

UNIVERSITATEA „OVIDIUS” CONSTANȚA

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT



***CALCULUL ȘI COMPORTAREA LA FORȚĂ TĂIETOARE A
ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT ȘI PRECOMPRIMAT***

Doctorand: Ing. CECILIA PÉNZES (BARTÓK)

Conducător științific:

Prof. Univ. Dr. Ing. AUGUSTIN POPAESCU

Constanța, 2013

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

CUVÂNT ÎNAINTE

După încheierea unui proces de elaborare a lucrării de doctorat destul de îndelungat, doresc să aduc mulțumiri în mod deosebit conducătorului științific D-lui Prof. Univ. Dr. Ing. Augustin Popaescu pentru îndrumarea și încurajarea permanentă. Domnia lui a fost prezent în mod competitiv și cu exigență științifică în viața mea, fiindu-mi profesor la Universitatea Transilvania Brașov din cadrul Facultății de Construcții și totodată conducător științific în elaborarea proiectului de diplomă, mai târziu a lucrării de absolvire a studiilor de masterat „Reabilitarea Construcțiilor Vechi”.

Pentru sprijinul tehnic acordat doresc să aduc mulțumiri firmei Popaescu&CO S.R.L., condusă de prof. dr. ing. Popaescu Augustin și PREFA S.A. Brașov pentru posibilitatea efectuării încercării grinzii de pod $L=24m$.

Calde mulțumiri le aduc domnului prof. dr. ing. Tudor Clipii din cadrul Facultății de Construcții și Arhitectură Timișoara, pentru ajutorul acordat în cunoașterea și rularea modulelor de program pStress și pTruss, folosit în cadrul tezei de doctorat.

Totodată, mulțumesc Domnului Decan al Facultății de Construcții din cadrul Universității Ovidius Constanța, prof. dr. ing. Virgil Breabăn, pentru sprijinul acordat pe parcursul derulării studiilor doctorale.

Mulțumesc soțului meu, Lóránd, pentru înțelegerea și sprijinul moral acordat pe parcursul realizării acestei lucrări.

În final aduc vii mulțumiri tatălui meu pentru perseverența și exigența profesională prezentată ca și inginer constructor în decursul anilor. Datorită lui am ajuns la acest punct din cariera mea.

Autoarea,

Ing. Cecilia Péntes

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Cuvinte cheie: grindă de beton armat și precomprimat, rezistență la forță tăietoare, model biele și tiranți, program Strut and Tie, grinzi cu alcătuiți speciale, încercări pe seria zero, sporirea rezistenței grinzilor din beton armat.

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE.....	3
CUPRINS.....	4
OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI DE DOCTORAT.....	7
CAP. 1 . COMPORTAREA ȘI CALCULUL LA FORȚĂ TĂIETOARE A ELEMENTELOR LINIARE DIN BETON ARMAT ȘI PRECOMPRIMAT REFLECTATE ÎN NORMELE DE CALCUL	
1.1.CALCULUL LA FORȚĂ TĂIETOARE A ELEMENTELOR LINIARE DE BETON ARMAT ȘI PRECOMPRIMAT DUPĂ STAS 10107/0-90.....	10
1.1.1.Comportarea la forță tăietoare a elementelor de beton armat fără armătură transversală	11
1.1.2.Comportarea la forță tăietoare a elementelor de beton armat cu armătură trasversală.....	11
1.1.3.Comportarea și calculul solicitării capabile la forță tăietoare a elementelor din beton precomprimat după Stas 10107/0-90.....	14
1.2.CALCULUL FORȚEI TĂIETOARE DUPĂ EUROCODUL 2.....	16
1.2.1. Etapele de calcul după EC2.....	17
1.2.2.Elemente ce nu necesită armături de calcul la forță tăietoare.....	17
1.2.3.Elemente la care sunt necesare armături pentru forța tăietoare.....	20
1.2.4.Determinarea forței tăietoare de calcul în cazul grinzilor simplu rezemate sau continue.....	23
1.2.5.Compararea EC2 cu diferite formule date pentru calculul la forță tăietoare..	24
CAP. 2. ANALIZA GRINZILOR DE BETON ARMAT ȘI PREFABRICAT CU ZONE DISCONTINUE LA ACȚIUNEA FORȚEI TĂIETOARE ȘI CÂTEVA ASPECTE SPECIFICE ALE ACESTOR ELEMENTE CU ALCĂTUIRI SPECIALE	
2.1. GRINZI CU ALCĂTUIRI SPECIALE.....	34
2.1.1. Console scurte.....	34
2.1.2. Zone de capăt ale grinzilor chertate la rezemare.....	35
2.1.3.Goluri în inima grinzilor.....	38
2.2. MODELAREA ZONELOR DISCONTINUE.....	41

2.2.1. Analiza teoretică.....	41
2.2.2. Scurt istoric a modelului biele și tiranți.....	43
2.2.3. Analiză cu modelul biele și tiranți.....	44
2.2.3.1.Dimensionare cu ajutorul modelelor biele-tiranți.....	45
2.3. ANALIZĂ CAPĂT DE PANĂ.....	55
CAP. 3. ÎNCERCAREA PE STEND PÂNĂ LA RUPERE A UNOR ELEMENTE TIP GRINDĂ DIN BETON PRECOMPRIMAT ȘI BETON ARMAT PREFABRICATE	
3.1.ASPECTE GENERALE PRIVIND EFECTUAREA ÎNCERCĂRILOR ELEMENTELOR PREFABRICATE DIN BETON ARMAT ȘI PRECOMPRIMAT.....	63
3.2.GRINDA DE POD L=24 M PASAJ DN1.....	66
3.2.1.Obiectul încercării.....	66
3.2.2.Date generale.....	67
3.2.3.Date privind grinda încercată.....	67
3.2.4.Schema de încercare.....	74
3.2.5.Rezemări.....	77
3.2.6.Măsurători.....	77
3.2.7.Rezultatele încercării.....	78
3.3.PANA DE BETON ARMAT L=11.45M.....	80
3.3.1 Date generale.....	80
3.3.2.Date privind pana încercată.....	81
3.3.3.Măsurători.....	84
CAP. 4. INTERPRETAREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE LA ÎNCERCĂRILE ELEMENTELOR PREFABRICATE DIN BETON ARMAT	
4.1.INTERPRETAREA REZULTATELOR, GENERALITĂȚI.....	87
4.1.1.Regimul de fisurare.....	87
4.1.2.Deformațiile.....	88
4.1.3.Capacitatea portantă.....	89
4.2.INTERPRETAREA REZULTATELOR LA ÎNCERCĂRI PE SERIA ZERO ALE ELEMENTELOR PREFABRICATE DIN BETON PRECOMPRIMAT.....	91
4.2.1.Apariția fisurilor.....	91

4.2.2.Închiderea fisurilor.....	92
4.2.3.Deformațiile.....	92
4.2.4.Capacitatea portantă.....	92
4.3.PANA DIN BETON ARMAT.....	93
4.3.1.Calculul paniei din beton armat.....	93
4.3.2.Rezultatele încercării paniei.....	111
4.4.GRINDA PRECOMPRIMATĂ L=24M, PASAJ DN1.....	112
4.4.1.Calculul grinzii precomprimate.....	112
4.4.2. Interpretarea rezultatelor încercării grinzii pasaj DN1.....	117
CAP.5. SPORIREA REZISTENȚEI GRINZILOR DIN BETON ARMAT LA FORȚĂ TĂIETOARE	
5.1.INTRODUCERE.....	122
5.2.METODE GENERALE FOLOSITE LA SPORIREA REZISTENȚEI GRINZILOR DIN BETON ARMAT LA FORȚĂ TĂIETOARE.....	125
5.3. ÎNCERCĂRI REALIZATE PE PLAN INTERNAȚIONAL ÎN VEDEREA REDUCERII COSTURILOR DE CONSOLIDARE ALE GRINZILOR CU REZISTENȚĂ SCĂZUTĂ LA FORȚĂ TĂIETOARE.....	129
5.4. CALCULUL CONSOLIDĂRILOR CU COMPOZITE.....	137
CAP. 6. CONCLUZII	
6.1. SINTEZA STUDIILOR ȘI CERCETĂRILOR DOCUMENTARE EFECTUATE ÎN CADRUL TEZEI PRIVIND CALCULUL GRINZILOR DE BETON ARMAT ȘI PRECOMPRIMAT DUPĂ REGLEMENTĂRILE TEHNICE ÎNLOCUITE ȘI CELE AFLATE ÎN VIGOARE.....	146
6.2. ANALIZA MODELULUI BIELĂ ȘI TIRANT.....	148
6.3. SINTEZA CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE PRIN ÎNCERCARE PE STEND PÂNĂ LA RUPERE A UNOR ELEMENTE PREFABRICATE DE TIP GRINDĂ DIN BETON PRECOMPRIMAT ȘI BETON ARMAT.....	151
6.4. METODE FOLOSITE LA SPORIREA REZISTENȚEI GRINZILOR DIN BETON ARMAT LA FORȚĂ TĂIETOARE.....	154
6.5. CONTRIBUȚII PERSONALE.....	158

OBIECTIVELE ȘI STRUCTURA TEZEI DE DOCTORAT

Teza de doctorat intitulată „*Calculul și comportarea la forță tăietoare a elementelor din beton armat și precomprimat*” are următoarele obiective:

- analiza comportării și calculului la forța tăietoare a grinzilor din beton armat și precomprimat, prezentată în standarde românești înlocuite, în special în *STAS 10107/0-90, Construcții civile și industriale. Calculul și alcătuirea elementelor structurale din beton, beton armat și beton precomprimat*; precum și în *SR EN 1992-1-1 Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton, Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri*, aflat în vigoare.
- analiza metodei biele și tiranți;
- analiza unor experimentări prin încercare pe stend până la rupere a unor grinzi prefabricate din beton armat și precomprimat;
- realizarea unei sinteze a metodelor (metode generale de consolidare precum și încercări realizate pe plan internațional în vederea reducerii costurilor de consolidare) folosite la sporirea rezistenței grinzilor din beton armat la forță tăietoare.

Lucrarea este structurată pe 6 capitole ordonate logic, în cadrul fiecăruia se abordează problematica specifică, subordonată realizării obiectivelor tezei.

Capitolul 1 prezintă în primul rând calculul și comportarea elementelor din beton armat și precomprimat la acțiunea forței tăietoare după reglementările tehnice înlocuite și cele aflate în vigoare.

Standardul STAS 10107/0-90, în calculul elementelor liniare din beton armat la acțiunea forței tăietoare are la bază modelul de calcul cu un mecanism de cedare cu un grad de libertate, alcătuit din două corpuri rigide (tronsoanele de grindă separate de fisura înclinată la rupere), care se rotesc relativ.

SR-EN-1992-1-1-2004 Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton, în calculul elementelor liniare din beton armat la acțiunea forței tăietoare are la bază modelul biele și tiranți.

Se prezintă câteva concluzii după compararea formulelor din EC2 cu modelul zăbrele cu contribuția betonului din vechiul EC2, de fapt prestandard (ENV 1992-1-1:1991), ecuația dată în cod de proiectare american ACI 318-02 Code (American Concrete Institute. *ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. ACI, Farmington Hills), lucrare cu comentarii publice al CSA (CSA Committee A23.3. *Design of Concrete Structures*. Public review draft, Canadian Standards

Association, Rexdale, ON, September 2003,p.233) și o metodă semi analitică propusă de Cladera și Mari.

În **capitolul 2** are loc prezentarea unor elemente liniare cu domenii discontinue, adică elemente la care apare o schimbare bruscă în geometria acestora, ori în distribuția eforturilor. Pe lângă modelul bielă-tirant se prezintă și modul de armare corespunzător tipului de element analizat. Sunt puse la îndemâna proiectanților constructori câteva idei pentru folosirea modelului bielă-tirant pentru console scurte, zone de capăt ale grinzilor chertate la rezemare și goluri în inima grinzilor.

Calculul elementelor la acțiunea forței tăietoare după modelul biele și tiranți începe cu identificarea zonelor discontinue, analiza eforturilor și reprezentarea grafică a traiectoriei eforturilor elastice pentru încărcarea dată, urmat de prezentarea modelului biele și tiranți, bazat pe reprezentarea grafică a eforturilor, analiza statică a modelului (STM), dimensionarea ariilor armăturilor folosind eforturile de întindere din interiorul elementului, controlul eforturilor de compresiune din beton și detalierea elementului bazat pe rezultatele calculelor în concordanță cu reglementările tehnice în vigoare.

Cu ajutorul unui program de calcul, care vine în ajutorul inginerului pentru scurtarea timpului acordat repetării într-un număr mare al operațiilor de calcul necesar pentru dimensionarea elementelor cu metoda biele și tiranți, apare un exemplu pentru utilizarea modelului biele și tiranți.

Capitolul 3 este dedicat descrierii încercărilor pe stend până la rupere a unor elemente prefabricate de tip grindă din beton armat și precomprimat.

În continuare se prezintă câteva aspecte privind efectuarea încercărilor elementelor prefabricate de beton armat și precomprimat.

Rezemările realizate în cadrul încercărilor, scheme de încărcare, cicluri de încărcare, trepte de încărcare, intervalul de solicitare, precum și ce se urmărește în cadrul experimentărilor, procesul de apariție și dezvoltare a fisurilor, oprirea încercării, modul de cedare, precum și epuizarea capacității portante a elementelor prefabricate din beton armat și precomprimat este prezentată în subcapitolul 3.1.

Următorul subcapitol, 3.2, conține descrierea încercării grinzii de pod $L=24.00m$, pasaj DN1, între aeroportul Otopeni și Băneasa. Încercarea a avut ca temă verificarea comportării grinzii la stările limită de serviciu (ale exploataării normale), respectiv fisurare, deformații și verificarea comportării sub încărcări până la rupere, în vederea atestării producției prin încercare pe seria zero și obținerii de date necesare certificării de conformitate a elementului prefabricat.

Ultimul subcapitol descrie încercarea panii de beton armat $L=11,45\text{m}$ Interex Centru Comercial Vaslui. Încercarea a avut ca temă verificarea pe stend până la rupere a comportării panii sub încărcări la stări limită de exploatare și de rezistență și în special a comportării zonelor de reazem și de acțiune preponderentă a forței tăietoare.

Capitolul 4 vine într-adevăr în continuarea capitolului 3, deoarece conține concluziile încercărilor pe stend până la rupere a elementelor prefabricate de tip grindă din beton armat și precomprimat prezentate în capitolul 3. Autoarea compară calculul panii de beton armat $L=11,45\text{m}$ Interex Centru Comercial Vaslui după reglementările tehnice înlocuite și cele aflate în vigoare. Verificarea grinzii precomprimate la starea limită de rezistență la acțiunea forței tăietoare este realizată deasemenea în acest capitol.

Capitolul 5 prezintă metode generale de intervenții de tip consolidare a elementelor de beton armat, în zone solicitate la forță tăietoare, cu beton armat, piese metalice și polimeri armați cu fibre, precum și câteva experimente realizate pe plan internațional care au analizat sistemul de înfășurare a grinzilor de beton armat cu benzi bidirecționale de CFRP distanțate și se arată că aceste benzi nu numai îmbunătățesc rezistența la forța tăietoare a grinzilor întărite dar și reduc cantitatea de material folosit pentru consolidare. Verificarea la forță tăietoare a elementelor din beton armat consolidate cu materiale compozite după normative de calcul internaționale, considerate reprezentative este prezentată și comparată de către autoarea tezei.

Capitolul 6 prezintă concluziile generale după sinteza studiilor și cercetărilor efectuate în cadrul tezei, documentării privind calculul grinzilor de beton armat și precomprimat după reglementările tehnice înlocuite și cele aflate în vigoare, concluzii după sinteza cercetărilor experimentale prin încercare pe stend până la rupere a unor elemente prefabricate de tip grindă din beton armat și precomprimat, precum și după analiza diferitelor metode folosite la sporirea rezistenței grinzilor din beton armat la forță tăietoare. Totodată se prezintă și contribuțiile personale ale autoarei la teza de doctorat.

CAPITOLUL 1

COMPORTAREA ȘI CALCULUL LA FORȚĂ TĂIETOARE A ELEMENTELOR LINIARE DIN BETON ARMAT ȘI PRECOMPRIMAT REFLECTATE ÎN NORMELE DE CALCUL

1.1. CALCULUL LA FORȚĂ TĂIETOARE A ELEMENTELOR LINIARE DE BETON ARMAT ȘI PRECOMPRIMAT DUPĂ STAS 10107/0-90

Modul de comportare și calculul elementelor de beton armat la acțiunea forței tăietoare a fost studiat în mai toate centrele de cercetare importante din lume datorită faptului că fenomenul în sine este unul deosebit de complex. S-au realizat mai multe studii teoretice și experimentale cu scopul de a dezvolta și un model analitic satisfăcător, atât din punct de vedere a fidelității a comportării reale, cât și din punctul de vedere al accesibilității utilizării în proiectare.[1.1]

Capacitatea portantă la forța tăietoare este influențată de forma și proporțiile elementelor, cantitatea și dispoziția armăturilor longitudinale și al armăturilor transversale, eventual efort axial de compresiune sau de întindere, proprietățile fizico-mecanice ale betonului și ale armăturii.

1.1.1. Comportarea la forță tăietoare a elementelor de beton armat fără armătură transversală

Se poate considera în mod simplificat că încărcările aplicate elementelor de beton armat fără armătură transversală, solicitate la încovoiere cu forță tăietoare, sunt preluate prin două mecanisme, cel de “grindă” și cel de “arc” (riglă frântă cu tirant), care coexistă și se influențează reciproc.

STAS 10107/0-90 prevede ca limita sub care nu mai este necesar calculul armăturilor transversale în elementele liniare de beton armat este valoarea[1.1]:

$$Q = 0,5bh_0R_t ,$$

1.1.2. Comportarea la forță tăietoare a elementelor de beton armat cu armătură trasversală

STAS 10107/0-90 utilizează pentru calculul în secțiuni înclinate la acțiunea forței tăietoare metoda echilibrului limită în secțiuni înclinate. Modelul de calcul consideră un mecanism de cedare cu un grad de libertate, alcătuit din două corpuri rigide (tronsoanele de grindă separate de fisura înclinată la rupere), care se rotesc relativ. Echilibrul în stadiul limită de solicitare în lungul fisurării, cu direcția înclinată față de axa elementului, se descrie printr-o relație de proiecție pe normala la axa elementului și o ecuație de moment în raport cu punctul de aplicație al rezultantei eforturilor de compresiune din beton, fig.1.2. [1.1].

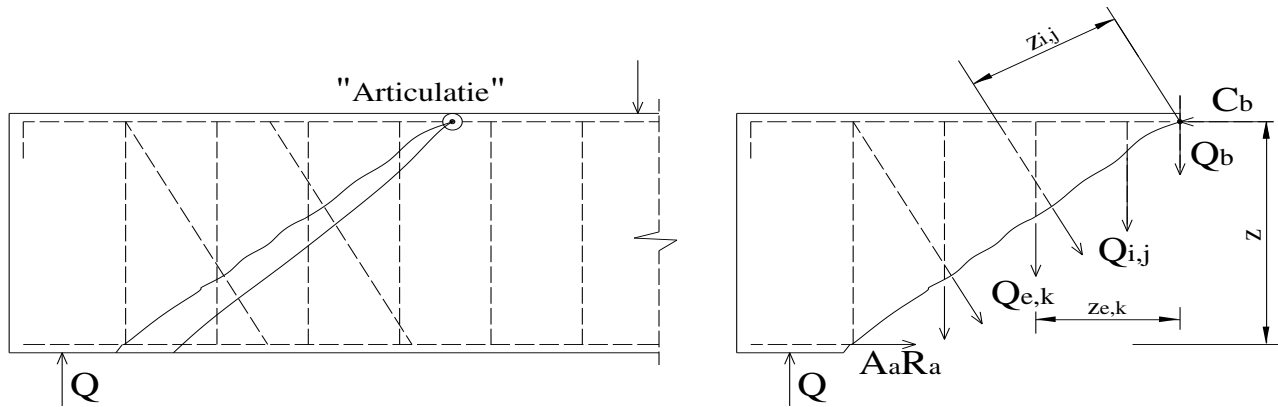


Fig.1.2. Model de calcul[1.1]

Calculul la forță tăietoare a elementelor cu secțiune constantă se face cu relația[1.4]:

$$Q \leq Q_{cap} = Q_b + \sum A_{at} R_a \sin \alpha + \sum n_e A_e R_{at}$$

1.1.3. Comportarea și calculul solicitării capabile la forță tăietoare a elementelor din beton precomprimat după Stas 10107/0-90

Calculul solicitării capabile atât la moment încovoiator, cât și la forță tăietoare, se efectuează în secțiuni înclinate fisurate[1.4].

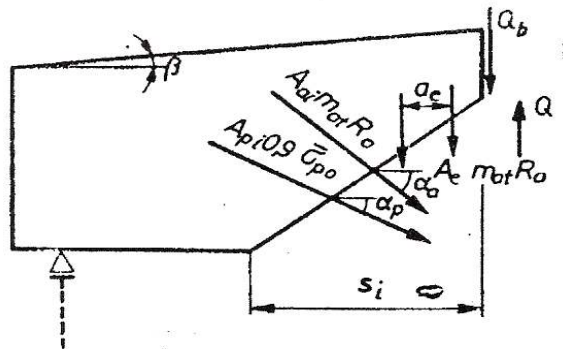


Fig.1.9. Secțiunea înclinată fisurată.Calculul în starea limită de rezistență la forță tăietoare. [1.4]

Într-o secțiune înclinată fisurată se poate scrie ecuația de echilibru:

$$Q_{cap} = \sum 0,9 \bar{\sigma}_{po} A_{pi} \sin \alpha_p + \sum A_{ai} m_{at} R_a \sin \alpha_a + \sum A_{ei} m_{at} R_a + Q_b$$

1.2. CALCULUL FORȚEI TĂIETOARE DUPĂ EUROCODUL 2

1.2.1.Etapele de calcul după EC2

Etapele de calcul la forță tăietoare sunt[1.7.]:

- stabilirea diagramei forței tăietoare de calcul, V_{Ed} ;
- corectarea diagramei cu reducerile posibile;

-calculul capacității portante a secțiunii de beton, $V_{Ed,c}$;

-se verifică condiția:

$$V_{Ed,red} \leq V_{Ed,c} \text{ dacă inegalitatea este satisfăcută armăturile transversale se aleg constructiv.}$$

-în cazul în care $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ se calculează capacitatea portantă a diagonalelor comprimate de beton $V_{Rd,max}$ în funcție de tipul de armătură transversală utilizată (verticală sau înclinată) și se verifică condiția:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

dacă inegalitatea nu este satisfăcută se măresc dimensiunile secțiunii de beton;

-se calculează capacitatea portantă a armăturilor transvesale $V_{Rd,s}$ prin alegerea unui diametru și a unei distanțe dintre bare A_{sw} / s se alege în concordanță cu diagrama V_{Ed} .

1.2.2.Elemente ce nu necesită armături de calcul la forță tăietoare

Forța tăietoare capabilă de calcul este indicată de[1.6] :

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (1.2.b.1)$$

cu o valoare minimă:

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

1.2.3. Elemente la care sunt necesare armături pentru forța tăietoare

Calculul elementelor cu armături pentru forță tăietoare se bazează pe un model de grindă cu zăbrele[1.6](fig. 1.13).

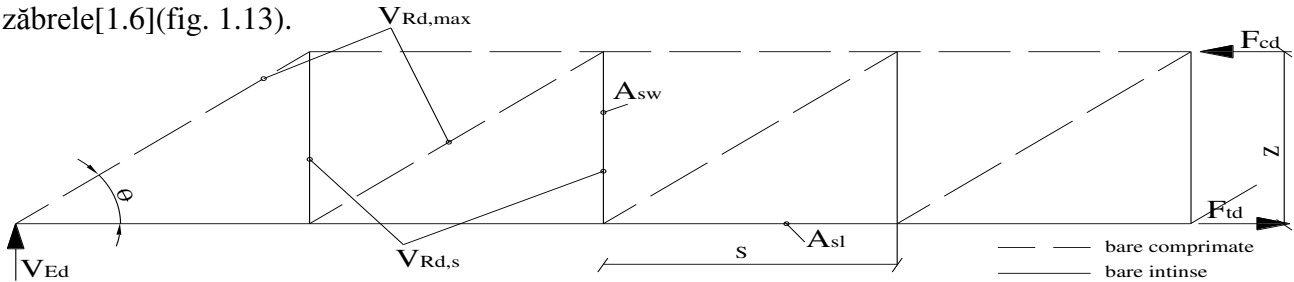


Fig. 1.13. - Modelul de calcul la acțiunea forței tăietoare-armat cu etrieri[1.7.]

Pentru elemente cu armături verticale pentru forță tăietoare rezistența la forță tăietoare V_{Rd} este cea mai mică dintre valorile de mai jos :

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg \theta \quad (1.2.h)$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} l (ctg \theta + tg \theta) \quad (1.2.i)$$

În cazul elementelor cu armături înclinate, forța tăietoare capabilă este cea mai mică din valorile de

$$\text{mai jos[1.6] : } V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (ctg \theta + ctg \alpha) \sin \alpha \quad (1.2.m)$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} (\operatorname{ctg} \theta + \operatorname{ctg} \alpha) (1 + \operatorname{ctg}^2 \theta) \quad (1.2.n)$$

1.2.4. Determinarea forței tăietoare de calcul V_{Ed} în cazul grinzilor simplu rezemate sau continue

Valoarea unghiului θ trebuie să respecte limitele: $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$, ($1 \leq \operatorname{ctg} \theta \leq 2,5$).

În funcție de înclinarea θ aleasă, vor rezulta cantități diferite de armătură transversală și longitudinală, datorită solicitărilor diferite în diagonalele comprimate, respectiv în barele întinse (atât în etrieri cât și în barele longitudinale). Rolul proiectării este să optimizeze $\operatorname{ctg} \theta$ în manieră de a conduce la o cantitate minimă totală de armătură și manoperă. [1.7]

1.2.5. Compararea EC2 cu diferite formule date pentru calculul la forță tăietoare

Comportarea și calculul la acțiunea forței tăietoare a grinzilor de beton armat și precomprimat, a fost întotdeauna un domeniu foarte controversat, încă din timpul lui Ritter și Mörsch, când s-a propus primul model cu zăbrele. De atunci, s-au discutat diferite modele analitice, ca de exemplu modelul zăbrele cu contribuția betonului, teorii de forfecare/compresiune, model cu zăbrele cu unghi de înclinare variabil și teorii cu regiuni, domenii comprimate. În cadrul articolului lui Cladera A. și Mari R.-*Shear strength in the new Eurocode2. A step Forward?, Structural Concrete.2007. 8.No2*. [1.8] se prezintă încercările realizate pe 122 grinzi de beton armat, simplu rezemate la capete și acționate de 1 sau 2 forțe concentrate.

Valoarea empirică a forței tăietoare la aceste grinzi, s-a comparat cu 4 diferite formule: model zăbrele cu contribuția betonului din vechiul EC2, defapt prestandard (ENV 1992-1-1:1991), ecuația dată de relația 11.13 din cod de proiectare americană ACI 318-02 (American Concrete Institute. *ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. ACI, Farmington Hills), lucrare cu comentarii publice al CSA (CSA Committee A23.3. *Design of Concrete Structures*. Public review draft, Canadian Standards Association, Rexdale, ON, September 2003,p.233) și o metodă semi analitică propusă de Cladera și Mari. [1.8]

Rezultatele indică faptul că exemplarele din beton armat cu armătură pentru forța tăietoare au raportul medie: forța tăietoare la cedare în testele empirice/valoarea propusă a rezistenței la forța tăietoare de diferite formule comparate egal cu 1,19 în cazul formulei din vechiul EC2, egal cu 1,64 în cazul formulei din noul EC2, egal cu 1,38 în cazul procedurii din ACI 318-02, egal cu 1,13 în cazul formulei din CSA și 1,06 în cazul metodei propuse de Cladera și Mari. Se poate observa că, chiar și cea mai simplă formulă 11-3 din cadrul ACI 318-02 corelează mai bine cu testele empirice decât noul EC2. Formulele din vechiul EC2 din 1991 oferă deasemenea o mai bună corelare cu rezultatele încercărilor față de procedeul de calcul din noul EC2. [1.8]

CAPITOLUL 2

ANALIZA GRINZILOR DE BETON ARMAT ȘI PREFABRICAT CU ZONE DISCONTINUE LA ACȚIUNEA FORȚEI TĂIETOARE ȘI CÂTEVA ASPECTE SPECIFICE ALE ACESTOR ELEMENTE CU ALCĂTUIRI SPECIALE

2.1. GRINZI CU ALCĂTUIRI SPECIALE

2.1.1. Console scurte

2.1.2. Zone de capăt ale grinzilor chertate la rezemare

Decuparea elementelor la capete poate avea diverse forme și dimensiuni. Se prezintă un exemplu de grindă chertată la reazem, precum și modelul de bielă și tirant propus.

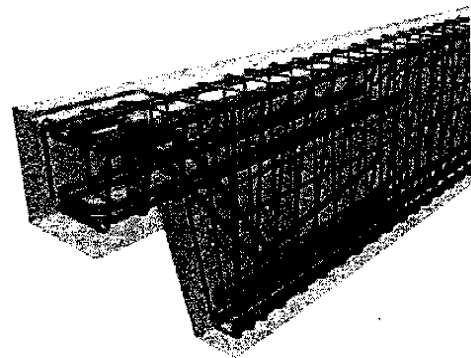
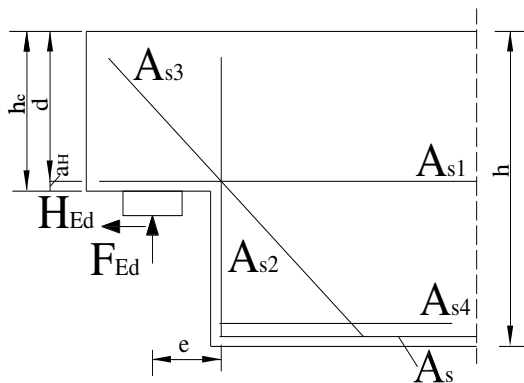
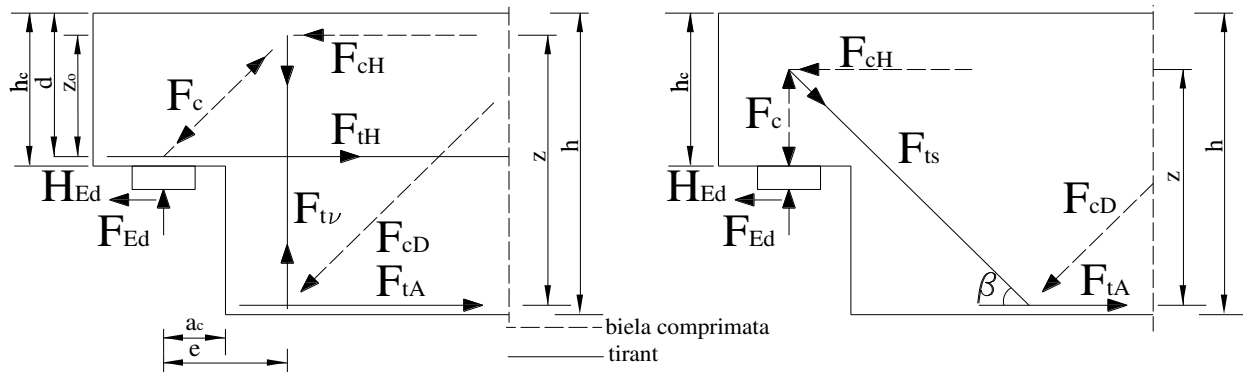


Fig.2.4.c) Armăturile caracteristice capătului de grindă cu consolă[2.6]

Mai explicit, se prezintă în continuare proiectarea grinzilor chertate la reazem sau simplu rezemate, printr-o combinație a celor două modele de bielean și tiranți (fig.2.5. și 2.6.) [2.5]:

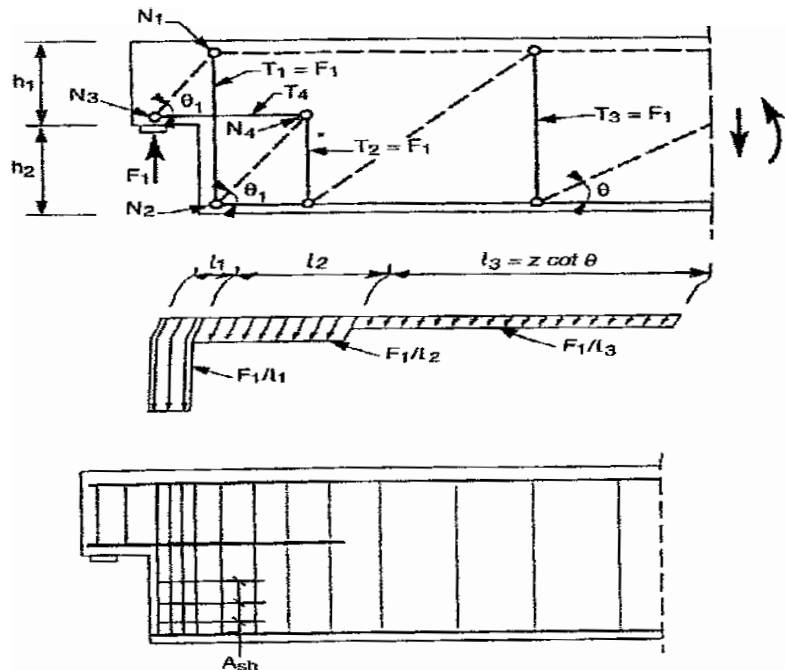


Fig.2.5.-Model cu armături orizontale la reazem și mod de armare[2.5]

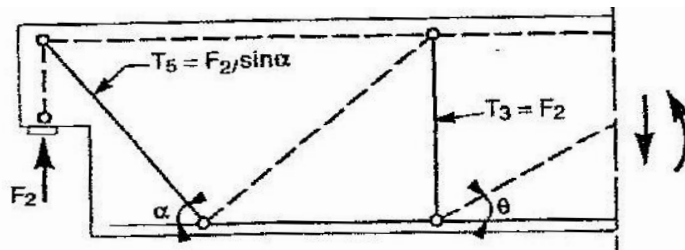


Fig.2.6.-Model cu armături înclinate la reazem[2.5]

2.1.3. Goluri în inima grinzilor

2.2. MODELAREA ZONELOR DISCONTINUE

2.2.1. Analiza teoretică

Elementele structurale din beton pot avea 2 domenii generale: cu și fără discontinuități. În al doilea caz se aplică teoria lui Bernoulli, adică secțiunile plane și normale pe axa barei rămân plane și normale și după deformarea produsă de sarcini. Această ipoteză se verifică experimental pe conturul barelor și se admite valabilă și în interiorul acestora. De obicei orice zonă în afara zonei flexibile este un domeniu discontinu și este caracterizată prin faptul că nu poate fi aplicată principiul lui Bernoulli.

O discontinuitate în distribuția eforturilor apare ori la o schimbare bruscă în geometria elementului structural (discontinuitate geometrică) ori la aplicarea unei forțe concentrate sau reacțiuni (discontinuitate statică sau de încărcare) ori într-o combinație în care apar ambele cazuri (discontinuitate geometrică și de încărcare)[2.1].

Zonele cu discontinuități considerabile se analizează cu modelul biele și tiranți[2.3].

2.2.2. Scurt istoric a modelului biele și tiranți

Modelul biele și tiranți (strut and tie modeling) datează încă din începutul folosirii betonului prefabricat. În 1899 Wilhelm Ritter a dezvoltat un mecanism de grindă cu zăbrele pentru a explica contribuția armăturii transversale în acțiunea forței tăietoare la grinzile din beton armat. Până atunci așa se credea că armătura transversală are rol de fixare, împiedicând ruperea prin forfecare a suprafețelor opuse al unei crăpături înclinate. Modelul Ritter a fost redefinit de Mörsch în 1902. El a propus ca diagonalele folosite de către Ritter în grinda cu zăbrele ar fi mai bine reprezentate printr-un câmp continuu al unei diagonale comprimate. În anul 1927, Richard a propus un model în care contribuția armăturii și a betonului în preluarea forței tăietoare a fost calculat separat apoi adunat pentru a determina în întregime acțiunea forței tăietoare. În această metodă contribuția betonului la preluarea forței tăietoare, V_c , a fost bazată pe model de grindă cu zăbrele în care câmpul comprimat de beton forma un unghi de 45° cu armătura longitudinală. Începând din anul 1980, modelul biele și tiranți a devenit foarte utilizat în S.U.A. în cazul elementelor din beton supus la o combinație de încărcări de forfecare cu torsiune[2.2]. În Europa, în mod particular, inginerii elvețieni și scandinavi au folosit câmpuri de forță paralel sau cu formă de aripă, pentru a explica prin teoria plasticității, capacitatea reală de încărcare al structurilor plane din beton armat [Muttoni/Schwartz/Thuerlimann(1997)]. Propagată de J. Schlaich, metoda *strut and tie* a fost generalizată și demonstrată că poate fi folosită la elemente de beton armat de diferite tipuri și pentru întreaga structură [Schlaich/Weischede(1982), Schlaich/Schaefer/Jennewein(1987), Schlaich/Schaefer (1991), Schlaich/Schaefer (1998)] [2.9].

2.2.3. Analiză cu modelul biele și tiranți

Modelarea prin biele și tiranți constă în a defini [2.3] :

- biele**, care reprezintă *câmpuri de eforturi de compresie*,
- tiranți**, care reprezintă *armăturile*,
- noduri**, care asigură legătura lor (punct de întâlnire).

2.2.3.1. Dimensionare cu ajutorul modelelor biele-tiranți

În cadrul modelului biele și tiranți, se parcurg următoarele etape:

1. după identificarea zonelor discontinue are loc analiza eforturilor și reprezentarea grafică a traiectoriei eforturilor elastice pentru încărcarea dată;
2. prezentarea modelului biele și tiranți, bazat pe reprezentarea grafică a eforturilor;
3. analiza statică a modelului (STM);
4. dimensionarea aria armăturilor folosind eforturile de întindere din interiorul elementului;
5. controlul (verificarea nodurilor) eforturilor de compresiune din beton;
6. detalierea elementului bazat pe rezultatele calculelor în concordanță cu reglementările tehnice în vigoare.

În cazul utilizării modelului STM este cel mai greu de parcurs punctul 1-3, deoarece acestea necesită repetarea într-un număr mare al operațiilor de calcul mărind timpul efectiv acordat calculelor.

2.3. ANALIZĂ CAPĂT DE PANĂ

În exemplul din acest subcapitol are loc analiza capătului de pană prefabricată din fig.2.27. Direcțiile eforturilor unitare principale s-au obținut prin rularea, de către autoarea tezei, modulul de program pStress, iar calculul static al modelului de bare s-a efectuat cu modulul de program pTruss.

Pana prefabricată de beton armat, are forma prezentată în fig.2.27. și este încărcată cu o forță uniform distribuită de $p=20,51\text{kNm}$. Se poate identifica o singură zonă de disturbare, produsă de reazem.

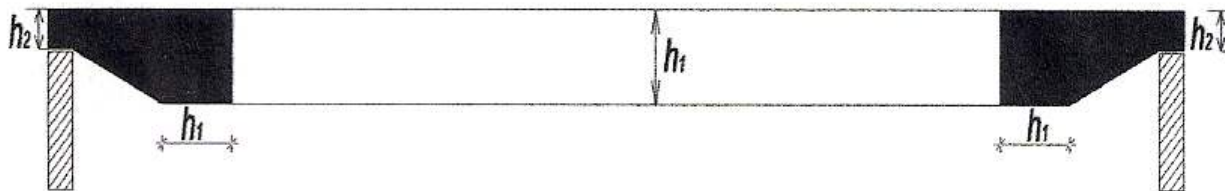


Fig.2.27. Identificare zone discontinue

În prima fază s-a considerat secțiunea de încastrare la distanța h_1 egală cu 90cm.

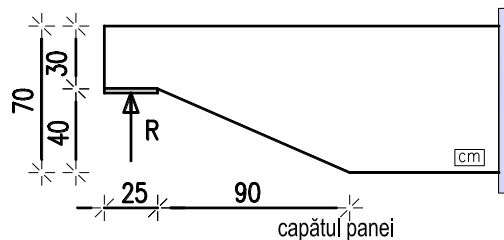


Fig.2.28. Secțiune de încastrare considerat în cadrul programului

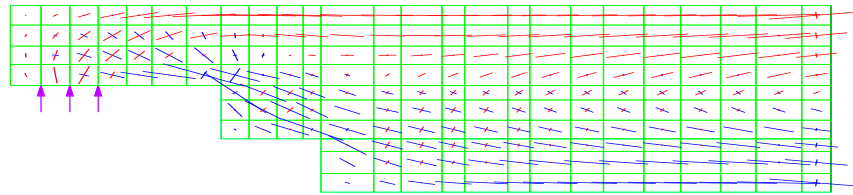
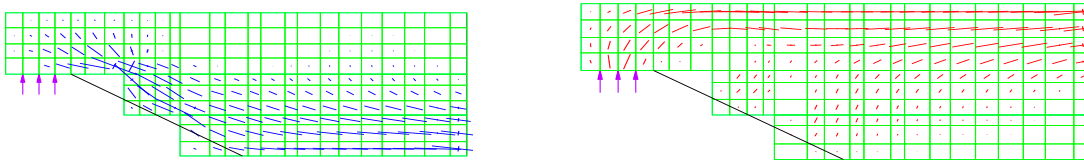


Fig.2.29. a) rezultatul rulării modulului pStress



b) eforturi unitare principale de întindere c) eforturi unitare principale de compresiune

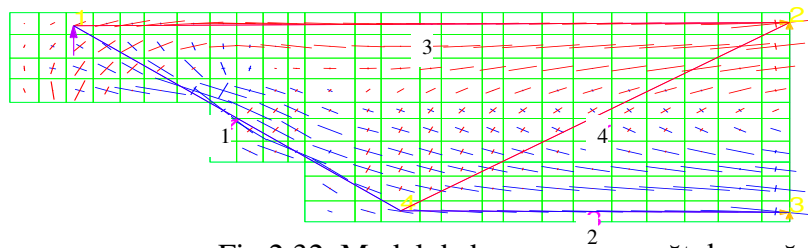


Fig.2.32. Model de bare pentru capăt de pană

Tabel 2.1. Forțele axiale în barele modelului (kN)

Bara	1	2	3	4
Model	186,69	313,83	-1459,06	-203,36

Armăturile necesare pentru cele două bare întinse:

$$\text{bara 1: } A_{a1} = N_1 / R_a = 186,69 \cdot 10^3 / 300 = 622,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{bara 2: } A_{a2} = N_2 / R_a = 313,83 \cdot 10^3 / 300 = 1043,33 \text{ mm}^2$$

Deși cele două arii de armătură diferă se adoptă 3 armături de $\Phi 22 (11,40 \text{ cm}^2)$.

Reacțiunea R se transmite prin beton, de la placa metalică de reazem (fig. 2.28.), la nodul 1 al modelului, generând o forță transversală de întindere care se poate evalua cu relația particularizată a relației (5.9), preluată în EC2 după Morsch și stabilită inițial de autorul ei pentru dimensionarea reazemelor din beton armat[2.4]:

$$Z = (1/3..1/4)R = (1/3..1/4)117,42 \approx 35 \text{ kN}.$$

Aria de armătură necesară este $A_a = Z / R_a = 35 \cdot 10^3 / 300 = 116,67 \text{ mm}^2$ care se dispun cons-

tructiv sub forma unor agrafe orizontale.

Verificarea compresiunilor în nodul **2** se face pe baza modelului din fig.2.33., conform căruia forța de compresiune din diagonala comprimată se transmite asupra celor 3Φ22 pe lungimea l a arcului de cerc care realizează racordarea porțiunilor liniare ale armăturii[2.4].

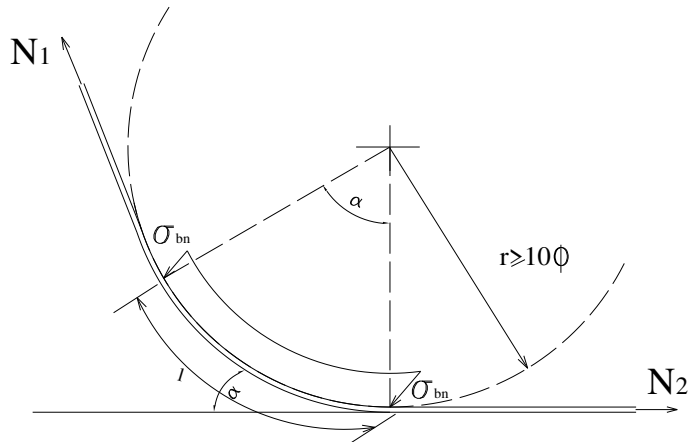


Fig. 2.33. Nod cu devierea armăturii

Din geometria modelului se obține $\alpha=24^\circ$, adică 0,418 radiani. Adoptând o rază de 300mm, lungimea arcului de cerc este $l=0,418r=125,4\text{mm}$.

Pe baza valorilor de mai sus se obține: $\sigma_{bn} = \frac{N_4}{l \cdot \sum \Phi} = \frac{203,36 \cdot 10^3}{125,4 \cdot 3 \cdot 22} = 24,57 \text{ N/mm}^2$.

Verificarea compresiunilor se face cu relația: $\sigma_{bn} = 20,27 < 0,8R_c = 12 \text{ N/mm}^2$, care nu se verifică.

Relația nu se verifică nici în cazul în care se adoptă în loc de 3Φ22 armături 4Φ25,

$$\sigma_{bn} = \frac{N_4}{l \cdot \sum \Phi} = \frac{203,36 \cdot 10^3}{125,4 \cdot 4 \cdot 25} = 16,21 \text{ N/mm}^2 > 0,8R_c$$

În cazul în care se adoptă 6Φ25, rezultă:

$$\sigma_{bn} = \frac{N_4}{l \cdot \sum \Phi} = \frac{203,36 \cdot 10^3}{125,4 \cdot 6 \cdot 25} = 10,81 \text{ N/mm}^2 < 0,8R_c$$

Se recomandă ca armăturile longitudinale întinse rezultante de 6Φ25 să fie amplasate în mod continuu la partea inferioară a panii fără întreruperea acestora la partea inferioară a vutei.

CAPITOLUL 3

ÎNCERCAREA PE STEND PÂNĂ LA RUPERE A UNOR ELEMENTE PREFABRICATE DE TIP GRINDĂ DIN BETON PRECOMPRIMAT ȘI BETON ARMAT

3.1. ASPECTE GENERALE PRIVIND EFECTUAREA ÎNCERCĂRILOR ELEMENTELOR PREFABRICATE DIN BETON ARMAT ȘI PRECOMPRIMAT

Obiectivul acestui capitol este pe o parte prezentarea încercării grinzii de pod $L=24.00\text{m}$, pasaj DN1 între aeroport Băneasa și pasaj Otopeni, în vederea atestării producției prin încercare pe seria zero și pe de altă parte verificarea prin încercare pe stend până la rupere a comportării panii de beton armat $L=11,45\text{ m}$ Interex Centru Comercial Vaslui, sub încărcări la stări limită de exploatare și de rezistență și în special a comportării zonelor de reazem și de acțiune preponderentă a forței tăietoare [3.1], [3.2], [3.3]. Se menționează faptul că ambele elemente au prezentat secțiuni cu înălțime redusă la reazem.

Încercările statice pe stend, până la rupere asupra elementelor prefabricate din beton armat și beton precomprimat s-au efectuat în anul 2006 și anul 2007, de către firma POPAESCU & CO SRL sub îndrumarea prof. univ. dr. ing. Augustin Popaescu [3.9,3.10.] , cu participarea drd. ing. Cecilia Péntzes (Bartók).

La încercare s-a aplicat îndrumătorul „Indicativ C181-88-Îndrumător pentru *metodologia de încercare a prototipurilor și seriei zero la elementele prefabricate, din punct de vedere al comportării la solicitări statice*” [3.4].

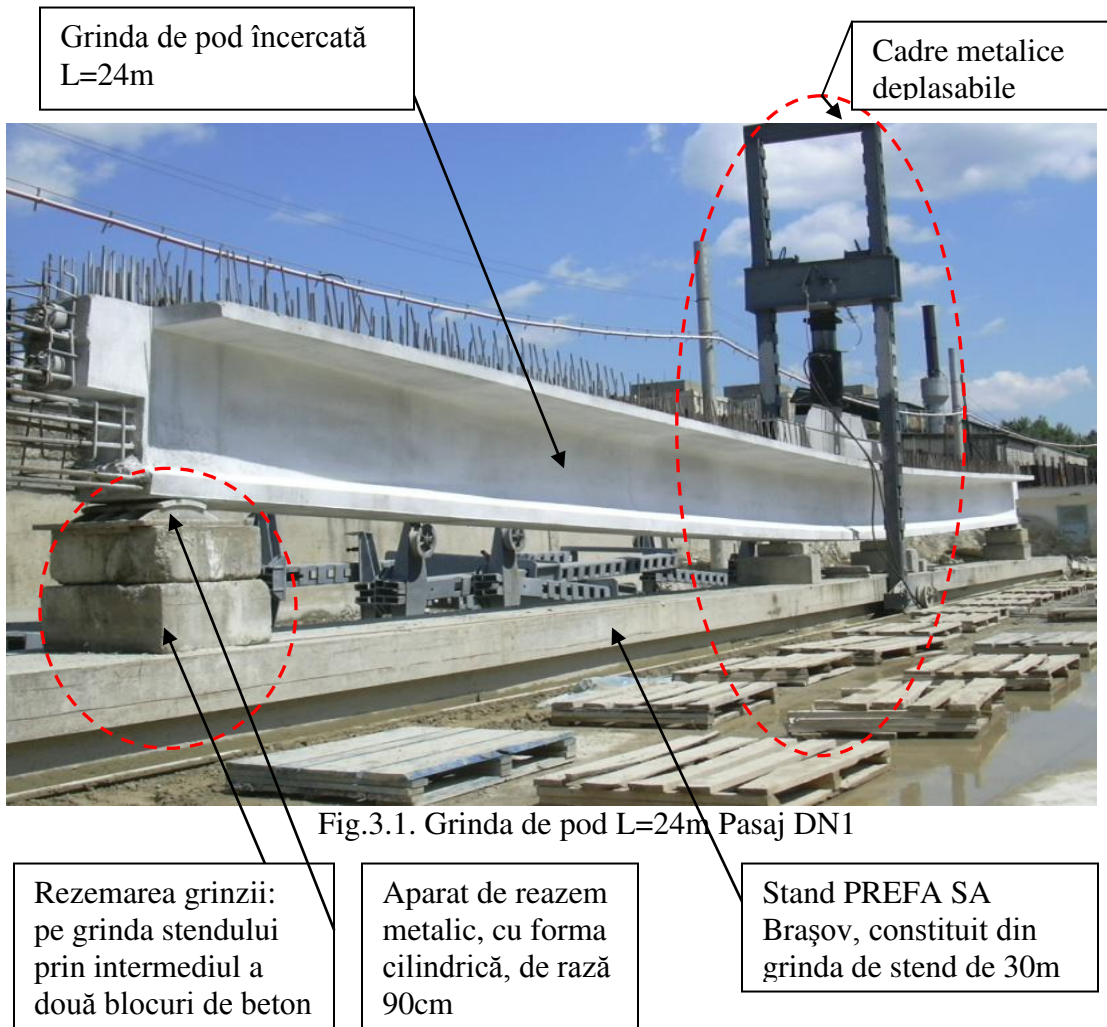
3.2.GRINDA DE POD $L=24\text{ M}$ PASAJ DN1

3.2.1.Obiectul încercării

Încercarea a avut ca temă verificarea comportării grinzii la stările limită de serviciu (ale exploatării normale), respectiv fisurare, deformații și verificarea comportării sub încărcări până la rupere, în vederea atestării producției prin încercare pe seria zero și obținerii de date necesare certificării de conformitate a elementului prefabricat [3.10].

Încercarea pe stend până la rupere a grinzii precomprimate $L=24\text{m}$, pasaj DN1 între aeroport Băneasa și pasaj Otopeni s-a realizat în 2 etape:

-etapa I corespunzătoare stărilor limită de fisurare și deformații; etapa II, până la rupere.



3.2.2. Date generale

Proiectant de specialitate fiind EUROPROIECT SRL, producător firma KOTA KONSTRUCT SA la şantierul Băneasa, iar încercarea grinzii s-a realizat de către SC POPAESCU & CO SRL Bucureşti pe stand PREFA SA Braşov.

3.2.3. Date privind grinda încercată [3.8]

Tema de încercare s-a elaborat pe baza Proiectului de încercare prezentat de EUROPROIECT SRL şi a următoarelor reglementări tehnice , STAS 12313-85 Poduri de cale ferată şi şosea. Încercarea pe stend a elementelor prefabricate din beton, beton armat şi beton precomprimat, STAS 6657/1-89 Elemente prefabricate de beton, beton armat şi beton precomprimat. Condiţii tehnice generale de calitate, C181-88 Îndrumător pentru metodologia de încercare a prototipurilor şi seriei zero la elementele prefabricate, din punct de vedere al comportării la solicitări statice.

3.2.4. Schema de încercare

Încercarea s-a efectuat pe standul PREFEA SA Braşov, constituit din grinda-stand de 30 m şi cadre metalice deplasabile. Experimentul s-a efectuat cu două forţe concentrate la distanţa de 3.0 m, realizate cu o presă hidraulică de 2400 kN, având cursa de 310 mm, în două puncte de încărcare conform schemei de mai jos, printr-o grindă metalică de repartiţie.

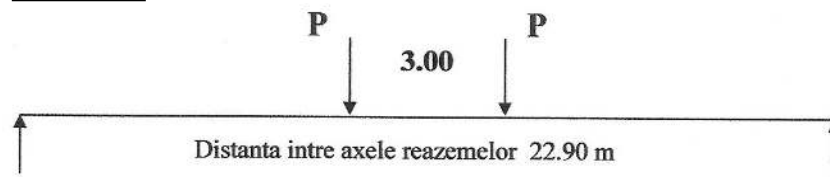
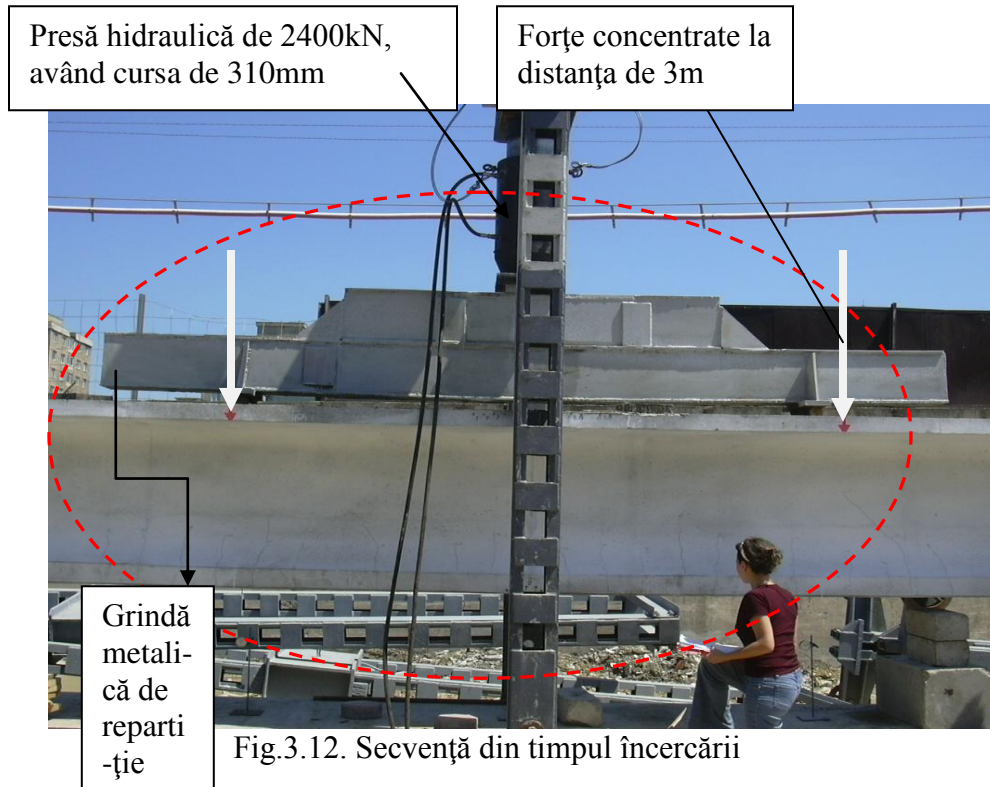


Fig. 3.14.-Schema de încărcare

3.2.5. Rezemări

3.2.6. Măsurători

3.2.7. Rezultatele încercării

3.3.PANA DE BETON ARMAT L=11.45M

Experimentul a avut ca temă verificarea prin încercare pe stend până la rupere a comportării panii sub încărcări la stări limită de exploatare și de rezistență și în special a comportării zonelor de reazem și de acțiune preponderentă a forței tăietoare [3.9].

3.3.1 Date generale

Încercarea s-a efectuat pe un stend adaptat al SOMACO SA Sucursala ROMAN, construit din două tipare ECP 12m, legate în sens transversal cu profile 2U prinse cu sudură și o grindă prefabricată de pod, așezate pe reazeme din beton.



Fig. 3.20.-Pana de beton armat încercată

prese
hidrauli
ce de
1200kN

3.3.2. Date privind pana încercată

Rezemarea panii s-a efectuat prin intermediul a două aparate de reazem, unul fix si altul mobil. Încărcarea panii s-a aplicat static cu două prese hidraulice de 1200kN, având cursa de peste 250mm, în două puncte de încărcare, la o distanță convenabilă pentru a realiza și forța tăietoare maximă.[3.5]

Schema de încărcare: două forțe concentrate la distanța de 2.8 m de axul rezemării.

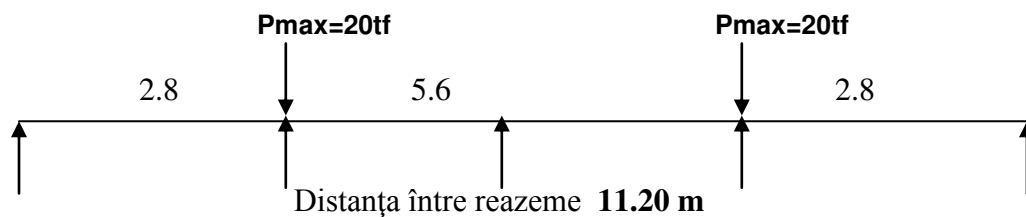


Fig.3.23. schema de încărcare

3.3.3. Măsurători

CAPITOLUL 4

INTERPRETAREA REZULTATELOR EXPERIMENTALE LA ÎNCERCĂRILE ELEMENTELOR PREFABRICATE DIN BETON ARMAT

4.1. INTERPRETAREA REZULTATELOR. GENERALITĂȚI

4.1.1. Regimul de fisurare

4.1.2. Deformațiile

4.1.3. Capacitatea portantă

În interpretarea rezultatelor experimentale la încercările elementelor prefabricate din beton armat este urmărit în primul rând regimul de fisurare și distanța dintre fisuri-experimentală față de cea calculată;

Criterii de admisibilitate la verificarea elementelor din beton armat se bazează pe respectarea anumitor condiții, prezentate în acest subcapitol.

4.2. INTERPRETAREA REZULTATELOR LA ÎNCERCĂRI PE SERIA ZERO ALE ELEMENTELOR PREFABRICATE DIN BETON PRECOMPRIMAT

4.2.1. Apariția fisurilor [4.1]

4.2.2. Închiderea fisurilor [4.12]

4.2.3. Deformațiile [4.1]

4.2.4. Capacitatea portantă [4.1]

Efectuarea încercărilor și interpretarea rezultatelor obținute pe seria zero pentru elemente prefabricate din beton precomprimat se bazează pe respectarea simultană a unor condiții impuse solicitării de rupere experimentală.

4.3. PANA DIN BETON ARMAT

4.3.1. Calculul panii din beton armat

După evaluarea încărcărilor, autoarea tezei a calculat momentul și forța tăietoarea la diferite stări limită. Este important în calculul la *starea limită de rezistență* verificarea prin compararea eforturilor secționale maxime, produse de încărcările de calcul cu eforturile secționale capabile. Calculul la moment încovoietor în secțiune înclinată se face prin verificarea cu relația de echilibru a momentelor în raport cu centru de greutate a zonei comprimate.

Verificarea la starea limită de rezistență la forță tăietoare se face acolo unde are loc modificarea secțiunii transversale a panii adică la partea superioară și inferioară a vutei, precum în zona cu secțiune variabilă.

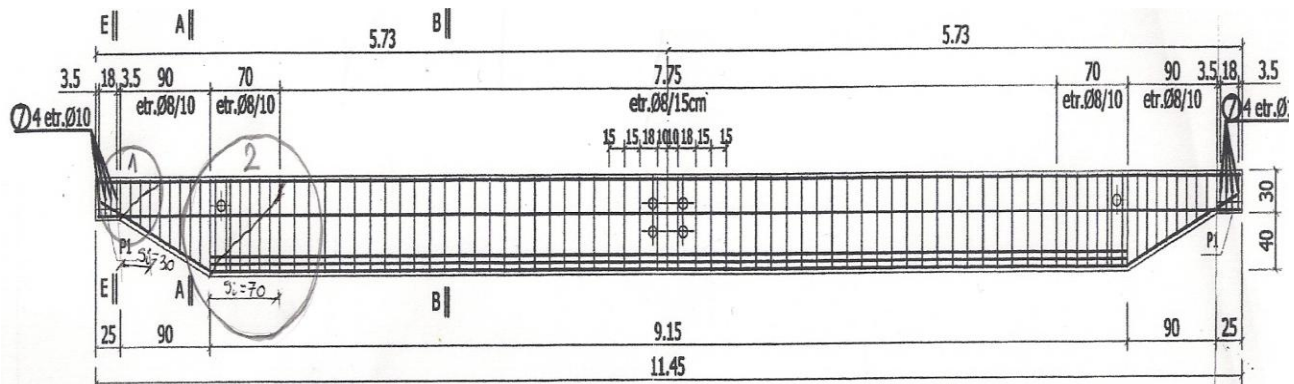


Fig.4.5.

$Q=117,9\text{kN}$ - (forță tăietoare de calcul-vezi tabel nr.1 din Teza de doctorat)

Calculul la forță tăietoare în secțiuni înclinate cu *fisura pornind de la partea superioară* a vutei se face cu relația [4.3]:

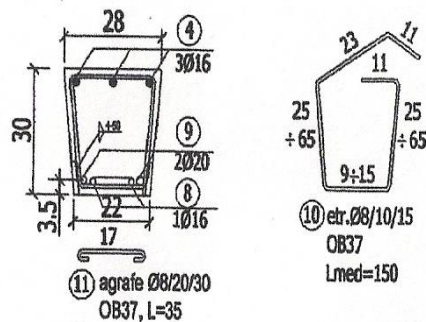


Fig.4.6.a)-Secțiune transversală pană-parte superioară vută(1)-

Nivelul de solicitare la forță tăietoare se caracterizează prin raportul:

$$\bar{Q} = \frac{Q}{A_{bo} R_t} = 1,617$$

-unde $A_{bo}=bh_o$.

R_t :este rezistența de calcul al betonului Bc25 la întindere($=1,10\text{N/mm}^2$).

m_t : este coeficientul condițiilor de lucru și este egal cu: $m_t = \frac{3-\bar{Q}}{2} \leq 1 \rightarrow m_t = 0,69$

- Q_b este forță tăietoare preluată de betonul din zona comprimată, determinată cu relația:

$$Q_b = \frac{bh_o^2 \sqrt{p}}{s_i} m_t R_t = 34,41\text{kN}$$

- unde p este procentul de armare longitudinală din zona întinsă, în dreptul fisurii înclinate.

$$p\% = 100 \frac{A_a}{bh_0} = 0,60 \rightarrow A_a = 4,02 \text{ cm}^2 (2\phi 16)$$

- s_i : proiecția pe orizontală a lungimii fisurii înclinate, care la prima modificare de secțiune este egală cu 30cm.

- n_e : numărul de ramuri a unui etrier.

- A_e : aria secțiunii transversale a unei ramuri a unui etrier, întretăiată de fisura înclinată, egală cu $0,503 \text{ cm}^2$.

$$\sum n_e A_e R_{at} = 3 \times 2 \times 0,503 \times 30000 = 90,54 \text{ kN} \rightarrow Q_{cap} = 34,41 + 90,54 = 124,95 \text{ kN}$$

$$Q (= 117,9 \text{ kN}) \leq Q_{cap} (= 124,95 \text{ kN})$$

În consecință pana verificată rezistă în condițiile de încărcări date.

Pentru calculul la forță tăietoare în secțiuni înclinate cu fisura pornind de la partea inferioară a vutei se utilizează aceleași relații:

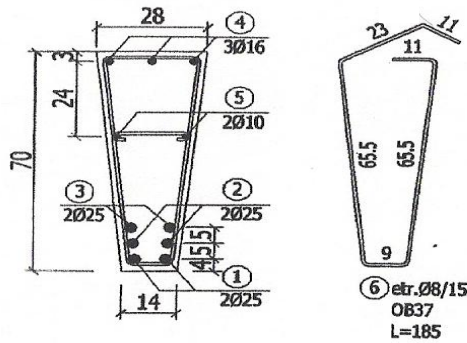


Fig.4.6.b).-Secțiune transversală pană

-partea inferioară vută-(2)

$$A_a = 9,82 \text{ cm}^2 \leftarrow 2\phi 25$$

-se iau în calcul numai 2 bare deoarece celelalte 4 bare au fost întrerupte la partea inferioară a vutei.

$$Q (= 117,9 \text{ kN}) \leq Q_{cap} (= 124,95 \text{ kN}) : \text{partea superioară vută}$$

$$Q (= 117,9 \text{ kN}) \leq Q_{cap} (= 243,42 \text{ kN}) : \text{zona cu secțiune variabilă}$$

$$Q (= 117,9 \text{ kN}) \leq Q_{cap} (= 330,66 \text{ kN}) : \text{partea inferioară vută.}$$

În consecință pana verificată rezistă în condițiile de încărcări date.

$$p = 0,69\% \quad \bar{Q} = \frac{Q}{A_{bo} R_t} = 0,77$$

$$s_i = 70 \text{ cm}$$

$$\text{-în care } m_t = \frac{3 - \bar{Q}}{2} > 1 \rightarrow m_t = 1$$

$$Q_b = \frac{bh_o^2 \sqrt{p}}{s_i} m_t R_t = 119,4 \text{ kN}$$

$$\sum n_e A_e R_{at} = 7 \times 2 \times 0,503 \times 30000 = 211,26 \text{ kN}$$

$$Q (= 117,9 \text{ kN}) \leq Q_{cap} (= 330,66 \text{ kN})$$

În calculul după EC2 a rezistenței la forța tăietoare a panii de beton armat la *partea superioară* (1) a vutei în prima fază s-a determinat forța tăietoare capabilă a elementului fără armătură transversală specifică cu relația[4.4]:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d =$$

$$= 0,12 \cdot 1,87 \cdot (100 \cdot 0,02 \cdot 20,5)^{1/3} \cdot 227 \cdot 265 = 73,88 kN$$

$$V_{Rd,c \min} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 0,406 \cdot 227 \cdot 265 = 24,42 kN$$

$$V_{Ed} = 117,9 kN > V_{Rd,c} = 73,88 kN$$

Unghiul Θ trebuie limitat: $1 \leq \text{ctg} \Theta \leq 2,5$ [4.14].

Se calculează capacitatea portantă a diagonalelor comprimate de beton $V_{Rd, \max}$ în funcție de tipul de armătură utilizată și valoarea maximă a $\text{ctg} \Theta = 2,5$ [4.9]:

$$V_{Rd, \max} = \alpha_{cw} b_w z v_l f_{cd} / (\text{ctg} \theta + \text{tg} \theta)$$

$$V_{Rd, \max} = 1 \cdot 227 \cdot 238,5 \cdot 0,54 \cdot 15 / 2,9 = 151,22 kN$$

-se verifică $V_{Ed} \leq V_{Rd, \max}$, inegalitate care este satisfăcută, drept consecință dimensiunile secțiunii de beton sunt corespunzătoare.

Se determină forța tăietoare de calcul care poate fi preluată de armătura pentru forța tăietoare,

la curgere:
$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg} \theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{2 \cdot 0,503 \cdot 100}{100} \cdot 238,5 \cdot 210 \cdot 2,5 = 125,96 kN$$

-calculul după modelul grinzii cu zăbrele se bazează pe ipoteza că ruperea se poate produce fie prin cedarea armăturilor transversale întinse ($V_{Rd} = V_{Rd,s}$), fie prin zdrobirea betonului din diagonalele comprimate ($V_{Rd} = V_{Rd, \max}$) Pentru asigurarea unei rupei ductile este necesar să fie satisfăcută $V_{Rd,s} \leq V_{Rd, \max}$

Forța tăietoare capabilă a panii armată cu etrierii verticali $\Phi 8$ este valoarea cea mai mică dintre

$$(V_{Rd,s}; V_{Rd, \max}) = 125,96 kN \text{ și } V_{Ed} = 117,9 kN < 125,96 kN$$

În calculul după EC2 a rezistenței la forța tăietoare a panii de beton armat la *partea inferioară* (2) a vutei în prima fază s-a determinat forța tăietoare capabilă a elementului fără armătură transversală specifică cu relația[4.4]:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d = 0,12 \cdot 1,55 \cdot (100 \cdot 0,01 \cdot 20,5)^{1/3} \cdot 147 \cdot 660 = 49,38 kN$$

$$V_{Ed} = 117,9 kN > V_{Rd,c} = 49,38 kN$$

Se calculează capacitatea portantă a diagonalelor comprimate de beton $V_{Rd, \max}$ în funcție de tipul de armătură utilizată și valoarea maximă a $\text{ctg} \Theta = 2,5$ [4.9]:

$$V_{Rd, \max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} / (\text{ctg} \theta + \text{tg} \theta)$$

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot 147 \cdot 594 \cdot 0,54 \cdot 15 / 2,9 = 243,88kN$$

-se verifică $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$, inegalitate care este satisfăcută, drept consecință dimensiunile secțiunii de beton sunt corespunzătoare.

-se verifică poziția forței tăietoare de calcul față de limitele:

$$V_{Ed,c} \leq V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \rightarrow 49,26kN < 117,9kN < 243,88kN$$

-valoarea forței tăietoare de calcul nu se află între limita inferioară și aproximativ jumătatea domeniului așadar $\text{ctg}\theta$ se determină cu relația[4.9]:

$$\text{ctg}\theta = \frac{1,2}{1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{Ed}}} = \frac{1,2}{1 - \frac{49,38}{117,9}} = 2,07$$

-se va considera între 1,0 și 1,75.

Se determină forța tăietoare de calcul care poate fi preluată de armătura pentru forță tăietoare, la curgere:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{2 \cdot 0,503 \cdot 100}{100} \cdot 594 \cdot 210 \cdot 1,75 = 219,60kN$$

Forța tăietoare capabilă a panii armată cu etrierii verticali $\Phi 8$ este valoarea cea mai mică dintre

$$(V_{Rd,s}; V_{Rd,max}) = 219,60kN, V_{Ed} = 117,9kN < 219,60kN$$

Concluzii:

Pana calculată rezistă după reglementările vechi și cele aflate în vigoare la acțiunea forței tăietoare în condițiile de încărcări date.

4.3.2.Rezultatele încercării paniei

În continuare se prezintă valorile experimentale comparate cu valori de control.

$$M_r^{\text{exp}} = 64,4\text{tfm};$$

$$M_{cap}^{SLR} = 45,06 \text{ tfm (calculat pentru armarea } 6\Phi 25 \text{ –PC 52 și beton Bc 30, prevăzut la execuție)}$$

$$\text{-raportul } \frac{M_r^{\text{exp}}}{M_{cap}^{SLR}} \text{ a rezultat } 1,429 > 1,4, \text{ condiție de acceptare } \frac{M_r^{\text{exp}}}{M_{cap}^{SLR}} \geq c [4.1].$$

$$T_r^{\text{exp}} = 23,0\text{tf};$$

$$T_{cap}^{SLR} (=14,70 \text{ tf, calculat pentru 3 etrieri } \Phi 8 \text{ și beton Bc 30, prevăzut la execuție})$$

-raportul $\frac{T_r^{\text{exp}}}{T_{cap}^{SLR}}$, a rezultat 1.56 condiție de acceptare [4.1].

Primele fisuri au apărut la treapta $0.9 P^E$ (1), fiind marcate în continuare la treptele :9 tf(2), 12.7tf(3), 17.4tf(4), 20.2tf(5).

-la treapta (4) s-a măsurat deschiderea medie a fisurilor normale **0.35mm** (α_f)

-la treapta (5) fisurile înclinate, care pornesc de la partea inferioară a vutei, în punctul de întrerupere a celor 4 bare longitudinale, au prezentat o **deschidere peste 2.0mm** $\alpha_{fi,experiment} > \alpha_{fi,calc}$.

Pana a fost încărcată în continuare până la forța $P=21$ tf, încărcare la care săgeata la mijlocul deschiderii a măsurat 132.6mm , reprezentând 1/84.4 din deschidere (*se poate opri încercarea atunci când se atinge o săgeată egală cu cel puțin valoarea 1/50 din deschidere*) , iar momentul maxim M_r^{exp} a reprezentat 1.429 M_{cap}^{SLR} calculat pentru armarea 6Φ25 –PC 52 și beton Bc 30.

Nu au apărut avarii sau deteriorări în afară de deschiderea de peste 2mm a fisurilor înclinate care pornesc de la partea inferioară a vutei, în punctul de întrerupere a celor 4 bare longitudinale. [4.15] [4.16]

În concluzie rezultatele încercării au arătat o comportare corespunzătoare a panii proiectate de PROCEMA Engineering SRL cu beton clasa Bc25 și executată de SOMACO SA Sucursala ROMAN, cu beton clasa Bc 30(C25/30).

Se recomandă ca la proiectarea unor pane asemănătoare să se aibă în vedere o ancorare mai bună a barelor întrerupte la schimbarea direcției la vută și a barelor înclinate pe reazem.

4.4. GRINDA PRECOMPRIMATĂ L=24M, PASAJ DN1

4.4.1. Calculul grinzii precomprimate

Calculul în secțiuni înclinate fisurate la acțiunea forțelor tăietoare s-a făcut cu relația (130) din STAS 10107/0-90 și $Q_{cap}=2043,37\text{kN} > Q=300,37\text{kN}$.

Comportarea grinzii la stările limită ultime arată că relațiile de verificare sunt satisfăcute în exces, ca urmare a proiectării pentru condiții de săgeata în exploatare.

4.4.2. Interpretarea rezultatelor încercării grinzii pasaj DN1

Încercarea pe stend până la rupere a grinzii precomprimate s-a realizat în 2 etape. Rezultatele obținute sunt:

Etapa I

Apariția fisurilor s-a produs la $P = 158 \text{ kNm}$, respectiv $\Delta M = 1594 \text{ kNm} > 1500 \text{ kNm}$ (valoarea de control).

Redeschiderea fisurilor s-a produs la $P = 132 \text{ kN}$, $\Delta M = 1313 \text{ kNm}$, $M = 1838 \text{ kNm}$. $\Delta M = 1313 \text{ kNm}$ a reprezentat 0.96 din $M_{dec} - M_g = 1370 \text{ kNm}$.

La $0.98 M_{capSLR}$ $\alpha_f = 0.1 - 0.15 \text{ mm}$. La această încărcare săgeata a măsurat **38.5 mm** ($1/600$) **< 44.7 mm**.

Săgeata remanentă a fost de 3.8% din săgeata la acest ciclu.

Etapa II

La forța $P = 307 \text{ kN}$, $\Delta M = 3055 \text{ kNm}$, $M = 3579 \text{ kNm}$, **săgeata** a măsurat **208 mm** ($1/110$), iar fisurile au atins **1.5 mm- primul criteriu de cedare**.

La descărcare, săgeata remanentă a fost 20 mm.

$P_r = 340 \text{ kN}$, $\Delta M_r = 3383 \text{ kNm}$, $M_r = 3907 \text{ kNm}$.

La această încărcare săgeata la mijlocul deschiderii a fost $1/78$ din deschidere, iar momentul maxim $M_r = 3907 \text{ kNm}$ a reprezentat $1.61 M_{capSLR}$.

Al doilea criteriu de cedare îl reprezintă $f_r = 1/78 L$ și $M_{r \min} = 1.6 M_{capSLR}$.

Rezultatele încercării au arătat o comportare corespunzătoare a grinzii, fără a avea sensibilități întrucât nu au apărut efecte defavorabile ale forței tăietoare, ancorării armăturilor, atingerii deformațiilor limită în armătură și beton, atestând modul de realizare a grinzii în condițiile tehnologice ale firmelor producătoare[4.18].

CAPITOLUL 5

SPORIREA REZISTENȚEI GRINZILOR DIN BETON ARMAT LA FORȚĂ TĂIETOARE

5.1. INTRODUCERE

Rezistența de calcul deficitară în preluarea forței tăietoare poate fi, pe lângă influența dăunătoare a mediului agresiv și rezultatul creșterii încărcărilor de exploatare dar și apariției codurilor de proiectare din ce în ce mai severe, riguroase. Oricare ar fi cauza degradărilor, necesitatea de a realiza lucrările de intervenții de reparații structurale și/sau consolidare este din ce în ce mai mare pe plan internațional. Deoarece costurile de reparare/consolidare sunt foarte mari este nevoie de alegerea unei soluții cât mai optime și din punct de vedere structural dar și economic.

5.2.METODE GENERALE FOLOSITE LA SPORIREA REZISTENȚEI GRINZILOR DIN BETON ARMAT LA FORȚĂ TĂIETOARE

Deficitul de rezistență la forță tăietoare se corectează prin adaos de material structural pe suprafața laterală a elementelor, operație denumită curent cămășuire. Cămășuielile se pot realiza din beton armat, oțel sau polimeri armați cu fibre [5.1].

5.3. ÎNCERCĂRI REALIZATE PE PLAN INTERNAȚIONAL ÎN VEDEREA REDUCERII COSTURILOR DE CONSOLIDARE A GRINZILOR CU REZISTENȚĂ SCĂZUTĂ LA FORȚĂ TĂIETOARE

Materialele compozite polimeri armați cu fibre (FRP) au căpătat un interes deosebit în repararea și/sau consolidarea elementelor structurale din beton armat (stâlpi, grinzi, etc).

Aplicarea acestor materiale, prin *înfășurarea continuă*, pentru repararea și/sau consolidarea construcțiilor existente este o tehnică veche, folosită pentru îmbunătățirea performanțelor structurale a construcțiilor din beton armat. În deceniul trecut, studiile realizate în domeniul consolidării elementelor la acțiunea forței tăietoare au avut în vedere înfășurarea elementelor din beton armat cu materiale compuse distanțate.

Autoarea analizează mai multe experimente realizate pe plan internațional, dintre care cele mai concludente sunt:

1. Studiu realizat în cadrul Universității Putra, secție Inginerie Civilă din Malaysia care a exemplificat sporirea rezistenței la forță tăietoare al celor 8 grinzi de beton armat cu secțiune T prin aplicarea cămășuielii cu benzi FRP situate la distanțe finite (înfășurare la distanța de 150mm sau 200mm), cu benzi bidirecționale din Țesături din Fibre de Carbon (CFF). [5.2]

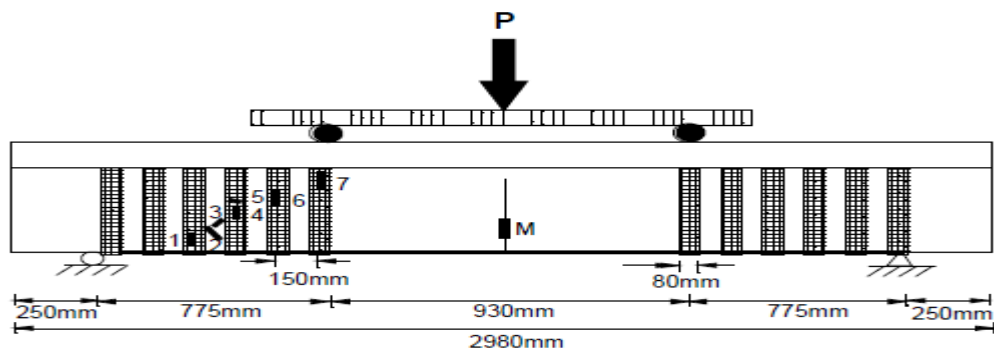


Fig.5.16.A Exemplarul TT1-1, TS1-1, TS1-11

2. Un alt experiment realizat în cadrul Universității din Cambridge, Trumpington St. atestă posibilitatea aplicării benzilor subțiri (curele) din polimeri armați cu fibre de carbon (CFRP) ca elemente de armături exterioare la forță tăietoare. [5.3]

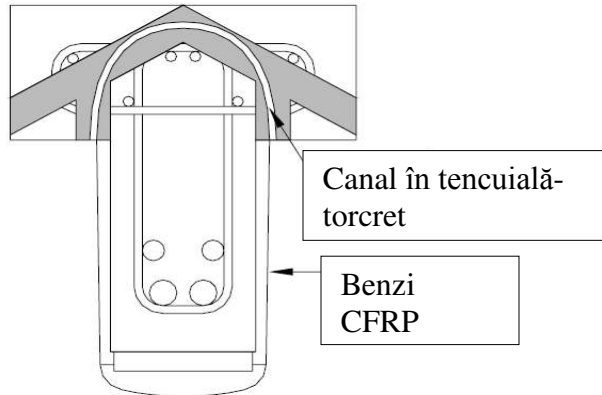


Fig.5.18. Configurația benzilor în tencuială

Sporirea rezistenței la forță tăietoare a elementelor de beton armat prin folosirea materialelor compuse, a fost cercetată prin încercări realizate în cadrul mai multor programe. S-au încercat într-un număr mai mare elemente cu secțiune transversală dreptunghiulară. În mare parte a cazurilor capacitatea materialelor compuse este cercetată prin încercarea grinzilor simplu rezemate, în timp ce grinzile sunt supuse la încărcări monotone. Într-un număr limitat s-au încercat grinzile încastrate precum și cele continue. Trebuie subliniat faptul că încercările efectuate pe grinzile simplu rezemate nu aduc informații despre anumite aspecte majore legate de consolidarea grinzilor continue la forță tăietoare (expl. zonele critice la forță tăietoare -aproape de reazem).

3. În cadrul studiilor efectuate pe grinzile T, consolidate prin țesături de FRP, supuse la încărcări ciclice realizate în cadrul Laboratorului de beton armat din Universitatea Tehnică Națională din Atena, Grecia, grinzile au avut secțiune transversală T imitând zonele critice[5.6]

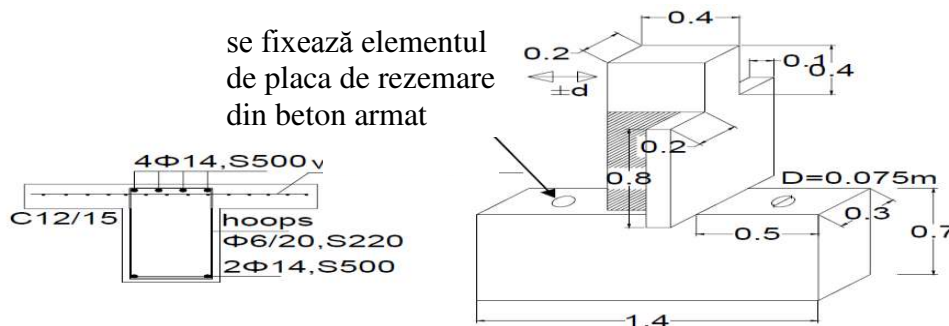


Fig.5.19. Mod de armare și procedura de încercare a grinzilor

5.4. CALCULUL CONSOLIDĂRII CU COMPOZITE

Se prezintă verificarea la forță tăietoare după normative de calcul internaționale, considerate reprezentative:

1. ACI 318-05, *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structure*, American Concrete Institute[5.8]:

Calculul la forță tăietoare se realizează prin folosirea factorului de reducere al rezistenței ϕ și verificând relația[5.8].: $\phi \cdot V_n \geq V_u$.

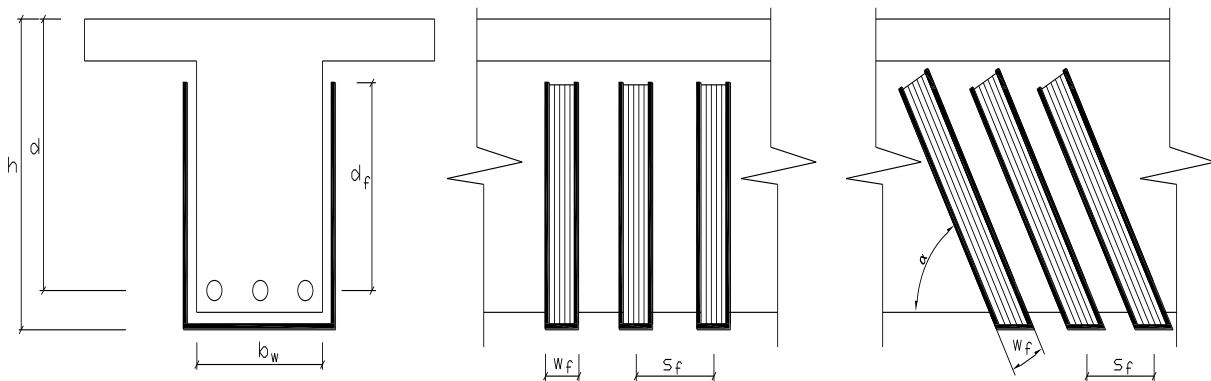


Fig. 5.20. Variabilele folosite în calculele de consolidare la forță tăietoare[5.7]

Unde : ϕ -factor de reducere al rezistenței;

V_u -forță tăietoare din încărcări;

V_n -forță tăietoare rezistentă nominală: $V_n = V_c + V_s + \psi_f \cdot V_f$

2. Raport 14 al fib TG 9.3 -*Externally Bonded FRP Reinforcement For RC Structures*[5.9]:

Capacitatea portantă la forță tăietoare a elementului de beton armat la S.L.U. [5.9]:

$$V_{Rd} = \min(V_{cd} + V_{wd} + V_{fd}; V_{Rd2})$$

3. CNR-DT 200/2004: *Guide for the design and construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures*, july 13,2004[5.10]:

Capacitatea portantă la forță tăietoare a elementului de beton armat:

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,ct} + V_{Rd,s} + V_{Rd,f}, V_{Rd,max}\}$$

CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE

În cadrul tezei s-au studiat, cercetat, cele patru obiective formulate la început, iar în continuare se prezintă concluziile obținute pentru fiecare obiectiv în parte.

6.1. SINTEZA STUDIILOR ȘI CERCETĂRILOR EFECTUATE ÎN CADRUL TEZEI PRIVIND CALCULUL LA FORȚĂ TĂIETOARE A GRINZILOR DE BETON ARMAT ȘI PRECOMPRIMAT DUPĂ REGLEMENTĂRILE TEHNICE ÎNLOCUITE ȘI CELE AFLATE ÎN VIGOARE

Autoarea tezei de doctorat intitulată: "Calculul și comportarea la forță tăietoare a elementelor din beton armat și precomprimat", a realizat cercetarea teoretică a calculului și comportarea elementelor liniare din beton armat și precomprimat la acțiunea forței tăietoare atât pe plan național cât și internațional.

În urma documentării s-au concretizat următoarele concluzii:

- EC 2 dă libertate în luarea deciziilor asupra mărimii lui Θ : unghiul între biela comprimată și axul grinzii, perpendicular pe direcția forței tăietoare. În normele românești unghiul Θ nu are o valoare fixă. Scopul EC2, pe lângă evaluarea încărcărilor și dimensionarea elementelor, este pronunțarea esenței proiectării de către inginerul constructor: luarea în considerare a eventualelor soluții și alegerea soluției cea mai practică și economică. În timpul proiectării se pot concepe diferite modele de calcul/alcătuire și după verificare cu ajutorul unui program de calcul, și analiza cheltuielilor, se poate ajunge la soluția optimă. De exemplu: în alegerea unghiului bielei comprimate trebuie să se aleagă între cele 2 posibilități: procent de armătură transversală mai mare și cel longitudinal mai mic (în caz de $\Theta=45^\circ$) sau invers (expl. $\text{ctg}\Theta=2$)[2.7].

- Standardele și reglementările românești pentru calculul elementelor din beton armat se bazează pe ipoteza secțiunilor plane, însă această ipoteză nu este aplicabilă în multe situații (de expl. console scurte, variații bruște de secțiune, forțe concentrate cu intensități semnificative, etc.) iar standardele europene în vigoare prezintă o modalitate de rezolvare a acestor cazuri prin procedeul modelelor de bare, care generalizează analogia cu grinda cu zăbrele în proiectarea structurilor și elementelor structurale din beton. [2.4]

- EC2 prezintă metode relativ simple, generale, cu regurile și limitările lor pentru calculul rezistenței elementelor la acțiunea forței tăietoare, care verifică limita inferioară a domeniului plastic, dar așa cum Regan a specificat, în cazul unui model simplificat (general), apare necesitatea neglijării anumitor factori, care se consideră secundari. Orium factorul considerat într-un caz secundar, poate fi principal în celălalt caz. [1.8]

- Rezultatele obținute după calculele efectuate după EC2 pot fi ușor neacoperitoare pentru

elemente puternic armate la forța tăietoare și prea acoperitoare pentru grinzile slab armate, deoarece nu este luată în considerare contribuția betonului. [1.8]

- Beneficiul precomprimării nu este luat în considerare în EC2, datorită simplității excesive a modelului, dar poate fi considerat ca în normele românești [1.3], [1.4].

- Formulele din cadrul reglementărilor tehnice, eurocodurile, lucrări publice (ENV 1992-1-1:1991, EC-2 prEN 1992-1-1:2003, ACI 318-02 Code (American Concrete Institute. *ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. ACI, Farmington Hills)), lucrare cu comentarii publice al CSA (CSA Committee A23.3. *Design of Concrete Structures*. Public review draft, Canadian Standards Association, Rexdale, ON, September 2003,p.233) oferă corelații mai bune cu teste empirice realizate pe plan internațional față de EC-2. [1.8]

- Modelul cu zăbrele propune un răspuns liniar (fără contribuția betonului) până în momentul în care cedarea este determinată de zdrobirea bielelor comprimate. Acest fapt conduce la rezultate conservatoare (acoperitoare) când este comparat cu rezultate experimentale pe grinzi slab armate și puțin neconservatoare (neacoperitoare) în cazul elementelor puternic armate la forța tăietoare. [1.8]

6.2. ANALIZA MODELULUI BIELĂ ȘI TIRANT

În cadrul tezei s-a analizat evoluția concepției de proiectare a grinzilor de beton armat/precomprimat la forța tăietoare, bazat pe modelul biele și tiranți, începând din anul 1899 când Wilhelm Ritter a dezvoltat un mecanism de grindă cu zăbrele pentru a explica contribuția armăturii transversale în acțiunea forței tăietoare la grinzile din beton armat, continuând cu modelul redefinit de Mörsch în 1902, ajungând la concluzia că modelul de calcul introdus de EC2 este un model studiat încă din secolul al XIX-lea.

După analiza metodei biele și tiranți s-au formulat următoarele concluzii:

- aplicarea metodei biele și tiranți necesită justificare inginerescă și experiență acumulată în decursul timpului în luarea deciziilor privind utilizarea modelelor în mod corespunzător sau chiar combinarea a două modele pentru a ajunge la un rezultat optim atât din punct de vedere tehnic cât și economic.
- analiza eforturilor și reprezentarea grafică a traiectoriei eforturilor elastice pentru încărcarea dată, precum prezentarea modelului biele și tiranți, bazat pe reprezentarea grafică a eforturilor și analiza statică a modelului cere muncă multă și repetarea

operațiilor de calcul de mai multe ori, fapt care conduce la un timp îndelungat destinat calculelor.

6.3. SINTEZA CERCETĂRILOR EXPERIMENTALE PRIN ÎNCERCARE PE STEND PÂNĂ LA RUPERE A UNOR ELEMENTE PREFABRICATE DE TIP GRINDĂ DIN BETON PRECOMPRIMAT ȘI BETON ARMAT

1.) Încercarea pe stend până la rupere a grinzii precomprimate, de pod, $L=24\text{m}$, pasaj DN1 între aeroport Băneasa și pasaj Otopeni, a avut ca temă verificarea comportării grinzii la stările limită de serviciu (ale exploatarei normale), respectiv fisurare, deformații și verificarea comportării sub încărcări până la rupere, în vederea atestării producției prin încercare pe seria zero și obținerii de date necesare certificării de conformitate a elementului prefabricat [3.10]. Încercarea a fost efectuată de Firma POPAESCU & CO SRL, București, cu participarea autoarei.

Autoarea tezei a efectuat verificarea grinzii la stările limită ultime și rezultă că aceste relații de verificare sunt satisfăcute în exces, ca urmare a proiectării pentru condiții de săgeata în exploatare.

Comportarea *grinzii precomprimate $L=24\text{ m}$, pasaj DN1*, a fost corespunzătoare din punct de vedere al condițiilor de acceptare cerute prin STAS 6657/1-89 *Elemente prefabricate de beton, beton armat și beton precomprimat. Condiții tehnice generale de calitate* și C 181-88 *Îndrumător pentru metodologia de încercare a prototipurilor și seriei zero la elementele prefabricate, din punct de vedere al comportării la solicitări statice*, precum prin Stas 12313-85 *Poduri de cale ferată și șosea. Încercarea pe stend a elementelor prefabricate din beton, beton armat și beton precomprimat*[4.18].

2.) Încercarea panii de beton armat $L=11.45\text{m}$, a avut ca temă verificarea prin încercare pe stend până la rupere a comportării panii sub încărcări la stări limită de exploatare și de rezistență și în special a comportării zonelor de reazem și de acțiune preponderentă a forței tăietoare[3.9].

Autoarea a efectuat verificările prin calcul la diferite stări limită (starea limită de rezistență, starea limită de deschidere a fisurilor, starea limită de deformație) a panii după STAS 10107/0-90, respectiv verificarea la forță tăietoare după EC2.

Se recomandă ca la proiectarea unor pane asemănătoare să se aibă în vedere o ancorare mai bună a barelor întrerupte la schimbarea direcției la vută și a barelor înclinate pe reazem.

Valoarea deschiderii medii a fisurilor înclinate, care pornesc de la partea inferioară a vutei, în punctul de întrerupere a celor 4 bare cu diametrul 25mm, după calculele autoarei, este mai mare decât

valoarea admisibilă, fapt care trebuie subliniat și luat în considerare în proiectarea unor elemente similare.

6.4. METODE FOLOSITE LA SPORIREA REZISTENȚEI GRINZILOR DIN BETON ARMAT LA FORȚĂ TĂIETOARE

Autoarea analizează mai multe experimente realizate pe plan internațional la care aplicarea materialelor compozite se face prin *înfășurare distanțată*, dintre care cele mai concludente sunt:

1. Studiu realizat în cadrul Universității Putra, secție Inginerie Civilă din Malaysia care a exemplificat sporirea rezistenței la forță tăietoare al celor 8 grinzi de beton armat cu secțiune T prin aplicarea cămășuielii cu benzi FRP situate la distanțe finite (înfășurare la distanța de 150mm sau 200mm), cu benzi bidirecționale din Țesături din Fibre de Carbon (CFF) [5.2].

Următoarele *concluzii* s-au formulate pe baza analizei experimentului realizat pe grinzile T de beton armat:

- Sporul de forță tăietoare în cazul exemplarelor prefisurate/întărite inițial a fost de la 20% la 61% peste grinda control,

- Sporirea armăturilor longitudinale elastice, influențează rezistența la forță tăietoare a grinzilor consolidate,

- Exemplarele întărite/reparate cu benzile CFF au avut o cedare din încovoiere. Această cedare prematură din încovoiere a condus la îmbunătățirea comportării ductile a grinzilor întărite[5.2].

2. Experimentul realizat în cadrul Universității din Cambridge, Trumpington St., Cambridge care atestă posibilitatea aplicării benzilor subțiri din polimeri armați cu fibre de carbon (CFRP) ca elemente de armături exterioare la forță tăietoare, printr-o tehnică de instalare care includea găuri forate în grinzi în așa fel încât banda să formeze o buclă închisă.

Experimentele realizate în acest sistem au pus în evidență o creștere al capacității la forță tăietoare de peste 22% față de grinzile neconsolidate, echivalente și o creștere a ductilității[5.3].

3. Experimentele efectuate pe grinzile cu secțiune transversală T, consolidate prin țesături de FRP, supuse la încărcări ciclice s-au realizat în cadrul Laboratorului de beton armat din Universitatea Tehnică Națională din Atena, Grecia. S-a ajuns la concluzia că modificarea modului de cedare la forță tăietoare la cedare la moment încovoietor, conduce la o creștere a capacității de rezistență a grinzilor, așa cum este determinat de capacitatea de rezistență la încovoiere a elementului neconsolidat. [5.6]

Autoarea tezei subliniază diferențele în verificarea la forță tăietoare după normative de calcul internaționale, considerate reprezentative în tabelul de mai jos:

Tabel. 5.4.

	<i>Raportul 14 al fib/2001</i>	<i>ACI 440.2R-08</i>	<i>CNR-DT 200/2004</i>
Limitarea deforma- -ției specifice în compozit ($\varepsilon_{f,e}$)	$\varepsilon_{fe} = 0.006$	$\varepsilon_{fe} = 0.004$	$\varepsilon_{f,max} = 0.005$
Reducerea contri- buției compozitului la forța tăietoare	-	-se folosește factorul de reducere: ϕ	-
Calcul în Starea Limită	S.L.U.+S.L.E.N.	S.L.U.	S.L.U.
Limitarea armării la tăiere	Nu se limitează	$V_s + V_f \leq 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$	Nu se limitează
Fenomenul de desprindere a compozitului este evitat prin	Limitarea deformației specifice a compozitului	Limitarea deformației specifice efective a compozitului	Limitarea variației eforturilor din compozit

6.5. CONTRIBUȚII PERSONALE

Contribuțiile personale rezultate din cercetarea teoretică și din programul experimental, referitoare la comportarea la acțiunea forței tăietoare a elementelor liniare din beton armat și precomprimat sunt:

-rezultatele obținute cu calculele efectuate după EC2 pot fi ușor neacoperitoare pentru elemente puternic armate la forța tăietoare și prea acoperitoare pentru grinzile slab armate, deoarece nu este luată în considerare contribuția betonului;

-în proiectarea grinzilor cu alcătuiuri speciale la acțiunea forței tăietoare este nevoie de experiență profesională;

-aplicarea metodei biele și tiranți necesită justificare inginerască și experiență acumulată în decursul timpului în luarea deciziilor privind utilizarea modelelor în mod corespunzător sau chiar

combinarea a mai multor modele pentru a ajunge la un rezultat optim atât din punct de vedere tehnic cât și economic;

-pentru grinda de pod $L=24.00\text{m}$, pasaj DN1, între aeroportul Otopeni și Băneasa au fost realizate încercări privind verificarea comportării grinzii la stările limită de serviciu (ale exploatării normale), respectiv fisurare, deformații și verificarea comportării sub încărcări până la rupere, în vederea atestării producției prin încercare pe seria zero și obținerii de date necesare certificării de conformitate a elementului prefabricat;

-pentru pană de beton armat $L=11,45\text{m}$, Interex Centru Comercial Vaslui, au fost realizate încercări pentru verificarea pe stend până la rupere al comportării panii sub încărcări la stări limită de exploatare și de rezistență și în special al comportării zonelor de reazem și de acțiune preponderentă a forței tăietoare;

-aplicarea materialelor compuse la grinzile de beton armat cu armături insuficiente la forța tăietoare este o cale eficientă de a îmbunătăți comportamentul lor seismic.

Autoarea a publicat sau comunicat rezultatele parțiale ale studiilor experimentale efectuate, după cum urmează:

- *Bartók (Pénzes) C., Verificarea experimentală prin încercare pe stend până la rupere a comportării unor prefabricate din beton armat, Referat nr.2 elaborat în cadrul proiectului de cercetare cu tema " Calculul și comportarea la forță tăietoare a elementelor din beton armat și precomprimat", Universitatea Ovidius Constanța, 2008;*

- *Popaescu A., Deaconu O., Bartók (Pénzes) C., Încercarea pe stend până la rupere a unor elemente prefabricate de tip grindă din beton precomprimat și beton armat, Conferința "Structuri prefabricate din beton în centrul și estul Europei", 8-9 noiembrie 2007 Cluj-Napoca;*

- *Bartók (Pénzes) C., Study on test results of breaking point trials of prefabricated beam elements made of precompressed and reinforced concrete, Ovidius University Annals of Constanța, Series Civil Engineering, 2008.*

Recomandări pentru direcții viitoare de cercetare:

- studii experimentale referitoare la capacitatea portantă la forță tăietoare a grinzilor continue de beton armat;
- urmărirea comportării grinzilor cu deficit de rezistență la forța tăietoare care au suferit lucrări de intervenții de tip consolidare.

Referințe bibliografice

- [1.1] [4.2] Agent R., Dumitrescu D., Postelnicu T.- *Îndrumător pentru calculul și alcătuirea elementelor de beton armat. Comentarii la prevederile prescripțiilor de proiectare. Scheme logice, tabele ajutătoare și exemple de calcul. Prescripții și detalii de alcatuire constructivă. Editura Tehnică București 1992;*
- [1.2] [2.8] Nicula I., Oneț T.-*Beton Armat. Editura Didactică și Pedagogică București. Ediția 1982;*
- [1.3] [4.12] Dumitrescu D. și Popăescu A.-*Beton precomprimat, Editura Academiei Române, 1978;*
- [1.4] [4.3] STAS 10107/0-90, *Calculul și alcătuirea elementelor structurale din beton, beton armat, beton precomprimat;*
- [1.5] Kollár L., Dulácska E.- "*Ívhatás figyelembevételére vasbeton gerendákban az Eurocod 2 szerint*" (*Importanța mecanismului de arc în grinzile de beton armat după Eurocod 2*), articol din revista de specialitate *Vasbetonépítés*, 2009-3;
- [1.6] [2.3] [4.4] SR EN 1992-1-1 Eurocod 2: *Proiectarea structurilor de beton, Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri, iunie 2006;*
- [1.7.] [2.6] [4.9] Kiss Z., Oneț T.-*Proiectarea structurilor de beton după SR EN 1992-1, 2008;*
- [1.8] Cladera A. și Mari R.-*Shear strength in the new Eurocode2. A step Forward?(Forța tăietoare în noul EC2. Un pas înainte?), Structural Concrete.2007. 8.No2;*
- [2.1] Barney T. Martin, Jr., Ph.D, P.E. *Modjeski and Masters: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)-Verification and Implementation of Strut-and-Tie Model in LRFD Bridge Design Specifications, november 2007;*
- [2.2] Brown, Michael D. Bayrak, Oguzhan- *Design of Deep Beam Using Strut and Tie Models Part I: Evaluating U.S. Provisions;*
- [2.4] Clipii T., Stoian V., Pintea D., Fekete-Nagy L., Sas G.-*Calculul elementelor din beton armat. Metode clasice și alternative, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2007 ;*
- [2.5] FIP[CEB-FIP] *Practical design of structural concrete. (chapter 6.5. Design of discontinuity regions), september 1990;*
- [2.7] Stoian V., Clipii T., Pintea D, -*Proiectarea elementelor din beton armat folosind metode alternative-Conferința din Cluj Napoca, Structuri Prefabricate din Beton în centrul și estul Europei, 2007;*
- [2.9] fib *Bulletin 3:Structural Concrete-Textbook on behaviour, design and performance, vol. 3;*

- [2.10] Schlaich, J., Schafer, K.: *Design and Detailing of structural concrete using strand and tie models. The Structural Engineer*, Vol 69, No.6, 1991 A;
- [3.1] [4.15] Bartók (Pénzes) C., *Verificarea experimentală prin încercare pe stend până la rupere a comportării unor prefabricate din beton armat, Referat nr.2 elaborat în cadrul proiectului de cercetare cu tema "Calculul și comportarea la forță tăietoare a elementelor din beton armat și precomprimat"*, Universitatea Ovidius Constanța, 2008;
- [3.2] [4.16] Popaescu A., Deaconu O., Bartók (Pénzes) C., *Încercarea pe stend până la rupere a unor elemente prefabricate de tip grindă din beton precomprimat și beton armat, Conferința "Structuri prefabricate din beton în centrul și estul Europei"*, 8-9 noiembrie 2007 Cluj-Napoca;
- [3.3] Bartók (Pénzes) C., *Study on test results of breaking point trials of prefabricated beam elements made of precompressed and reinforced concrete*, Ovidius University Annals of Constanța, Series Civil Engineering, 2008;
- [3.4] [4.1] Indicativ C181-88 *Îndrumător pentru metodologia de încercare a prototipurilor și seriei zero la elementele prefabricate, din punct de vedere al comportării la solicitări statice*;
- [3.5] [4.7] S.C. PROCEMA Engineering S.R.L., *Proiect "Pană prefabricată"*, beneficiar S.C. SOMACO S.A. București, 2006;
- [3.6] [4.5] STAS 6657/1-89 *Elemente prefabricate de beton, beton armat și beton precomprimat. Condiții tehnice generale de calitate*;
- [3.7] [4.6] STAS 12313-85 *Poduri de cale ferată și șosea. Încercarea pe stend a elementelor prefabricate din beton, beton armat și beton precomprimat*;
- [3.8] S.C. EUROPROIECT S.R.L., *"Pasaj Km 8+900"*, din cadrul proiectului *"Fluidizarea Traficului pe DNI, Lărgirea DNI între Aeroportul Băneasa (Km 7+535) și Pasaj Otopeni (Km 11+938)"*, beneficiar KOTA KONSTRUCT SA, 2005, reactualizat în 2006;
- [3.9] [4.17] POPAESCU & CO S.R.L., *Încercarea pe stend până la rupere a panii din beton armat l=11.45 m*, Interex Centru Comercial Vaslui, Referat cu concluzii, 2007;
- [3.10] [4.18] POPAESCU & CO SRL, *Încercarea pe stend până la rupere a grinzii precomprimată l=24 m, pasaj DNI, km 8+900, între Aeroport Baneasa și Pasaj Otopeni*, 2006;
- [4.8] Șerbu A., Dimitriu Șt., *Rezistența Materialelor*, Universitatea Transilvania Brașov, 1999;
- [4.10] Oneț T., Kiss Z., Muntean G., *Ghid pentru proiectarea betonului armat*, Editura Transilvania, 1999;
- [4.11] CR-1-3-2005-*Cod de proiectare-Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor*;

- [4.13] Dumitrescu D., Agent R., Nicula I., Găină N., Popăescu A., Weissenberg M., Lissai F., Săndulescu G., Stănescu A. - Îndrumător pentru Proiectarea și calculul construcțiilor din beton, beton armat și beton precomprimat, Editura Tehnică, București, 1978;
- [4.14] SR EN1992-1-1/NB, Eurocod 2: Proiectarea structurilor de beton, Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri, Anexă națională, ianuarie 2008;
- [5.1] Cod de proiectare seismică-Partea a III-a –Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente, indicativ P100-3/2008
- [5.2] Jayaprakash, J.(Department of Civil Engineering, University Putra Malaysia, Malaysia), Abdul Aziz, A.A.(Department of Civil and Environmental Engineering, College University Technology Tun Hussein Onn, Malaysia) Abang Abdullah, A.A.(Department of Civil Engineering, Universiti Putra Malaysia, Malaysia), Ashrakov, A.A.(Tashkent Automobile and Road Construction Institute, Tashkent). *Shear resistance of Reinforced Concrete Beams with Bidirectional Carbon Fibre Fabric Strips. Proceedings of the 2nd International Congress June 5-8, 2006-Naples, Italy*
- [5.3] Hassan Dirar, S.M.O., Hoult, N.A., Morley, C.T., Lees, J.M. *Shear Strengthening of Pre-cracked Reinforced Concrete Beams Using CFRP Straps.*(Hassan Dirar, S.M.O., Hoult, N.A., Morley, C.T., Lees, J.M.Department of Engineering, University of Cambridge, Trumpington St., Cambridge, CB2 1PZ, UK. *Proceedings of the 2nd International congress June 5-8,2006 Naples, Italy*)
- [5.4] Hoult, N.A. și Lees, J.M. *Shear Retrofitting of Reinforced Concrete Beams Using CFRP Straps*(Hoult, N.A. and Lees, J.M. *Shear Retrofitting of Reinforced Concrete Beams Using CFRP Straps. Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures (ACMBS-4), July 2004, Calgary, Canada.*)
- [5.5] Hoult, N.A. și Lees, J.M. *Long-Term Performance of CFRP Strap Shear Retrofitting System.* (Hoult, N.A. and Lees, J.M. *Long-Term Performance of CFRP Strap Shear Retrofitting System.Proceedings of the 7th International Symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures(FRPRCS-7), November 2005, New Orleans, USA. (in press))*
- [5.6] Vintzileou, E.(Department of Structural Engineering, National Technical University of Athens, 5, Iroon Polytechnion Str., GR 15773, Zografon, Greece.). *Shear Strengthening of RC Beams by means of CFRPs. Proceedings of the 2nd International Congress June 5-8, 2006-Naples, Italy*
- [5.7] Stoian V., Nagy-György T., Dan D., Gergely J., Dăescu C. -Materiale compozite pentru construcții, Editura Politehnică Timișoara, 2004

[5.8] *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structure*, American Concrete Institute(ACI 440.2R-08), july 2008

[5.9] *fib Bulletin 14: Externally Bonded FRP Reinforcement For RC Structures*, Technical report, 2001

[5.10] *CNR-DT 200/2004: Guide for the design and construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures*, july 13,2004