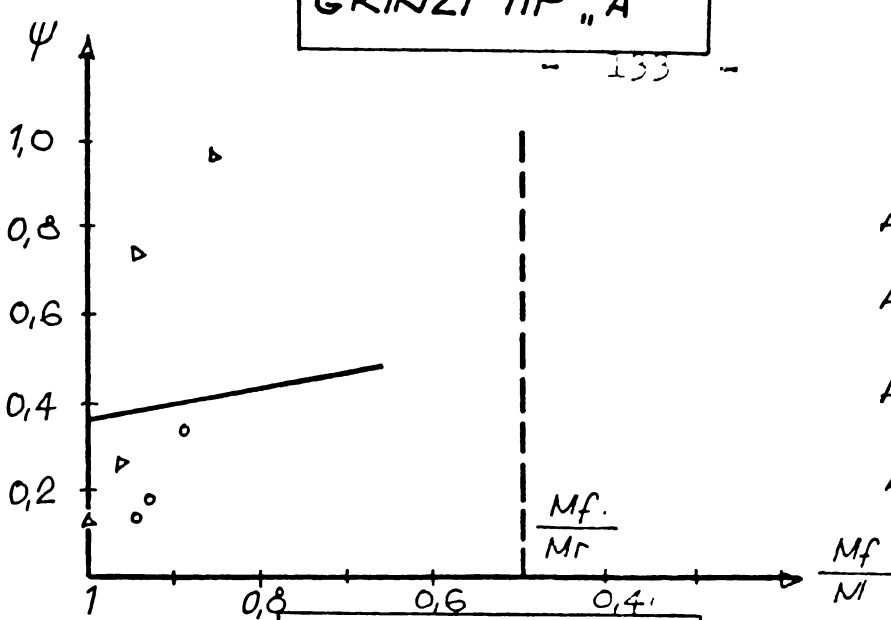
Nr. Crt.	Indic. grindă	$\frac{M_f}{M}$	$\frac{M_f}{M} - \frac{\bar{M}_f}{M}$	ψ	$\psi - \bar{\psi}$	$\left(\frac{M_f}{M} - \frac{\bar{M}_f}{M}\right)^2$	$(\psi - \bar{\psi})$	$\frac{M_f - \bar{M}_f}{M}(\psi - \bar{\psi})$	Obs.
o	1	2	3	4	5	6	7	8	9.
1	A ₁	0,903	0,019	0,572	$\bar{0},008$	0,00036	0,00006	$\bar{0},00015$	
2	A ₂	0,903	0,019	0,567	$\bar{0},013$	0,00036	0,00017	$\bar{0},00023$	
3	A ₃	0,820	$\bar{0},064$	0,626	0,046	0,00410	0,00212	$\bar{0},00281$	
4	A ₄	0,877	$\bar{0},007$	0,600	0,020	0,00005	0,00040	$\bar{0},00014$	
5	B ₁	0,977	0,093	0,460	$\bar{0},120$	0,00870	0,01440	$\bar{0},01115$	
6	B ₂	0,977	0,093	0,455	$\bar{0},205$	0,00870	0,02710	$\bar{0},01905$	
7	B ₃	0,820	$\bar{0},064$	0,546	$\bar{0},034$	0,00410	0,00116	0,00218	
8	B ₄	0,897	0,013	0,506	$\bar{0},074$	0,00017	0,00550	$\bar{0},00096$	
9	C ₃	0,837	$\bar{0},047$	0,591	0,011	0,00222	0,00012	$\bar{0},00052$	
10	C ₄	0,837	$\bar{0},047$	0,591	0,011	0,00222	0,00012	$\bar{0},00052$	
11	D ₁	0,861	$\bar{0},023$	0,637	0,037	0,00053	0,00014	$\bar{0},00085$	
12	D ₃	0,755	$\bar{0},129$	0,664	0,084	0,01660	0,00710	$\bar{0},01080$	
13	D ₄	0,836	$\bar{0},048$	0,628	0,048	0,00230	0,00230	$\bar{0},00230$	
14	E ₁₁	0,983	0,099	0,437	$\bar{0},143$	0,00980	0,02050	$\bar{0},01420$	
15	E ₁₂	0,892	0,008	0,485	$\bar{0},095$	0,00006	0,00903	$\bar{0},00076$	
16	F ₁₁	0,898	0,014	0,621	0,041	0,00020	0,00178	0,00057	
17	F ₁₂	0,960	0,076	0,594	0,014	0,00580	0,00020	0,00107	
18	G ₁₁	0,950	0,066	0,752	0,172	0,00435	0,02950	$\bar{0},01130$	
19	G ₁₂	0,970	0,086	0,747	0,167	0,00740	0,02800	0,01420	
20	E ₂₁	0,874	$\bar{0},010$	0,403	$\bar{0},177$	0,00010	0,03140	0,00177	
21	E ₂₂	0,818	$\bar{0},068$	0,443	0,137	0,00465	0,01880	$\bar{0},00930$	
22	F ₂₁	0,854	$\bar{0},030$	0,595	0,015	0,00090	0,00022	$\bar{0},00045$	
23	F ₂₂	0,830	$\bar{0},054$	0,755	0,175	0,00290	0,03060	$\bar{0},00945$	
24	G ₂₂	0,981	0,097	0,709	0,129	0,00940	0,01670	0,01250	

Σ 21,310 13,924 0,09597 0,24742 $\bar{0},04606$

$$\frac{\bar{M}_f}{M} = 0,884$$

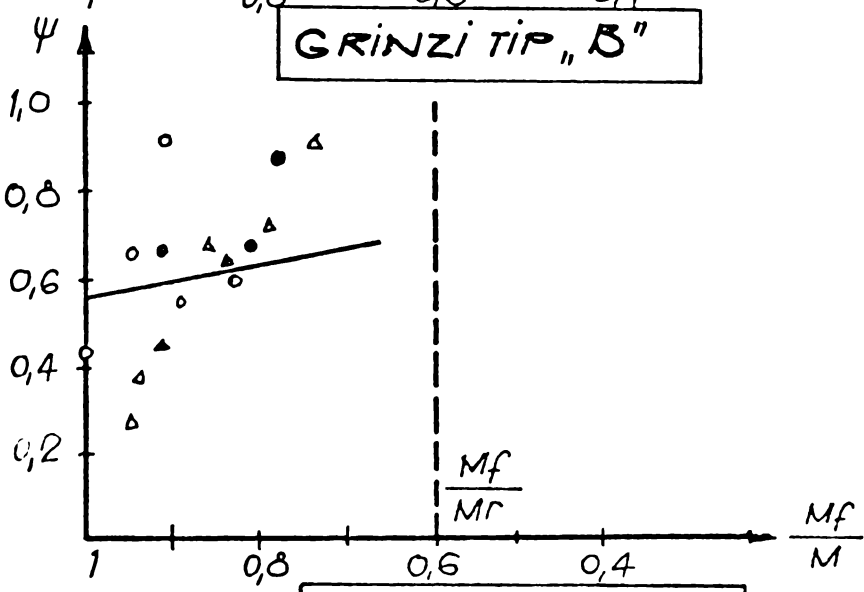
$$\bar{\psi} = 0,582$$

GRINZI TIP "A"



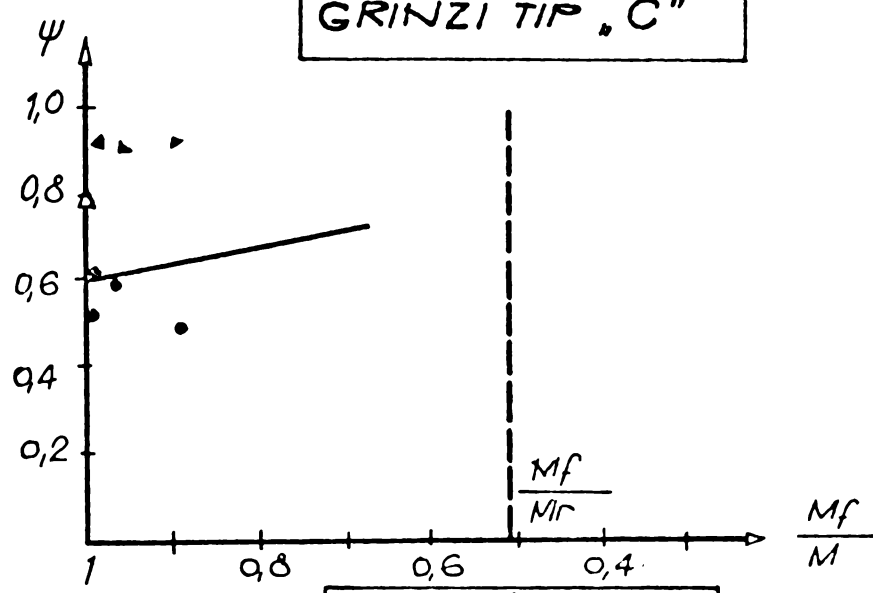
	σ_0 R_{p0}	μ_p %
A ₁ Δ	0,528	0,877
A ₂ ○	0,535	0,877
A ₃ ▲	0,510	0,962
A ₄ ●	0,510	0,962

GRINZI TIP "B"



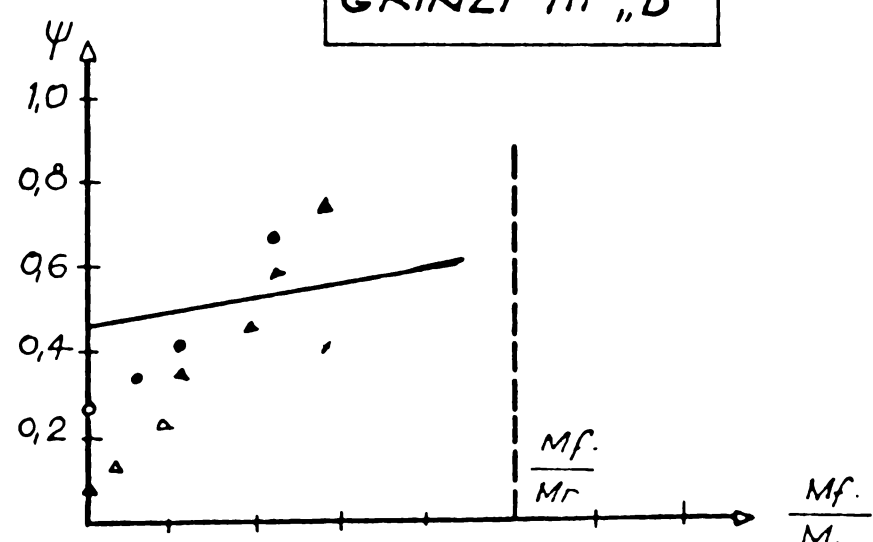
B ₁ Δ	0,615	0,734
B ₂ ○	0,620	0,734
B ₃ ▲	0,615	0,892
B ₄ ●	0,615	0,892

GRINZI TIP "C"



C ₁ Δ	0,650	0,438
C ₂ ○	0,650	0,438
C ₃ ▲	0,545	0,438
C ₄ ●	0,545	0,438

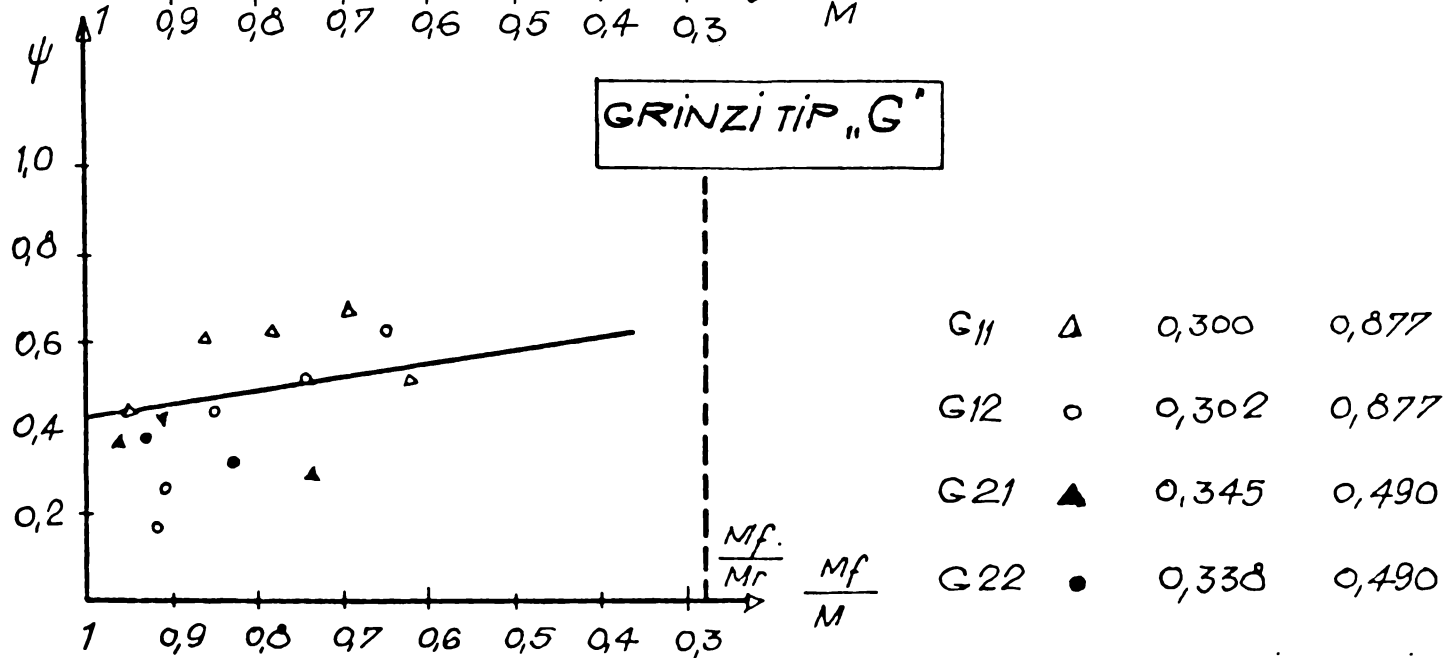
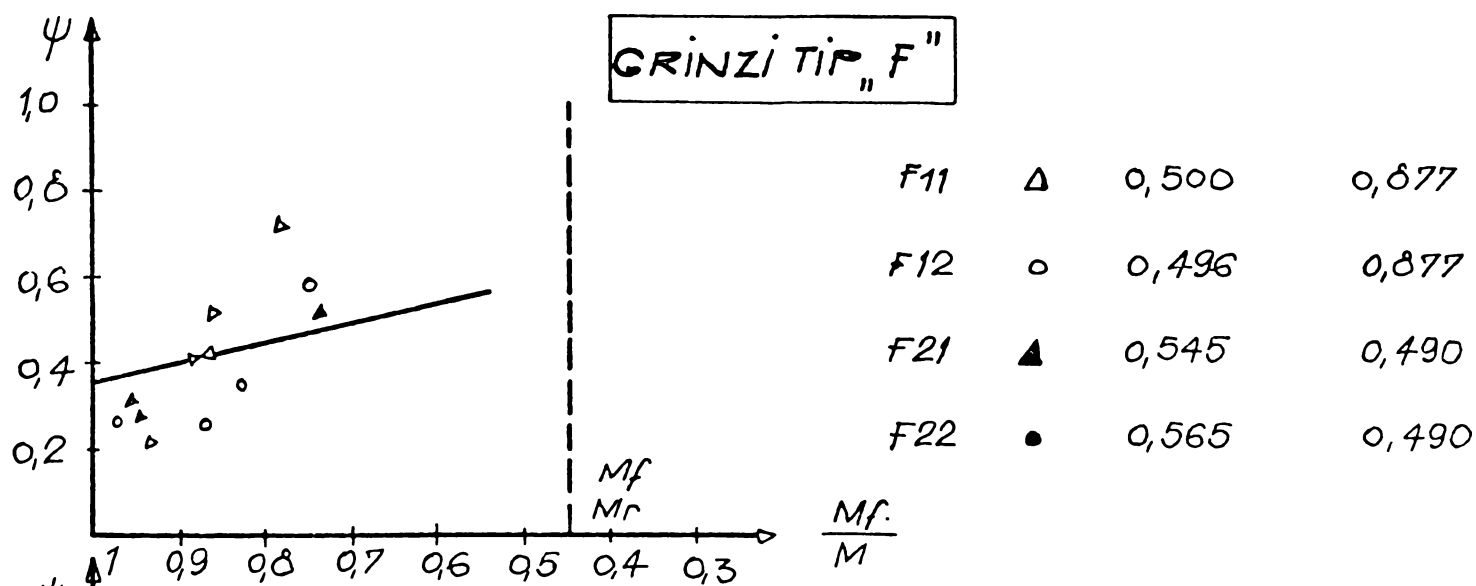
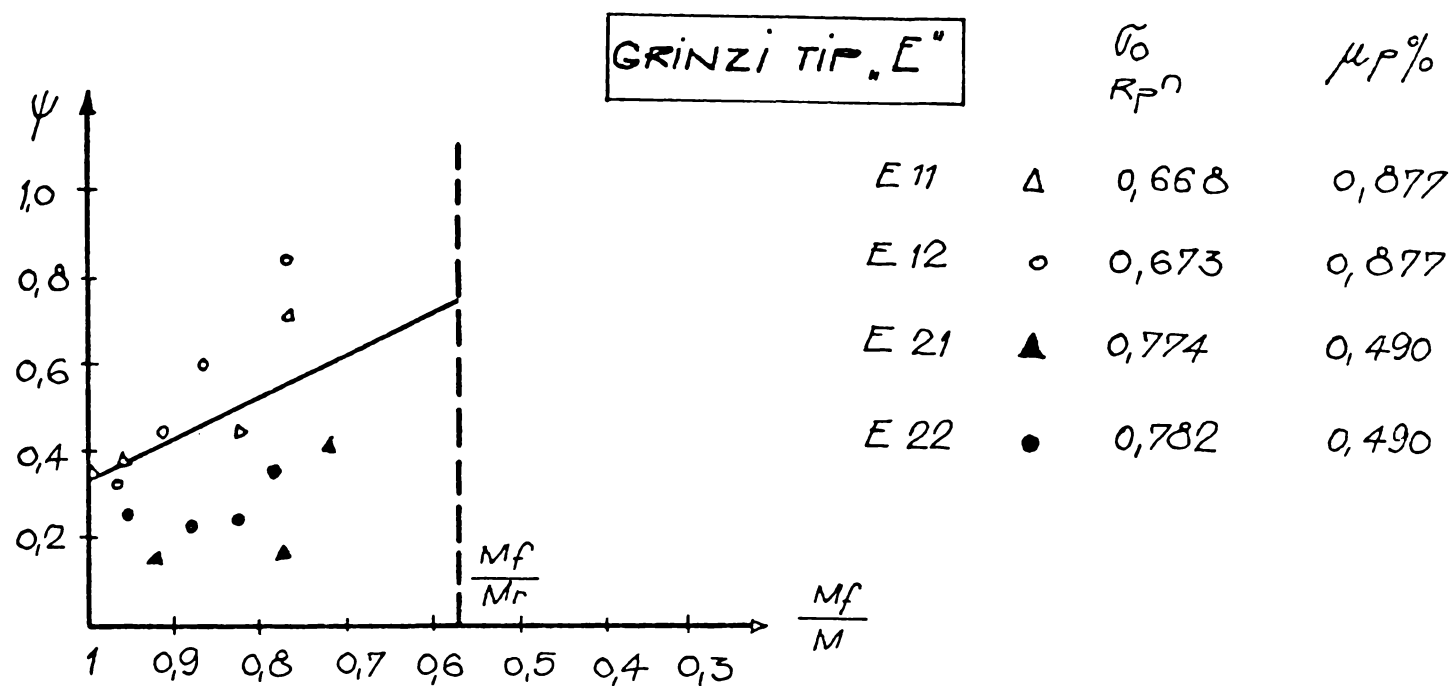
GRINZI TIP "D"



D ₁ Δ	0,495	0,485
D ₂ ○	0,515	0,485
D ₃ ▲	0,495	0,532
D ₄ ●	0,495	0,532

Δ, ○, ▲, ● - VALORI EXPERIMENTALE
 ———— VALORILE TEORICE

FIG. 11



$\Delta, \circ, \blacktriangle, \bullet$ - VALORI EXPERIMENTAL;
 ——— - VALOAREA TEORETICĂ

FIG. V. 12

$$\sigma_a = \frac{M - N_0 Z_1}{F_H \cdot Z_1}$$

$$p = 100\mu = 100 \frac{F_H}{A_p}$$

d) Calculul după prevederile normelor CEB-FIP 1970

$$W_{max} = 1,3(1 + 1,65d_w)(\epsilon_1 \cdot c + \epsilon_2 \frac{\phi}{P_f})(\Delta G_a - \frac{\epsilon_3 \cdot E_a}{P_f} \cdot \frac{1}{E_a})$$

în care s-au adoptat :

$$d_w = 0,4 ; \quad \epsilon_1 = 1,5 ; \quad \epsilon_2 = 16 ; \quad \epsilon_3 \cdot E_a = 2570$$

obținînd în final valoarea W_{med} pentru calcul, sub forma :

$$\begin{aligned} W_{med} &= \frac{W_{max}}{2,16} = 0,555(1,5c + \frac{16\phi}{P_f})(\Delta G_p + \frac{2570}{P_f}) \cdot 10^{-6} = \\ &= \alpha(\Delta G_p - \frac{2570}{P_f}) \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

în care :

$$P_f = 100 \frac{A}{B_f} \quad \text{și} \quad B_f = 0,25 \cdot b_0 \cdot h$$

Rezultatele privind mărimea deschiderii fisurilor calculate teoretic și a celor ^{calculate} experimental, precum și raportul dintre ele, sînt date în tabelul V.9 (metoda propusă), V.10 (STAS 10107/0-76), V.11 (CAER - CP 119-74) și V.12 (CEB-FIP 1970).

Analizînd rezultatele din tabelele V.9 la V.12, rezultă că atît la $\bar{\alpha}_f = 0,1$ mm, cît și la $\bar{\alpha}_f = 0,2$ mm, raportul dintre mărimea deschiderii fisurilor măsurate experimental (α_f^e) și a celor calculate teoretic (α_f^t) este cel mai apropiat de valoarea 1 în cadrul metodei propuse (α_f^e / α_f^t) = 1,058 la $\alpha_f = 0,1$ mm, respectiv 1,073 la $\bar{\alpha}_f = 0,2$ mm.

În figura V.13 este reprezentată variația lui α_f în funcție de μ_p % la un grad de precomprimare constant.

În fig. V.14 este reprezentată variația lui α_f în funcție de gradul de preromprimare, pentru un procent de armare constant.

Tabelul V.9.

Compararea valorilor experimentale ale deschiderii fisurilor, cu valorile teoretice calculate după metoda propusă

In- dic. grin- dă	$\alpha_f = 0,1 \text{ mm.}$					$\alpha_f = 0,2 \text{ mm.}$				
	ψ	$\Delta\bar{\sigma}_p$ [daN/cm ²]	α_f^e [mm]	α_f^t [mm]	$\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$	ψ	$\Delta\bar{\sigma}_p$ [daN/cm ²]	α_f^e [mm]	α_f^t [mm]	$\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$
o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A ₁	0,572	2635	0,100	0,171	0,586	0,602	3404	0,200	0,232	0,862
A ₂	0,567	2635	0,130	0,169	0,769	0,582	3008	0,188	0,198	0,949
A ₃	0,626	1850	0,100	0,078	1,280	0,728	3924	0,200	0,187	1,069
A ₄	0,600	1850	0,108	0,072	1,510	0,662	3306	0,200	0,147	1,360
B ₁	0,460	2303	0,110	0,112	0,988	0,481	2740	0,221	0,139	1,589
B ₂	0,455	2303	0,138	0,111	1,243	0,477	2740	0,203	0,138	1,471
B ₃	0,546	1929	0,100	0,068	1,470	0,601	3453	0,200	0,133	1,503
B ₄	0,506	1908	0,095	0,063	1,510	0,588	3117	0,200	0,118	1,694
C ₃	0,591	1203	0,130	0,073	1,780	0,609	1634	0,200	0,102	1,960
C ₄	0,591	1203	0,133	0,073	1,821	0,609	1634	0,200	0,102	1,962
D ₁	0,617	-	-	-	-	0,624	3476	0,200	0,289	0,672
D ₃	0,664	3163	0,108	0,166	0,650	0,696	4330	0,200	0,238	0,840
D ₄	0,628	2126	0,104	0,105	0,990	0,668	3344	0,200	0,176	1,136
E ₁₁	0,437	1140	0,095	0,056	1,696	0,534	3270	0,200	0,197	1,015
E ₁₂	0,485	2103	0,095	0,115	0,830	0,530	3185	0,200	0,191	1,047
F ₁₁	0,621	2624	0,100	0,184	0,543	0,646	3362	0,200	0,247	0,809
F ₁₂	0,594	1438	0,105	0,097	1,082	0,650	2748	0,200	0,202	0,990
G ₁₁	0,752	2218	0,105	0,188	0,558	0,787	3252	0,215	0,289	0,741
G ₁₂	0,747	2496	0,100	0,211	0,473	0,762	2948	0,200	0,254	0,787
E ₂₁	0,403	1127	0,107	0,062	1,725	0,506	3628	0,185	0,252	0,734
E ₂₂	0,443	2000	0,115	0,122	0,942	0,484	3768	0,195	0,197	0,989
F ₂₁	0,595	3069	0,120	0,183	0,615	0,636	4504	0,180	0,393	0,455
G ₂₁	0,755	1562	0,100	0,162	0,617	0,808	3626	0,175	0,402	0,433
G ₂₂	0,709	1552	0,100	0,151	0,662	0,751	2676	0,185	0,276	0,670

1,058

1,073

Tabelul V.10.

Compararea valorilor experimentale ale deschiderii fisurilor, cu valorile teoretice calculate după STAS nr. 10107/0-75

Indi- cat. grin- dă	$\bar{\alpha}_f = 0,1 \text{ mm.}$				$\bar{\alpha}_f = 0,2 \text{ mm}$				Obs.
	ψ	α_f^t [mm]	α_f^e [mm]	$\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$	ψ	α_f^t [mm]	α_f^t [mm]	$\frac{\alpha_f^e}{\alpha_f^t}$	
A ₁	0,496	0,147	0,100	0,680	0,610	0,235	0,200	0,851	
B ₂	0,496	0,147	0,130	0,887	0,559	0,190	0,188	0,989	
A ₃	0,037	-	0,100	-	0,816	0,210	0,200	0,952	
A ₄	0,037	-	0,108	-	0,566	0,062	0,200	-	
B ₁	0,297	0,074	0,110	1,486	0,409	0,119	0,221	1,857	
B ₂	0,297	0,074	0,138	1,864	0,409	0,119	0,203	1,705	
B ₃	0,532	0,065	0,100	1,538	0,737	0,164	0,200	1,219	
B ₄	0,177	0,012	0,095	7,916	0,740	0,142	0,200	1,408	
C ₃	-	-	0,130	-	0,059	-	0,200	-	
C ₄	-	-	0,133	-	0,059	-	0,200	-	
D ₁	-	-	-	-	0,297	0,142	0,200	1,408	
D ₃	0,581	0,145	0,108	0,744	0,694	0,237	0,200	0,843	
D ₄	0,376	0,063	0,104	1,650	0,604	0,159	0,200	1,257	
E ₁₁	-	-	0,095	-	0,618	0,229	0,200	0,873	
E ₁₂	0,406	0,096	0,095	0,989	0,608	0,217	0,200	0,921	
F ₁₁	0,496	0,147	0,100	0,680	0,609	0,233	0,200	0,858	
F ₁₂	0,080	0,013	0,105	8,076	0,519	0,161	0,200	1,242	
G ₁₁	0,402	0,100	0,105	1,050	0,592	0,218	0,215	0,986	
G ₁₂	0,468	0,132	0,100	0,757	0,550	0,183	0,200	1,092	
E ₂₁	-	-	0,107	-	0,375	0,187	0,185	0,989	
E ₂₂	-	-	0,115	-	0,398	0,206	0,195	0,946	
F ₂₁	0,285	0,120	0,120	1,000	0,513	0,317	0,180	0,567	
G ₂₁	-	-	0,100	-	0,413	0,206	0,175	0,849	
G ₂₂	-	-	0,100	-	0,205	0,075	0,185	2,466	

2,094

1,156

Tabelul V.11.

Compararea valorilor experimentale ale deschiderii
fisurilor, cu valorile teoretice calculate după
normele CAER PC 119-74

In- dic. grin- dă	$\bar{\alpha}_f = 0,1 \text{ mm}$					$\bar{\alpha}_f = 0,2 \text{ mm}$				
	p [%]	σ_a [daN/cm ²]	a_T^e [mm]	a_T^t [mm]	$\frac{a_T^e}{a_T^t}$	p [%]	σ_a [daN/cm ²]	a_T^e [mm]	a_T^t [mm]	$\frac{a_T^e}{a_T^t}$
o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A ₁	0,462	2920	0,100	0,272	0,367	0,462	3723	0,200	0,346	0,578
A ₂	0,462	2920	0,130	0,272	0,477	0,462	3314	0,188	0,308	0,610
A ₃	0,746	1665	0,100	0,115	0,869	0,746	4537	0,200	0,383	0,522
A ₄	0,746	885	0,108	0,075	1,440	0,746	2200	0,200	0,187	1,069
B ₁	0,387	2550	0,110	0,221	0,497	0,387	3036	0,221	0,263	0,840
B ₂	0,387	2550	0,138	0,221	0,624	0,387	3036	0,203	0,263	0,771
B ₃	0,624	2497	0,100	0,214	0,467	0,624	3985	0,200	0,342	0,584
B ₄	0,624	1650	0,095	0,141	0,673	0,624	3592	0,200	0,308	0,649
3	0,373	1370	0,130	0,131	0,992	0,373	1796	0,200	1,172	1,162
3	0,373	1370	0,133	0,131	1,015	0,373	1796	0,200	0,172	1,162
D ₁	0,258	3440	-	0,310	-	0,258	3676	0,200	0,332	1,602
D ₃	0,417	3492	0,108	0,300	0,360	0,417	4725	0,200	0,406	0,492
D ₄	0,417	2119	0,104	0,208	0,500	0,417	3618	0,200	0,311	0,643
E ₁₁	0,462	1607	0,095	0,149	0,637	0,462	3673	0,200	0,342	0,584
E ₁₂	0,462	2503	0,095	0,233	0,407	0,462	3604	0,200	0,335	0,597
F ₁₁	0,462	2937	0,100	0,273	0,366	0,462	3620	0,200	0,337	0,593
F ₁₂	0,462	1742	0,105	0,162	0,648	0,462	3051	0,200	0,284	0,704
G ₁₁	0,462	2397	0,105	0,223	0,470	0,462	3500	0,215	0,326	0,659
G ₁₂	0,462	2680	0,100	0,249	0,401	0,462	3133	0,200	0,291	0,689
E ₂₁	0,258	1452	0,107	0,131	0,816	0,258	3945	0,185	0,356	0,567
E ₂₂	0,258	2309	0,115	0,208	0,552	0,258	4121	0,195	0,372	0,524
F ₂₁	0,258	3203	0,120	0,289	0,415	0,258	4518	0,180	0,408	0,441
G ₂₁	0,258	1753	0,100	0,158	0,632	0,258	3764	0,175	0,340	0,514
G ₂₂	0,258	1697	0,100	0,153	0,653	0,258	2864	0,185	0,258	0,717

0,679

0,677

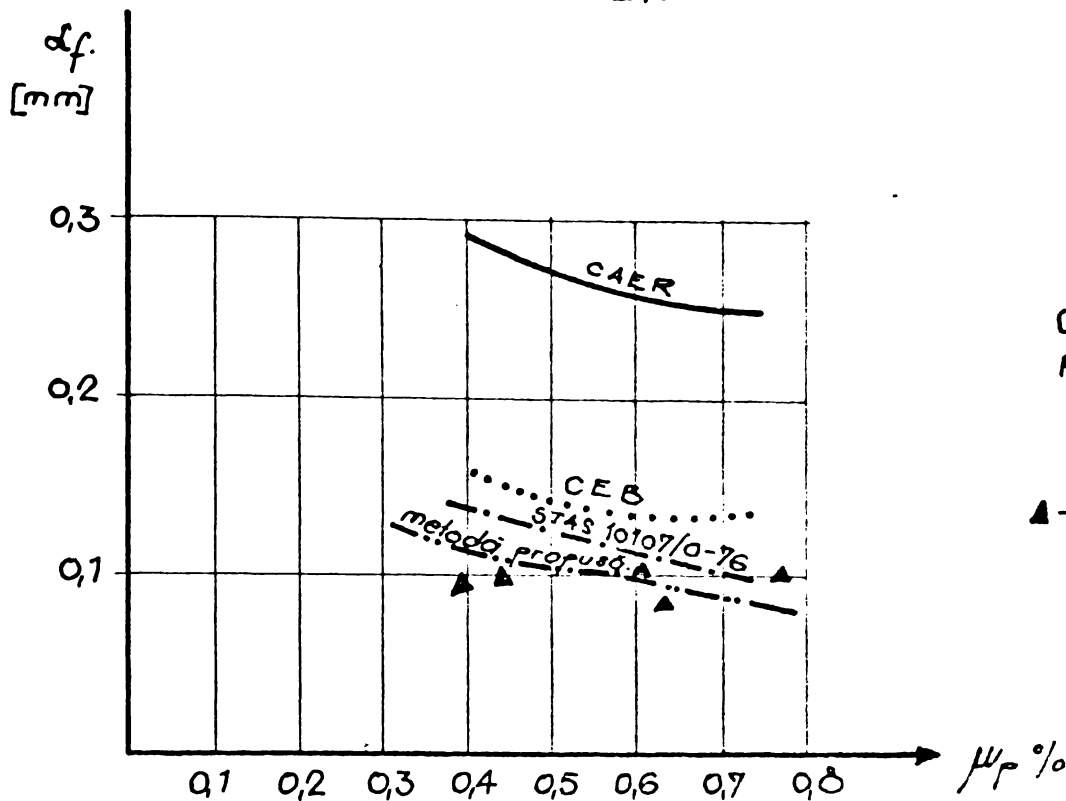
Tabelul V.12.

Compararea valorilor experimentale ale deschiderii fisurilor, cu valorile teoretice calculate după normele CEB-FIP 1970

In- dic. grin- dă	$\bar{\alpha}_f = 0,1 \text{ mm.}$				$\bar{\alpha}_f = 0,2 \text{ mm.}$				Obs.
	P_f	W_{med}^e [mm]	W_{med}^t [mm]	$\frac{W_{med}^e}{W_{med}^t}$	P_f	W_{med}^e [mm]	W_{med}^t [mm]	$\frac{W_{med}^e}{W_{med}^t}$	
o	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A ₁	3,849	0,100	0,144	0,694	3,849	0,200	0,200	1,000	
A ₂	3,849	0,130	0,144	0,902	3,849	0,188	0,174	1,080	
A ₃	3,849	0,100	-	-	3,849	0,200	0,238	0,840	
A ₄	3,849	0,108	-	-	3,849	0,200	0,073	2,739	
B ₁	3,566	0,110	0,109	1,009	3,556	0,221	0,139	1,590	
B ₂	3,566	0,138	0,109	1,266	3,556	0,203	0,139	1,569	
B ₃	3,566	0,100	0,083	1,204	3,556	0,200	0,233	0,858	
B ₄	3,566	0,095	0,026	3,653	3,556	0,200	0,165	1,212	
C ₃	1,756	0,130	-	-	1,756	0,200	0,018	-	
C ₄	1,756	0,133	-	-	1,756	0,200	0,018	-	
D ₁	2,15	-	0,077	-	2,15	0,200	0,191	1,047	
D ₃	2,15	0,108	0,165	0,654	2,15	0,200	0,263	0,760	
D ₄	2,15	0,104	0,078	1,333	2,15	0,200	0,180	1,111	
E ₁₁	3,849	0,095	0,035	2,714	3,849	0,200	0,190	1,052	
E ₁₂	3,849	0,095	0,105	0,904	3,849	0,200	0,184	1,086	
F ₁₁	3,849	0,100	0,143	0,699	3,849	0,200	0,192	1,010	
F ₁₂	3,849	0,105	0,056	1,875	3,849	0,200	0,152	1,315	
G ₁₁	3,849	0,105	1,113	0,929	3,849	0,215	0,189	1,137	
G ₁₂	3,849	0,100	0,134	0,746	3,849	0,200	0,167	1,197	
E ₂₁	2,15	0,107	-	-	2,15	0,185	0,204	0,906	
E ₂₂	2,15	0,115	-	-	2,15	0,195	0,215	0,906	
F ₂₁	2,15	0,120	0,157	0,764	2,15	0,180	0,277	0,649	
G ₂₁	2,15	0,100	0,031	3,225	2,15	0,175	0,204	0,854	
G ₂₂	2,15	0,100	0,031	3,225	2,15	0,185	0,124	1,491	

1,517

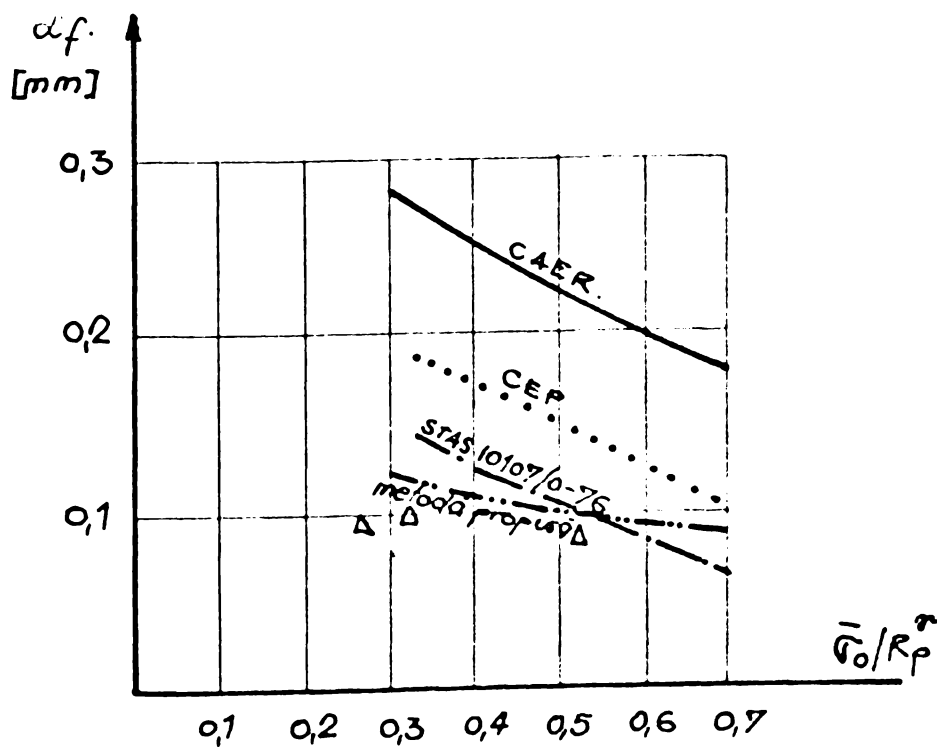
1,155



$\frac{\sigma_0}{R_{p^n}} = \text{CONSTANT.}$

▲ - VALORI EXPERIMENTALE.

FIGURA \bar{V} . 13.



$\mu_p - \text{CONSTANT.}$

FIGURA \bar{V} . 14.

Cap.6. SINTEZA SI CONCLUZII

Studiul aderenței dintre beton și armătura de tipul torcanelor la elementele din beton precomprimat prezintă o importanță deosebită, deoarece producția elementelor din beton precomprimat este într-o continuă creștere, iar studiile teoretice și experimentale privind fenomenul de aderență și modul de comportare a acestor elemente, în special în stadiul final, sînt relativ puține.

Una din cele mai importante probleme ce se pune la elementele din beton precomprimat este asigurarea conlucrării dintre armătură și beton, astfel încît să fie înlăturat pericolul alunecării armăturilor în beton. De asemenea, conlucrarea armăturii pretensionate cu betonul are o importanță deosebită asupra procesului de fisurare și a mărimii deschiderii fisurilor.

În conformitate cu clasificarea făcută de STAS 10107/C-76, elementele din beton precomprimat din clasa II de fisurabilitate și elementele din clasa III, elemente din beton armat precomprimat, se verifică la starea limită de deschidere a fisurilor.

Procesul apariției, formării și deschiderii fisurilor la elementele din beton armat precomprimat, diferă de cel al elementelor din beton armat, depinzînd atît de condițiile specifice de aderență a diferitelor tipuri de armături, de tipul de armătură, de repartizarea armăturii în secțiunea transversală a elementului, cît și de starea de tensiune permanentă creată prin pretensionare (gradul de precomprimare).

Aderența dintre beton și armătură este asigurată prin încliere, înclăștare, frecare, iar la elementele precomprimare - și prin efectul de pană.

Referitor la mecanismul aderenței dintre armătură și beton, se pot trage următoarele concluzii :

- înclierea pastei de ciment pe armătură acționează simultan cu înclăștarea, iar efectul său dispăre în momentul începerii alunecării barei în beton;
- frecarea armăturii în beton se manifestă atît înainte, cît și după alunecarea barei în beton, cînd mai poate asigura aderența în proporție de 50-70 %;
- alunecarea armăturilor în beton este însoțită de microfisuri transversale pe armătură.

Variantele actuale ale teoriei conlucrării remarcă consensul unanim în studierea gradului de conlucrare prin intermediul efortului unitar convențional $\hat{\tau}_a$ care acționează la nivelul contactului dintre armătură și beton.

O serie de cercetători au adus contribuții prețioase la definirea teoretică și experimentală a conlucrării, ținând seama de starea completă de eforturi și deformații care caracterizează în totalitate conlucrarea : deplasările secțiunilor, alunecările armăturii în beton și dezvoltarea deformațiilor plastice ale betonului, dezvoltarea fisurilor interioare deschise maxim la nivelul armăturii etc.

Cu toate acestea, este încă imposibil de precizat variația eforturilor în lungul armăturii, chiar pentru elementele întinse, și cu atât mai mult pentru cele încovoiate.

Legea aderenței este expresia analitică a legăturii dintre efortul de aderență " τ " și deplasarea " Δ " a barei de beton, având următoarele expresii :

$$\tau_{ad} = f(\Delta)$$

și

$$\hat{\tau}_{ad} = f(\Delta, x)$$

Aceste relații au la bază ipoteza secțiunilor plane.

Cercetări mai recente renunță la ipoteza secțiunilor plane și iau în considerare deplasarea secțiunilor în procesul de conlucrare. Aceste legi au forma :

$$K \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = \epsilon_a - \epsilon_b - \epsilon_l$$

unde ϵ_l este alunecarea barei în beton.

Stadiile de lucru ale betonului precomprimat sînt aceleași ca și ale betonului armat. Elementele din beton precomprimat, datorită acțiunii forței de precomprimare, au însă rezistență mai mare la fisurare, raportul dintre momentul de fisurare și cel de rupere este cuprins între 0,6 - 0,9.

Analizînd influența unor factori asupra procesului de fisurare a elementelor din beton armat precomprimat, putem trage următoarele concluzii :

Procentul de armare longitudinal este unul dintre principalii parametri, alături de diametrul armăturii și natura suprafeței armăturii, care influențează starea limită de deschidere a fisurilor. Procentul de armare influențează distanța dintre fisuri prin raportul A_b/u . Cu cît procentul de armare este mai mare,

u este mai mare, A_p/u este mai mic și distanța dintre fisuri este mai mică.

Deci prin mărirea procentului de armare longitudinal al secțiunii, prin utilizarea armăturii obișnuite (pasive), rezultă o scădere a lățimii deschiderii fisurilor (figurile II.8 și II.9).

Cu cât diametrul armăturii este mai mic, la același procent de armare μ %, rezultă un perimetru mai mare u și deci un raport A_p/u mai mic.

De asemenea, prin coeficientul β_f (cu care s-a notat raportul R_t/τ_a) se influențează distanța dintre fisuri și anume, aceasta se face simțită prin influența lui u și d .

Rezultatele încercărilor experimentale efectuate asupra grinzilor armate cu toroane avînd grade diferite de precomprimare, arată că la apariția fisurilor apar alunecări suplimentare între armătură și beton, astfel încît mărirea deschiderii fisurilor imediat după apariție atinge valori de 0,08 - 0,13 mm, în funcție de gradul de precomprimare a elementului.

Aceste deschideri ale fisurilor, pronunțate la apariție, se datoresc unor alunecări ale toronului la deschiderea fisurilor.

Încercările experimentale realizate pe elemente din beton precomprimat cu diferite grade de precomprimare scot în evidență influența gradului de precomprimare asupra distanței și deschiderii fisurilor (figura II.10).

În urma studiilor experimentale efectuate asupra unor grinzi armate cu toroane avînd grade diferite de precomprimare ($\bar{\sigma}_o/R_p^n = 0,3; 0,5$ și $0,7$), s-a constatat că valoarea momentului de fisurare crește proporțional cu gradul de precomprimare a elementului (fig. II.14).

În cercetările efectuate s-a putut constata că atît treapta de fisurare, cît și cea de refisurare sînt puternic influențate de gradul de precomprimare.

Avînd în vedere faptul că elementele din beton armat precomprimat armate cu toroane nu pot funcționa - în stadiul de exploatare - fisurate, datorită unor posibilități accentuate de coroziune a armăturii, se limitează deschiderea fisurilor normale la 0,1 mm, sub solicitările produse de încărcările de exploatare, pentru elementele din clasa a II-a de verificare la fisurare, iar pentru elementele din clasa a III-a de verificare la fisurare - următoarele valori :

- 0,15 mm în medii cu agresivitate slabă;
- 0,10 mm în medii cu agresivitate medie.

Pentru aceste elemente s-a determinat treapta de încărcare în funcție de procentul de armare longitudinal, la care lățimea medie pe grindă a fisurilor a fost de 0,1 mm.

Aceste trepte de încărcare sînt date în tabelul VI.1.

Tabelul VI.1.

Procentul de armare longitudinal %	$\frac{P_r}{P}$	$\frac{\bar{\sigma}_o}{R_p^n}$
0,877	1,8	0,7
	2,3	0,5
	3,0	0,3
0,490	2,1	0,7
	2,5	0,5
	3,5	0,3

Mărimea deschiderii fisurilor se calculează cu relația cunoscută, dată de normativele românești în vigoare /119/ :

$$\alpha_f = \psi \frac{\Delta \bar{\sigma}_p}{E_p} \cdot \lambda_f \quad (\text{III.1})$$

În conformitate cu aceste normative, pentru elementele din beton armat precomprimat, valoarea coeficientului de conlucrare dintre armătură și beton ψ , se calculează pe baza aceluiași principii ca și la elementele din beton armat, sau valoarea lui ψ se consideră egală cu unitatea.

Studiile experimentale efectuate de mai multe laboratoare, au arătat că la elementele din beton armat precomprimat, valoarea lui ψ depinde în mare măsură de condițiile de aderență și de gradul de precomprimare a elementului și anume, că variază între 0,4-0,8, tinzînd către 1, fiind în funcție de acești parametri.

Aderența dintre armătura pretensionată, armătura nepretensionată și beton influențează procesul de fisurare și mărimea deschiderii fisurilor.

Un rol destul de important asupra valorii coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură îl are aportul betonului

întins dintre fisuri și cel dintre axa neutră și zona fisurată.

Acest fenomen se manifestă în mod diferit în funcție de stadiul de lucru al elementului. După cum se poate remarca, betonul întins deasupra fisurilor joacă un rol esențial imediat după fisurare, iar într-un stadiu avansat rolul lui devine mai puțin important, în timp ce betonul întins dintre fisuri continuă să lucreze pînă în apropiere de ruperea elementului.

Folosind ca bază de calcul diagrama din figura II.15, se poate determina valoarea lui $\Delta\bar{\sigma}_p$, variația efortului unitar din armătura pretensionată și influența acestui efort asupra valorii lui ψ .

Pentru calculul valorii lui $\Delta\bar{\sigma}_p$ care intră în formula mărimii deschiderii fisurilor, se recomandă să se țină seama de participarea betonului întins de sub axa neutră din dreptul fisurii, și are valoarea :

$$\Delta\bar{\sigma}_{p\alpha} = \frac{M - N_o(Z_p - Z_o) - N'_b \cdot Z_b}{A_p \cdot Z_p} \quad (\text{III.14})$$

Relația pentru determinarea coeficientului dintre beton și armătură, ψ este o ecuație liniară și se scrie sub forma :

$$\psi = a - b \frac{M_E}{M} \quad (\text{III.13})$$

în care parametrii a și b ai dreptei au fost determinați pe baza prelucrării statistice a datelor experimentale.

Pentru verificarea presupunerilor teoretice s-au proiectat, confecționat și încercat un număr de 36 elemente armate numai cu toroane, pentru a putea constata efectul aderenței asupra fisurării și pentru a determina valoarea coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură, ψ .

Caracteristicile secțiunilor transversale ale clementelor experimentale sînt arătate în figurile IV.2. - IV.5, iar modul de încercare este redat în fotografia din figura IV.10.

Pentru stabilirea parametrilor necesari calculului distanței dintre fisuri și a mărimii deschiderii lor, s-a efectuat un studiu statistic pe elementele experimentale încercate.

Verificarea normalității distribuției valorilor distanței dintre fisuri, λ_f și a valorilor deschiderii fisurilor s-a făcut aplicîndu-se atît metoda diagramelor, cît și metoda abaterilor normate.

În figura V.4 este prezentată diagrama comparativă a distribuției distanțelor dintre fisuri, iar în figura V.9 este prezentată diagrama comparativă a distribuției deschiderii fisurilor. Din aceste figuri de observă că linia frântă și linia dreaptă sînt apropiate, așa încît se poate trage concluzia că atît distanțele dintre fisuri, cît și mărimea deschiderii fisurilor se distribuie normal.

Dintre factorii care influențează distanța dintre fisuri s-a verificat influența lui d/μ , printr-un calcul de corelație, aplicîndu-se o formulă simplificată, propusă la Simpozionul RILEM de la Stockholm, și anume :

$$\lambda_f = a_0 + a_1 \frac{d}{\mu} \quad (V.5)$$

Ecuația liniei de regresie empirică care estimează linia teoretică este reprezentată în figura V.6 și are următoarea formă :

$$\lambda_f = 11,1 + 4,72 \frac{d}{\mu} \quad (V.13)$$

Pentru calculul distanței dintre fisuri s-a folosit relația cunoscută, dată de normativele în vigoare /119/ :

$$\lambda_f = \beta_f \frac{A_{bt}}{\mu} \quad (V.16)$$

Însă atît pentru coeficientul β_f , cît și pentru A_{bt} (aria zonei întinse de beton în stadiul Ia de apariție a fisurilor), s-au determinat expresii noi.

Astfel, pentru A_{bt} s-a folosit ca bază de calcul diagrama din figura V.7, stabilindu-se următoarea expresie :

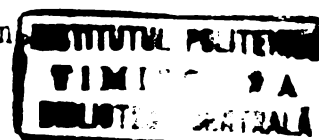
$$A_{bt} = b_{pi} \cdot h_{pi} + b(h - x_1) \quad (V.19)$$

Mărimea β_f este o mărime variabilă, care depinde de procentul de armare, de raportul $R_t/\bar{\tau}_m$, care este în funcție de diametrul armăturii pretensionate, de grosimea stratului de acoperire, de felul armăturii și, într-o anumită măsură, și de calitatea betonului. Valoarea lui β_f a fost determinată experimental, și printru armătura din toroane are expresia :

$$\beta_f = 0,4 + 30 \frac{\mu}{d} \quad (V.31)$$

unde : μ_p - este coeficientul de armare longitudinal;

d - diametrul echivalent al toronului, în cm



Din această relație se poate observa că toroanele au o aderență mult mai bună decât armăturile netede ($\beta_f = 0,5 + 30\mu/d$), și ceva mai slabă decât armătura cu profil periodic ($\beta_f = 0,35 + 30\mu/d$).

Între deschiderea fisurilor și caracteristicile probelor s-au stabilit diferite corelații.

Astfel, între mărimea deschiderii fisurilor α_f , distanța între fisuri, λ_f și rezistența la întindere a betonului, s-a stabilit următoarea ecuație de regresie :

$$\alpha_f = 0,154 + 0,0038 \lambda_f - 0,0015 R_t \quad (V.46)$$

Ecuația de regresie multiplă între mărimea deschiderii fisurilor α_f , distanța dintre fisuri, efortul unitar în armătură $\bar{\sigma}_o$, și rezistența la întindere a betonului, în urma prelucrării datelor experimentale, are următoarea formă :

$$\lambda_f = 0,0634 + 0,0032 \lambda_f + 0,00000059 \bar{\sigma}_o + 0,0049 R_t \quad (V.47)$$

Pentru coeficientul de conlucrare dintre armătură și beton ψ , la elementele din beton armat precomprimat cu armătura preîntinsă, pe baza prelucrării datelor experimentale, s-a stabilit următoarea relație :

$$\psi = 1,0 - 0,9 \frac{\bar{\sigma}_o}{R_p^n} \cdot \frac{M_f}{M} \quad (V.50)$$

relație care ține seama atât de gradul de precomprimare ($\bar{\sigma}_o/R_p^n$), precum și de treapta de încărcare (M_f/M).

Se poate constata că, pe baza diagramelor din figurile V.11 și V.12, valorile lui ψ variază între 0,4 - 0,8, tinzând către 1.

Rezultatele încercărilor experimentale arată că apar diferențe mari între mărimea deschiderii fisurilor efective măsurate din încercările experimentale și cele calculate teoretic.

În lucrare sînt comparate valorile teoretice ale măririi deschiderii fisurilor, calculate după metoda propusă, după STAS 10107/0-76, după normele CAER-PC 119/74 și normele CEB-FIP 1970.

Atît pentru distanța dintre fisuri λ_f , cît și pentru calculul măririi deschiderii fisurilor, α_f , în metoda propusă se folosesc aceleași relații ca și cele din STAS 10107/0-76 și anume:

și

însă în metoda propusă β_f are valoarea stabilită în relația (V.31) A_{bt} în relația (V.19), $\Delta\bar{\sigma}_p$ în relația (II.14), iar ψ în relația (V.50).

Aceste relații iau în considerare lucrul betonului întins dintre fisuri și cel de sub axa neutră din dreptul fisurii. De asemenea, se ține cont și de influența gradului de precomprimare.

Valorile experimentale ale deschiderii fisurilor au fost comparate cu valorile teoretice calculate atât prin metoda propusă, cât și cu normele amintite mai sus.

Din tabelele V.9 - V.12, se observă că valorile teoretice calculate prin metoda propusă sînt cele mai apropiate de valorile experimentale.

Pe baza studiilor teoretice, a analizei rezultatelor experimentale publicate în literatura tehnică de specialitate, precum și a rezultatelor experimentale proprii, s-au adus elemente noi în privința comportării și a calculului la fisurare al elementelor din beton armat precomprimat și anume :

- Referitor la influența procentului de armare și a distribuției armăturii în zona întinsă a elementului asupra procesului de fisurare și asupra distanței dintre fisuri, respectiv a mărimii deschiderii fisurilor.

- S-au făcut precizări asupra condițiilor de conlucrare dintre beton și armătura de tip toroane, comparînd comportarea acestora în raport cu armătura rotundă cu suprafața netedă și armătura cu profil periodic.

- S-a stabilit influența gradului de precomprimare asupra procesului de fisurare, asupra momentului de apariție a fisurilor și asupra parametrilor distanței dintre fisuri și mărimea deschiderii fisurilor.

- Relațiile de calcul, stabilite atât pentru distanța dintre fisuri, λ_f , cât și pentru mărimea deschiderii fisurilor α_f , în scema de parametrii enumerați mai sus. Astfel, s-a stabilit o relație nouă de calcul atât pentru coeficientul β_f , cât și pentru aria zonei întinse de beton în stadiul de apariție a fisurilor A_{bt} , în cazul armării cu toroane. În felul acesta, distanța dintre fisuri, calculată cu relația propusă, dă rezultate apropiate de rezultatele experimentale.

De asemenea, valoarea lui λ_f influențează, prin acești parametri, și mărimea deschiderii fisurilor α_f .

- S-au stabilit, apoi, noi relații de calcul atât pentru efortul unitar în armătura pretensionată în stadiul II, cât și pentru coeficientul de conlucrare dintre beton și armătură, ψ , relații ce țin cont atât de influența zonei întinse de beton, de gradul de precomprimare, cât și de influența treptei de încărcare.

Relațiile stabilite în lucrare sînt accesibile pentru proiectare și conduc la rezultate destul de exacte față de cele experimentale.

B I B L I O G R A F I E

- /1/ ABELES? P.W. and CZUPRYNSKIL : "Partial prestressing - In history, research, application and future development. A.T.P.B. No 2/1966.
- /2/ AHVERDOV, I.N. : "Vliianie usadki v usloviakh tverdenia i žiklicieskih temperaturnih vozdeistvii na štepleniie betona s armaturoi", Beton i jelezobeton nr.12/1968.
- /3/ ARNAUD, M. : "Rezistance au glissement d'aciers enrobés dans un béton au cours de la prise et du début du durcissement", Cahiers de l'A.F.B. No 42/1974.
- /4/ AVRAM, C. : "Clase de verificare la fisurare pentru elementele de beton, beton armat și beton precomprimat", Comunicare la a V-a Conferință de Betoane, Timișoara 1972.
- /5/ AVRAM, C. : "Referitor la a doua ediție (1970) a recomandărilor internaționale pentru calculul și executarea construcțiilor din beton", Revista Construcției nr.8/1971.
- /6/ AVRAM, C., FILIMON, I. : "Curs de beton armat", vol.2, Timișoara, 1976.
- /7/ AVRAM, C., FILIMON, I., CAPATU, Gh. : "Aspects concernant la fissuration des éléments en béton précontraint", Sixième Congrès de la FIP, Praha, 6-13 Jun. 1970.
- /8/ AVRAM, C. ș.a. : "Rezistențele și deformațiile betonului", Editura Tehnică, București, 1971.
- /9/ BAICOV, V.N. : "Șteplenie armaturî s betonom v konstrukciiah" Beton i jelezobeton no 12/1968.
- /10/ BALAN, St., ARCAN, Mi. : "Incercarea construcțiilor", Editura Tehnică, București, 1965.
- /11/ BASE, G.D. : "Cercetarea lungimii de transfer în betonul precomprimat", al III-lea Congres FIP, Berlin, 1958, vol.III, Fasc. 9.(traducere din limba franceză).
- /12/ BAUS, R. : "Proposition de détermination des longueurs pratiques d'ancoraje à partir des contraintes de rupture d'adhérence données par le beam test", Bulletin d'information CEB, no.48, Avril 1965.

- /13/ BAUS, R., CLAUDE, M. : "Essai de synthèse bibliographique des connaissances sur la mecanisme de l'adhérence et des ancorages", CEB - Buletin d'information no 66-1968.
- /14/ BAUS, R., DEPAU, W. : "Enquête sur le précontrainte partielle Annales des Travaux Publics de Belgique, no. 2-1966.
- /15/ BEURAN, M. : "Aderența și fisurarea betonului ușor cu granulit", Teză de doctorat, Cluj, 1974.
- /16/ BICHARA, A. : "Etude du problème de l'adhérence dans la béton armé, C.C.S.T.B. Cahiers no 117 și 118, Paris, 1951.
- /17/ BRICE, P.L. : "Relation entre l'ouverture des fissures, la contrainte et les diverses caracteristiques d'une piéce et béton armé", RILEM Symposium, Stockholm 1957, vol.I.
- /18/ BRICE, L.P. : "Idées générales sur la fisuration du béton précontraint", Annales ITBTP, no.198 - 1964.
- /19/ BRICE, L.P. : "Mode de fixation au béton ou entre elles des armatures pour béton armé et des fils et barres de precontrainte", Symposium RILEM, Liége, 1969.
- /20/ CALBUREANU, A. ș.a. : "Studiul lungimilor de ancorare a armăturilor preîntinse pe betonul precomprimat", Studii și cercetări INCERC seria beton Armat, beton precomprimat, nr.10, București, 1967.
- /21/ CALBUREANU, A. ș.a. : "Cercetări experimentale asupra lungimii de ancorare la smulgere a armăturilor preîntinse din toroane TBP 12 și importanța acestui parametru asupra condițiilor de proiectare a elementelor din beton precomprimat cu extradados curb", Studii și cercetări INCERC, nr.4/1970.
- /22/ CALBUREANU, A. ș.a. : "Influența cantității și distribuției armăturii pretensionate asupra comportării unor grinzi I din beton precomprimat de 18 m deschidere", Studii și cercetări INCERC, nr.4/1970.
- /23/ CALBUREANU, A. ș.a. : "The influence of cracks and anchorage length of strands", Congres FIP, VII, New-York, 1974.
- /24/ CAPATU, Gh. : "Cercetări privind fisurarea tiranților de

beton precomprimat cu bare din oțel PC 90", Teză de doctorat, Timișoara, 1970.

- /25/ CARARE, T. : "Oțeluri pentru beton armat și precomprimat", Editura Tehnică, București, 1969.
- /26/ DEUTSCH, I. : "Unele aspecte ale conlucrării betonului cu armătura la elementele din beton armat", Buletin științific I.P.T., Vol.2, 1970.
- /27/ DIMITRIEV, S., BIRULIN, I.F. : "Deschiderea fisurilor la elemente pretensionate la încărcări repetate", Beton i jelezobeton, no.5/1970. (traducere din limba rusă).
- /28/ FERGUSON, P.M. : "Recherches sur l'adhérence réalisées aux U.S.A.", Buletin d'Information CEB, no.48, Avril, 1965.
- /29/ FILIMON, I. : "Curs de beton armat", Timișoara, 1971.
- /30/ FILIMON, I. : "Quelques aspects concernant le calcul à la fissuration des éléments flechis en béton précontraint", (Doctoratsthesis). Rijksuniversiteit te Gent, 1964.
- /31/ FILIMON, I., DEUTSCH, I. : "Teoria apariției fisurilor înclinate la elementele din beton precomprimat cu armătură aderentă solicitate la încovoiere cu forță tăietoare", Buletinul Științific și Tehnic al I.P.T., Seria Construcției, Fasc. 2/1971.
- /32/ FILIMON, I., DEUTSCH, I. : "Studiul teoretic și experimental privind fisurarea elementelor din beton armat precomprimat solicitate la încovoiere cu forță tăietoare", Conferința a V-a de Betoane, Vol.II, Timișoara, 1972.
- /33/ FILIMON, I., DEUTSCH, I., CLIPPII, T. : "Analiza calculului la starea de apariție a fisurilor la elementele din beton precomprimat după diferite norme", Buletinul Științific și Tehnic I.P.T., Seria Construcției, Tom 21(35), fasc. 1/1976.
- /34/ FILIMON, I., DEUTSCH, I., TOMA Al. : "Studiul teoretic și experimental privind apariția și dezvoltarea fisurilor la elementele încovoiate din beton precomprimat solicitate la încărcări statice și dinamice", Buletin Științific și Tehnic I.P.T., Seria Construcției, Tom 19(33), fasc. 1/1974.

- /35/ FILIMON, I., DEUTSCH, I., TOMA, Al. : "Asupra formării și dezvoltării fisurilor la elementele din beton precomprimat solicitate la sarcini statice și dinamice", comunicare la a VI-a Conferință de Betoane, Constanța, 1973.
- /36/ FILIMON, I., DEUTSCH, I., PAIUȘ, S. : "Calculul mărimii deschiderii fisurilor la elementele din beton precomprimat de categoria 2-a și a 3-a de fisurabilitate cu considerarea lucrului zonei întinse a betonului de deasupra fisurilor", Buletin Științific și Tehnic I.P.T., Seria Construcții, Tom 21(35), fasc. 1/1976.
- /37/ FILIMON, I., DEUTSCH, I., PAIUS, S., CLIPII, T. : "Influența tipului și distribuției armăturii pretensionate asupra rezistenței la fisurare a elementelor din beton precomprimat - Cercetări experimentale - Faza III, Etapa 2, Temă din planul CAER, cercetarea 5.5.2.5.
- /38/ FILIMON, I., DEUTSCH, I., PAIUS, S., CLIPII, T. : "Influența tipului și distribuției armăturii pretensionate asupra rezistenței la fisurare a elementelor din beton precomprimat", Concluzii finale și recomandări de proiectare, Faza IV, Temă din planul CAER, cercetarea 5.5.2.5.
- /39/ GUYON, Y. : "Constructions en béton précontrait. Classes-états limites", Edition Eyrolles 1963, Chapitre XVIII, Poutres précontraintes par armatures prétendues.
- /40/ GUYON, I. : "Béton précontraint. Étude théorique et expérimentale", Edition Eyrolles 1963, Chapitre VII, Ancrage par adhérence dans les poutres précontraintes par fils tendus d'avance.
- /41/ GVOZDEV, A.A. : "Sostoianie i zadaci issledovaniia sšteneniia armaturî s betonom", Beton i jelezobeton no.12/1968.
- /42/ GVOZDEV A.A., DIMITRIEV, V. : "Cu privire la calculul la fisurare a secțiunilor de beton, beton armat și beton precomprimat", Beton i jelezobeton no. 5/1957 (traducere din limba rusă).

- /43/ HANGAN, M. : "Le retrait du beton et son influence sur l'adhérence", Imprimeria Națională, București, 1938.
- /44/ HELFGOT, A.M. : "Determination expérimentale du coefficient de fissuration en béton armé", Buletin d=information CEB no. 61/1967.
- /45/ HOLMIANSKII, M. M. : "Tehnicieskaia teoriia s̄teplenii armaturî s betonom i ejo primenenie", Beton i jelezobeton no. 12/1968.
- /46/ HOLMIANSKII, M.M. : "Zadelka armaturî v betone", Beton i jelezobeton, no.11/1965.
- /47/ HOLMIANSKII, M.M. : "Cercetări asupra aderenței betoanelor", beton i jelezobeton, no.7/1965 (trad.din limba rusă).
- /48/ HOLGNESTAD, E. : "Quelques aspects de la recherche sur le béton précontraint", I^{er} Congrès de la "ederation Internationale de la Précontrainte, Paris 1966.
- /49/ KOLNER, V.M. : "S̄teplenie armaturî s betonom pri dinamičeskih i ŗiklicieskih nagruzkah", Beton i jelezobeton no.12/1968.
- /50/ KOLNER, V.M. : "S̄teplenie s betonom i procinosti zadelki sterjnevoi armaturî periodiceskogo profilii", Beton i jelezobeton, nr.11/1965.
- /51/ KRISHNAMURTHY, D. : " A theory for the transmission length of prestressing tendons", The Indian Concrete Journal, February, 1972.
- /52/ KRISHNAMURTHY, D., MARSHALL, W.T. : "Transmission length of prestressing tendons from concrete cube strengths at transfer", The Indian Concrete Journal, July, 1967.
- /53/ LOBEL, L. : "Recherche experimentale sur le comportement et la capacité portante à l'effort tranchant des poutres flechies en béton précontraint", VI-ème Congrès International.
- /54/ LOUIS, R., BAUS, R. : "Adhérence au béton des armature en acier mi-dur", Annales des Travaux Publics de Belgique, no 1-1962.
- /55/ MCIEDLISVILI, A.V. : "S̄teplenie semiprovolocinîh priadei s betonom pri lentocinom raspoloženii", Beton i jelezobeton no 5/1970.

- /56/ MEHREL, A. : "Ancrages et assemblages d'armature précontrainte et souples", Symposium RILEM, Liège, 1968.
- /57/ MIANOWSKI, K. : "Annulation d'adhérence comme base des fissures", Bulletin d'Information CEB, no 89.
- /58/ MIHAI, I. : "Curs de beton și beton armat", București, 1974.
- /59/ MIHAIESCU, A. : "Contribuții la calculul distanței și deschiderii fisurilor la elementele de beton armat solicitate la compresiune excentrică", Autoreferat disertație, Timișoara, 1966.
- /60/ MIHAILA, N. : "Introducere în teoria probabilităților și statistica matematică", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1965.
- /61/ MOROZENSKII, V.L. : "Ankerovka semiprovolocinîh armatur-nîh priadei v konstruktivnom keramzitobeton", Beton i jelezobeton, no 6/1969.
- /62/ MULIN, M.M. : "Eksperimentalnîe dannîe o ŝteplenii armaturî s betonom", Beton i jelezobeton, no 12/1968.
- /63/ MUNTEANU, Gr. : "Metode de determinare a lungimii de transmitere l_t și de ancorare prin aderență în betonul pre-comprimat", Revista Construcțiilor, nr.12/1970.
- /64/ MUNTEANU, Gr. : "Aspecte teoretice și experimentale privind lungimea de transmitere prin aderență a eforturilor din armăturile preîntinse betonului", Revista Construcțiilor, nr.9/1973.
- /65/ MUNTEANU, Gr. : "Contribuții privind determinarea lungimii de transmitere prin aderență a eforturilor din teroanele preîntinse betonului cu granolit", Teză de doctorat - Cluj - 1974.
- /66/ MURASEV, V.I. : "Teoria apariției și a deschiderii fisurilor și a calculului rigidității elementelor de beton armat", Revista Industriei Construcțiilor, nr.11/1954.
- /67/ NEGOESCU, E. : "Contribuții la îmbunătățirea prescripțiilor de calcul privind fisurarea elementelor de beton armat", Comunicare la a V-a Conferință de Betone, Timișoara, 1972.

- /68/ NEGOESCU, E. : "Studiul comlucrării betonului cu armătura la elementele încovoiate și întinse centric", Teză de doctorat, Timișoara, 1971.
- /69/ NEMIROVSCHI, I.M. : "Issledovanie napriajonno-deformirovanogo sostoiania jelezobetonnih elementov s uciptom rabotî rastisnutogo betona nad trescinami i p̄resmotrî na etoi osnove, teorii rasciota deformații i raskrîtia trescin", Stroizdat, Moskva, 1968.
- /70/ NEMIROVSCHI, I.M., NIKITIN, N.V. : "O coeffițiente dlia rasciota jestkosti jelezobetonnih elementov", Beton i jelezobeton no 6/1969.
- /71/ NICOLAU, V. : "Funcția de conlucrare a armăturii cu betonul" Teză de doctorat, București, 1968.
- /72/ NICOLAU, V. : "Aderența betonului cu armătura", Introducere în teoria betonului, Vol.2 - 1957.
- /73/ NICOLAU, V. : "Betonul armat", Editura Tehnică, București, 1962.
- /74/ NICOLAU, V. : "Betonul precomprimat", Editura Tehnică, București, 1964.
- /75/ NICOLAU, V., IONESCU, C. : "Incredări și rezultate noi și din străinătate în problema aderenței dintre beton și armătură", Referat la sesiunea științifică a cadrelor didactice din I.P.B. și I.C.B. - 1956.
- /76/ NIEUWENBURG, D. : "Essais sur béton léger a base de granulats d'argile expansée", Cahier de l'A.F.B. no 45, Mars, 1974.
- /77/ OATUL, A.A. : "K voprosu o prirode s̄eplenii armaturî s betonom", Stroitelstvo i arhitectura, no 10/1966.
- /78/ OATUL, A.A. : "Osnovî teorii s̄eplenii armaturî s betonom", Sbornik naucinîh trudov - Issledovania po betonu i jelezobetonu, 1967.
- /79/ OATUL, A.A. : "Predlojenia k postrocniiu teorii s̄eplenii armaturî s betonom", Beton i jelezobeton, no 12/1968.
- /80/ PAIUS, S. : "Calculul la fisurare a elementelor de beton precomprimat parțial", Referat pentru examenul de doctorat, 1973.

- /81/ PAIUS, S. : "Studiul aderenței betonului cu armătura de tipul toroanelor", Sesiunea de comunicări științifico-metodice a cadrelor didactice din rețeaua I.C.Ind. București, 1976.
- /82/ PAIUS, S. : "Determinarea coeficientului de conlucrare dintre beton și armătură la elementele de beton armat precomprimat", Sesiunea de comunicări științifico-metodice a cadrelor didactice din rețeaua I.C.Ind., București, 1976.
- /83/ PAIUS, S., FILIMON, I. : "Unele aspecte ale fisurării elementelor din beton armat precomprimat", Simpozionul de Beton precomprimat, Cluj-Napoca, 1977.
- /84/ PAIUS, S., FILIMON, I., DEUTSCH, I. : "Influența aderenței asupra procesului de fisurare la elementelor de beton armat precomprimat cu armătură preîntinsă din toroane", Buletinul Simpozionului de beton precomprimat, București, 1977.
- /85/ PINGLOT, M., PONS, G. : "Contribution à l'etude du béton partiellement précontraint", 7^e Congrès de la fédération internationale de la précontrainte, New-York, 1974.
- /86/ POPAESCU, A., LOBEL, L. : "Pierderi de tensiune datorită relaxării la armături pretensionate din toroane 7Ø3 și 7Ø4", A V-a Conferință de Betoane, Timișoara, 1972.
- /87/ RANCU, N., TOVISSI, L. : "Statistica matematică cu aplicații în producție", Editura Academiei R.P.R., 1963.
- /88/ RATZ, E. : "Poparno sgruppirovannaia sterjnevaia armatura", Beton i jelezobeton, no.1/1972.
- /89/ RATZ, E. : "Transferul efortului de pretensionare la beton prin aderență", Al III-lea Congres FIP, Berlin, 1953.
- /90/ RATZ, E., HOLMIANSKII, M.M. : "Transmiterea efortului din armătură în beton", Beton i jelezobeton, no 1/1958, (traducere din limba rusă).
- /91/ REHM, G. : "Proposition en vue d'un programme d'essais pour le contrôle de la qualité des aciers à haute adhérence", CEB - Commission II "Aciers - Adhérence - Ancrages".

- /92/ ROBINSON, I.R. : "Observation et propositions sur la verification en classe IV des etats limités d'ouverture des fissures", Buletin d'Information CEB no 89, Londres, 1973.
- /93/ ROCHA, M. : "Recommandations pour les essais sur l'adhérence et la formation des fissures", RILEM Symposium, Stockholm, 1957.
- /94/ RUSCH, H., REHL, G. : "Cercetări asupra determinării aderenței armăturilor pretensionate", Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 147, Ed. Ernst Sohn, Berlin, 1963. (traducere din limba germană).
- /95/ SORETZ, ST. : "Projet de Directives pour l'agrément et le contrôle de qualité des aciers à haute adhérence",
- /96/ SORETZ, ST. : "De l'unification des diagrammes contraintes deformations des aciers d'armature", CEB Buletin d'Information, no 66/1968.
- /97/ SORETZ, ST. : "Recommandation R. 43,6 "Adherence - Ancrages", CEB Buletin d'Information, Noiembrie 1969.
- /98/ SORETZ, ST. : "De la validité des formules de fissuration du béton armé", Buletin D'Information du CEB, no 89, Londres, 1973.
- /99/ STANCULESCU, G., IONESCU, M. : "Influența diferiților parametri asupra distanței dintre fisuri și deschiderea fisurilor la elementele de beton armat supuse la încovoiere", Buletin INCERC - București, 1965.
- /100/ TASSI, G. : "Feszített vasbeton tartók számítása repedés - korlátozásra és a repedéstagasságránátá paraméterek", Mélyépítéstudományi szemle no 9/1972.
- /101/ TERTEA, I. ș.a. : "Cercetări privind factorii care influențează forța de aderență a barelor tensionate", Buletinul științific al I.P.Cluj, nr.9/1966.
- /102/ TERTEA, I., ș.a. : "Proiectarea betonului armat", Editura Didactică și Pedagogică, Cluj-Napoca, 1977.
- /103/ TOMA, L. : "Betonul parțial precomprimat verigă de legătură între betonul armat și betonul precomprimat", Revista Construcțiilor, nr.12/1972.

- /104/ TSEITLINS, S. Iv. : "Asupra calculului la fisurare a elementelor comprimate excentric și precomprimat", Beton i jelezobeton, no.5/1973. (traducere din limba rusă).
- /105/ ULITKI, I.I. : "Teoria și calculul construcțiilor din beton armat cu luarea în considerație a proceselor de durată", Izdatelstve "Budivelnik", Kiev 1967. (traducere din limba rusă).
- /106/ VOELLY, A. and BERNARDI, : "Remarques sur l'adhérence et la formation des fissures dans le béton armé", RILEM Symposium, Stockholm, 1957.
- /107/ WORTHING, AG., GEFNER, I. : "Prelucrarea datelor experimentale", Editura Tehnică București, 1959.
- /108/ XERCAVINS, M. : "Enrobage et entr'axe minimale des ancrages", CEB-FIP - Mai 1969.
- /109/ XERCAVINS, M. : "Proposition de Specifications Techniques pour la fourniture et la réception des aciers pour armatures de precontrainte", CEB-FIP - mai, 1969.
- /110/ x x x : "SNiP II-B.I. - 72, Betonⁿie i jelezobetonⁿie konstrukții. Normî proektirovania (Proekt), Moskva, Gosstroi, 1972.
- /111/ x x x : "Normele de calcul și proiectare pentru elementele de beton armat", S.NiP II - B₁ - 62, Moskva, 1962.
- /112/ x x x : "Spécification concernant la caractére d'adhérence des aciers de precontrainte", Comité Mixte RILEM-FIP-CEB.
- /113/ x x x : "Essai portant sur l'adhérence des armatures du béton", Matériaux et constructions, vol.6, no.32, 1973.
- /114/ x x x : "CEB-FIP. Recommendations Internationales pour le calcul et l'exécutions des puvrages en béton", Seconde édition, London, Cement and concrete Association, 1970.
- /115/ x x x : "Recomandări internaționale pentru calculul și execuția lucrărilor de beton armat", CEB-FIP, Praha, 1970.

- /116/ x x x : "Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea elementelor din beton cu precomprimare parțială, folosind armături pretensionate și nepretensionate de rezistență", Redactarea I-a și a II-a ICCPDC - Filiala de Cercetare, Proiectare, Proiectare în Construcții Cluj-Napoca și INCERC București, 1977.
- /117/ x x x : "STAS 5511-71 - Determinarea aderenței dintre beton și armătură. Metoda prin smulgere".
- /118/ x x x : "STAS 8000-67 - Calculul elementelor de beton, beton armat și beton precomprimat".
- /119/ x x x : "STAS 10107/0-76 - Construcții civile și industriale. Calculul și alcătuirea elementelor de beton, beton armat și beton precomprimat".
- /120/ x x x : "S.Ni.P II-21-75 - Strojitelnye normy i pravila. Normy proektirovaniya. Betonnye i jelezobetonnye konstrukcii, Moskva, 1976.