

GHID PRIVIND PROIECTAREA ȘI EXECUȚIA CONSOLIDĂRII PRIN PRECOMPRIMARE A STRUCTURILOR DIN BETON ARMAT ȘI A STRUCTURILOR DIN ZIDĂRIE

Indicativ GP 080-2003

► Cuprins

- * [SCOP](#)
- * [DOMENIU DE APLICABILITATE](#)
- * [CARACTERISTICI REZIDUALE ALE STRUCTURILOR DE BETON ARMAT ȘI ZIDĂRIE](#)
- * [CONSOLIDAREA PRIN PRETENSIONARE EXTERIOARĂ A STRUCTURILOR DE BETON ARMAT ȘI ZIDĂRIE](#)
- * [SISTEME DE PRETENSIONARE EXTERIOARĂ](#)
- * [ASPECTE PRIVIND PROIECTAREA LUCRĂRILOR DE CONSOLIDARE PRIN PRETENSIONARE EXTERIOARĂ](#)
- * [MONITORIZAREA SISTEMELOR DE PRETENSIONARE EXTERIOARĂ](#)
- * [BIBLIOGRAFIE](#)

1. SCOP

1. Scopul acestui ghid este de a asigura o bază pentru consolidarea prin precomprimare exterioară (în general, cea mai adecvată tehnică de reabilitare prin precomprimare) a structurilor de beton armat și de zidărie, în condițiile în care această soluție se dovedește viabilă. Acest ghid este elaborat având ca fundament standardele și normativele românești, dar în scop formativ și informativ sunt menționate recomandări din Eurocodurile 2, 6 și 8 precum și alte lucrări compatibile cu prevederile proiectelor de coduri europene. Odată cu integrarea României în structurile Comunității Europene, teoretic, standardele și normativele românești vor trebui adaptate codurilor europene, care acoperă aceleași domenii. O parte din aceste documente există deja sub forma ENV (norme europene provizorii - standarde europene temporare), iar implementarea lor în România poate fi adesea cerută de clienți. Pe măsura armonizării actualelor reglementări românești cu cele europene, referirile incluse în prezentul ghid se vor face la reglementările armonizate și adoptate.

2. Prezentul ghid, fără a delimita un cadru strict pentru lucrările de reabilitare prin precomprimare, se dorește a fi un prim punct de referință în abordarea lucrărilor de consolidare prin precomprimare, complexitatea acestora necesitând inventivitate, experiență și cultură inginerească.

3. În exploatare, structurile de beton armat și zidărie pot necesita lucrări de reparații, de la cele mai simple (tratări ale defectelor de suprafață), la lucrări de consolidare complexe, având ca scop satisfacerea nivelului de siguranță prevăzut de standardele și normele de proiectare în vigoare. Chiar dacă structurile au fost corect proiectate și executate, sub acțiunea combinată a factorilor atmosferici, a agresivității chimice și fizice, a sarcinilor de exploatare și/sau a acțiunilor

excepționale, se pot înregistra degradări și deteriorări structurale. Structurile noi pot necesita consolidări ca urmare a fisurării cauzate de execuția defectuoasă (contractii necontrolate, tratamente greșite, abateri de punere în operă peste toleranțele admise etc). Necesitatea consolidării structurilor poate apare și în cazul schimbării funcțiunii unei clădiri prin crearea de spații mai largi și/sau creșterea nivelului sarcinilor de exploatare.

[\[top\]](#)

2. DOMENIU DE APLICABILITATE

1. Consolidarea structurilor prin precomprimare (de regulă cu tendoane exterioare post-întinse) poate fi aplicată nu numai structurilor de beton armat, ci și în cazul unor structuri construite din materiale ale căror caracteristici de comportare la compresiune sunt compatibile cu conceptul de precomprimare.

2. Domeniul de aplicare al acestui ghid se limitează doar la structurile de beton armat și zidărie. Conceptul de structuri pretensionate de beton armat și zidărie își găsește în primul rând aplicabilitatea la lucrările de poduri și viaducte, dar poate fi implementat cu succes și la alte categorii structurale, cum sunt acoperișurile cu deschideri mari, structurile clădirilor, silozurile și rezervoarele. În consecință, chiar dacă ghidul se adresează practicienilor din toate specializările sectorului construcții, aplicabilitatea sa strictă este specifică construcțiilor civile, industriale și agricole. Ghidul nu acoperă soluțiile în care consolidarea structurilor se efectuează prin înlocuirea armăturilor pretensionate interioare neaderente.

3. Consolidarea prin precomprimare exterioară se poate aplica următoarelor tipuri de elemente structurale:

- elemente participante la structuri antiseismice care răspund în domeniul elastic la solicitările stabilite sub acțiunea grupării speciale de încărcări (elemente cu ductilitate redusă și neductile, care potrivit prevederilor STAS 10107/0-90¹ se încadrează în clasa b);

- elemente neparticipante la structuri antiseismice.

4. Precomprimarea exterioară poate fi utilizată ca soluție de consolidare provizorie la orice categorii de elemente compatibile cu acest concept.

5. În cadrul proiectului de reabilitare, proiectantul poate lua decizia de reîncadrare a elementelor structurale consolidate prin precomprimare, dacă prin noua concepție de comportare, structura consolidată prezintă un grad de siguranță și un risc seismic similare cu cele care rezultă din aplicarea corectă a standardelor și normativelor în vigoare în România.

Consolidarea structurilor de beton armat și zidărie necesită un efort colectiv în vederea identificării stării tehnice a structurii, stabilirii soluției de reabilitare și a detaliilor tehnologice de execuție. Echipa care ia aceste decizii include cel puțin un expert tehnic, arhitect și ingineri, producători de materiale, reprezentanți ai administratorului și contractorului, diverși specialiști în domeniu.

[\[top\]](#)

3. CARACTERISTICI REZIDUALE ALE STRUCTURILOR DE BETON ARMAT ȘI ZIDĂRIE

1. În vederea consolidării, structurile și elementele de beton armat și zidărie trebuie evaluate prin prisma capacității portante și stabilității, a nivelului de siguranță și evoluției sale pe termen scurt, mediu și lung, a condițiilor de mediu și a altor parametri. Această evaluare este determinantă pentru a adoptarea soluției cele mai avantajoase de consolidare, în corelare cu proprietățile reziduale ale structurii.

2. Caracteristicile reziduale ale structurilor de beton armat și zidărie se determină potrivit următoarelor reglementări:

- GT 002-1996² - „Ghid practic pentru determinarea degradărilor și rezistenței betonului și a caracteristicilor dinamice ale structurilor de beton armat supuse seismelor, prin metode nedistructive”;
- PC 1/2-1994³ - „Îndrumător de investigare și diagnosticare a stării structurilor din beton armat, beton precomprimat și oțel situate în medii agresive”;
- C 26-1985⁴ - „Normativ pentru încercarea betonului prin metode nedistructive”;
- C 54-1981⁵ - „Instrucțiuni tehnice pentru încercarea betonului cu ajutorul carotelor”;
- C 117-1970⁶ - „Instrucțiuni tehnice pentru folosirea radiografiei la determinarea defectelor din elementele de beton armat”;
- C 244-1993⁷ - „Ghid pentru inspectare și diagnosticare privind durabilitatea construcțiilor din beton armat și precomprimat
- P 100-1992⁸ „Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe, social culturale, agrozootehnice și industriale”;
- ST 001-1996⁹ - „Specificație tehnică privind stabilirea calității betoanelor și mortarelor din construcții existente prin metode fizico-chimice”;
- P 007-99¹⁰ - „Metodologie de investigare a zidăriilor vechi”.

[\[top\]](#)

4. CONSOLIDAREA PRIN PRETENSIONARE EXTERIOARĂ A STRUCTURILOR DE BETON ARMAT ȘI ZIDĂRIE

4.1. Particularități privind utilizarea recomprimării exterioare la consolidarea structurilor

1. Particularitatea esențială a acestei concepții de consolidare constă în faptul că realizează o refacere și/sau o creștere a capacității de rezistență și a capacității de disipare a energiei prin modificarea favorabilă a distribuției stării de eforturi, fără a spori secțiunile și masa elementelor structurale.

2. Implementarea pretensionării exterioare trebuie să fie precedată de reparații și consolidări locale ale elementelor afectate, care se pot efectua după caz, prin:

- injectarea fisurilor cu pastă de ciment, rășini epoxidice sau polimeri;
- înlocuirea zonelor de beton sau zidărie distruse;
- cămășuirea zonelor afectate.

3. Dacă la elementul structural afectat nu există condițiile necesare pentru consolidarea prin înlocuirea și/sau adăugarea de tendoane pretensionate exterioare, pentru efectuarea consolidării cu tendoane post-întinse vor trebuie realizate blocuri rigide de ancorare și dispozitive de deviere solidar legate de elementele existente.

4. Mărimea forțelor de precomprimare trebuie să fie compatibilă cu proprietățile reziduale de rezistență și rigiditate ale betonului și zidăriei elementelor consolidate.

5. Pretensionarea exterioară nu poate fi utilizată în scopul readucerii la geometria inițială a pereților de zidărie care prezintă deplasări în raport cu starea nedeformată, deoarece în acest caz se pot genera noi degradări.

6. Având în vedere vulnerabilitatea la foc a sistemelor de pretensionare exterioară, prin proiectare se vor stabili măsuri pentru asigurarea rezistenței la foc a sistemului de pretensionare și implicit a structurii consolidate. Pentru protejarea sistemelor implementate la consolidarea grinzilor și planșeelor se vor prevedea plafoane suspendate care vor răspunde prevederilor normativului P 118-1999¹¹ „Normativ de siguranță la foc a construcțiilor”. În alte situații sau unde nu este posibilă construirea plafoanelor suspendate, se pot practica soluții de protejare prin mascare cu materiale incombustibile, tencuieli torcretate sau alte soluții agrementate tehnic în acest scop, în funcție de gradul de expunere și clasa de importanță la foc a clădirii.

4.2. Tehnici de consolidare

6. Consolidarea prin precomprimarea exterioară își găsește aplicație la numeroase categorii de structuri. Stabilirea traseelor armăturilor active se raportează geometriei elementului de consolidat proprietăților reziduale ale materialelor, defecțiunilor și avarierilor identificate și cauzelor lor, distribuției stării de eforturi, istoricului acțiunilor și evoluției lor previzibile pe un termen stabilit de comun acord cu beneficiarul și proprietarul construcției etc., în vederea satisfacerii exigențelor de siguranță stabilite prin cadrul legislativ tehnic în vigoare la data efectuării lucrării.

7. Implementarea sistemelor de pretensionare la structurile de beton armat și precomprimat se face după crearea zonelor de ancorare și deviere, legate solidar de structura existentă. Zonele de ancorare ale armăturilor în beton se localizează în părțile rigide ale structurilor, iar dacă este necesar acestea se vor întări pentru a putea fi preluate stările de eforturi complexe specifice acestora. Dispozitivele de deviere se pot monta în antretoaze sau diafragme de rigidizare existente, sau se pot prinde de tălpile și inimile elementelor structurale.

8. la structurile de beton armat cu deschideri mari se recomandă traseele poligonale așternute pe curbe parabolice ([fig. 4.1.](#)). crescându-se brațul de pârghie și compensând sarcinile gravitaționale.

9. la grinzile continue ([fig. 4.2.](#)) traseele segmentate trebuie să asigure rigorile specifice Stărilor Limită ale Exploatării Normale și satisfacerea gradului de siguranță atât în secțiuni normale cât și

înclinate. Tendoanele exterioare pot fi utilizate adițional înlocuirii tendoanelor interioare neaderente, îmbunătățind performanța structurală a elementelor .

10. consolidarea structurilor în cadre de beton armat ([figura 4.3.](#)) trebuie efectuată cu discernământ, comportarea acestora, în special la acțiuni excepționale de tip seism, fiind puternic influențată. Implementarea pretensionării exterioare modifică mecanismul de disipare a energiei induse de cutremur, acesta fiind necesar a fi regândit și controlat cu maximă strictețe.

11. în cazul planșeelor curente de beton armat, tendoanele exterioare sunt deosebit de eficiente în mărirea capacității portante a grinzilor planșeelor și a plăcilor ([figura 4.4.](#)). Sunt recomandate traseele rectilinii, care pot fi acoperite cu unități de pretensionare de tipul barelor sau toroanelor individuale.

12. la structurile circulare ([figura 4.5.](#)), consolidarea cu tendoane post-întinse exterioare care au trasee perimetrice este deosebit de avantajoasă deoarece prin confinare se poate obține închiderea fisurilor existente. Sistemele de pretensionare sunt ușor de implementat, tensionarea este facilă și permite reglarea eforturilor în timp, fiind ușor de monitorizat. Totodată, înlocuirea tendoanelor se poate face cu mare ușurință .

13. La structurile din zidărie, consolidarea prin pretensionare exterioară cu trasee orizontale și/sau verticale poate avea caracter definitiv sau provizoriu (de intervenție rapidă, până la stabilirea soluției finale de consolidare). Armăturile trebuie ancorate în elemente rigide prinse solidar de zidăria existentă. Acestea trebuie dimensionate astfel încât să nu se producă concentrări necontrolate de eforturi în zonele de contact cu zidăria.

14. Dispunerea tendoanelor orizontale se face la nivelul planșeelor sau cu ancorare pe înălțimea pereților din zidărie ([figura 4.6.](#)), având ca scop creșterea rigidității de ansamblu a clădirii și prevenirea dislocării de material din pereți. În aceste situații, pretensionarea are un rol de punere în lucru a armăturilor și ancorajelor. Nivelul eforturilor de pretensionare este scăzut (circa 25 % din rezistența caracteristică a oțelului din armături), astfel încât el este dificil de controlat datorită deformațiilor remanente ale armăturilor și a caracteristicilor de deformabilitate în timp ale zidăriei. Ancorarea armăturilor se face prin plăci de repartiție solidarizate de centuri de beton armat sau profile metalice ancorate direct în zidărie .

15. pretensionarea verticală se recomandă cu titlu provizoriu la solidarizarea structurilor ([figura 4.7.](#)) de zidărie fisurate în urma seismelor, tasărilor diferențiate etc. Efortul de control în tendoane poate atinge 80 % din rezistența caracteristică, iar gradul de precomprimare trebuie să fie total. Astfel crește capacitatea de preluare a sarcinilor orizontale prin creșterea efortului de compresiune în clement. Închiderea fisurilor prin aplicarea precomprimării este condiționată de prelucrarea lor prealabilă .

[\[top\]](#)

5. SISTEME DE PRETENSIONARE EXTERIOARA

5.1. Scurt istoric al pretensionării exterioare

1. Ideea comprimării active a elementelor structurale cu materiale având o rezistență mare la întindere este foarte veche. În Egiptul antic, o tehnică similară cu cea utilizată la precomprimarea butoaielor din lemn a fost aplicată la construcția bărcilor. În istoria ingineriei moderne¹², pentru prima dată poate fi amintit germanul Farber, titularul unui patent german încă din anul 1027. În

această licență este descris un sistem de pretensionare neaderentă. În care tendoanele pretensionate sunt înconjurate de parafină, idee aplicată cu succes în practică.

2. În 1934, tot în Germania, Dischinger a avut ideea inovatoare a unui sistem de post-tensionare pentru grinzi de beton armat cu tendoane exterioare secțiunii de beton. Pentru determinarea forței de pretensionare a propus conceptul precomprimării concordante. Prin aceasta, Dischinger a dorit să controleze deformațiile de lungă durată ale betonului, cunoscând munca de pionierat realizată de Freyssinet¹³ prin teste efectuate între anii 1926 și 1929 în Franța.

3. Începând cu anii 1950, grupul Freyssinet¹⁴ a executat o serie de lucrări importante de reabilitare în Franța. Obiective ca podul Orly și uzina Carmaux au fost consolidate prin pretensionare exterioară. Se utilizau în principal cabluri din sârme (de obicei 12Ø07), iar mai târziu, pentru eforturi inițiale mici, cabluri monofilare Ø12. În lucrările de consolidare prin pretensionare adițională s-au utilizat principiile de bază ale tehnologiei cablajelor:

- străpungerea unui element de beton care să permită preluarea eforturilor de pretensionare la nivelul ancorajului sau crearea pentru aceasta a unui bosaj fixat aderent în străpungere ([figura 5.1.](#)); cablul devenea aderent betonului din zona perforată după injectarea cu pastă de ciment sau rășină epoxidică ;

- segmentele exterioare se protejau cu țevi din oțel în cazul traseelor rectilinii și cu teci din polietilenă dacă traseul era curbiliniu sau sinuos; cablurile protejate cu polietilenă s-au pus în operă încă din anul 1958, aceasta fiind și în prezent perfect conservată, asigurând în continuare funcționalitatea cablurilor.

4. Debutul anilor 1970 este caracterizat de următoarele două aspecte esențiale:

- majoritatea lucrărilor de pretensionare exterioară s-au executat la poduri, la clădiri fiind în continuare specifică preten sionarea cu tendoane interioare aderente;

- generalizarea rapidă a utilizării toroanelor din oțel, astfel încât s-au putut folosi unități de pretensionare foarte puternice (de exemplu 12 T15).

5. precomprimarea betonului se realiza cu ajutorul cablurile exterioare secțiunii de beton pe tot traseul, cu excepția zonelor din vecinătatea ancorajelor și a deviatorilor amplasați pe deschideri ([figura 5.2.](#)). Tehnologiile s-au îmbunătățit, notabilă în acest sens fiind realizarea etanșeității la nivelul joncțiunii dintre străpungerea prin: beton și teaca cablului¹⁵ Această îmbinare se efectua prin sudură, manșonare, lipire sau cu coliere standard utilizate la racordurile instalațiilor de apă .

6. În ciuda tuturor soluțiilor de pretensionare exterioară aderentă structurii utilizate în acea perioadă, în prezent o singură soluție mai este utilizată în mod curent. Potrivit acesteia, protecția cablurilor se realizează cu țevi din oțel deformat la rece și înglobate în beton pe traseul zonelor de străpungere, racordate cu teci din polietilenă de înaltă densitate sau polipropilenă ce asigură protecția segmentelor de cabluri dintre deviatori. Utilizarea tecilor din mase plastice este preferabilă datorită ușurinței cu care ele se pot pune în operă și a bunei conservări în timp a acestora, chiar dacă fabricanții acestora nu oferă garanții în acest sens. Racordurile oțel-mase plastice sunt însă delicat de realizat și necesită proceduri testate în prealabil experimental. Injectarea canalelor este realizată în mod tradițional, cu pastă de ciment care asigură aderența cablului în traversările prin beton. În aceste aplicații, o atenție specială trebuie acordată proprietăților de frecare ale țevilor deflectorare executate din oțel, care datorită necesității de a se concentra eforturile pretind curbură mari (raze de curbură reduse, de 3 ÷ 5 in). Presiunile de contact între toroane și țevile din oțel sunt mari, iar pentru evitarea gripii sunt necesari coeficienți de frecare cu valori între 0,30 - 0,35.

7. Un moment important pentru evoluția ulterioară a preten-sionării exterioare a fost lucrarea de reparare și consolidare a podului Tours (pod din zidărie), unde a apărut necesitatea pretenționării provizorii a structurii. Datorită factorilor meteorologici și agresivității mediului, a fost necesară protejarea acestor cabluri, Freyssinet¹⁴ propunând o protecție prin injectare cu un lubrifiant cald.

8. Începând cu anul 1973 s-a impus utilizarea toroanelor din oțel și la realizarea cablurilor hobanate¹⁶. Tehnologia de execuție a hobanelor decurgea natural din cea a pretenționării exterioare, în particular protecția cablurilor fiind asigurată într-o manieră foarte eficace prin injectare cu pastă de ciment. Tot în această perioadă a început studiul a două probleme deosebit de importante, atât pentru exploatarea hobanelor cât și a cablurilor de pretenționare exterioară:

- comportarea la oboseală a zonelor de ancorare;
- efectele datorate încovoierii locale a cablurilor în zonele de ancorare și deviere.

9. Începând cu anii 1980, tehnologia pretenționării exterioare la lucrările noi s-a inspirat în mare parte din tehnicile de consolidare. La aplicațiile efectuate în Franța după 1980, proiectanții și executanții au profitat din plin de urmărirea comportării în timp a numeroaselor poduri executate începând cu anii 1950. Această experiență i-a condus la necesitatea disocierii la maximum a cablajului de structură. Coexistența celor două sisteme în aceeași secțiune a condus adesea la reduceri ale secțiunii active de beton datorită condițiilor dificile de betonare. Această problemă, în asociere cu problema durabilității cablurilor, a condus la necesitatea unei pretenționări interschimbabile.

10. Dacă până în această etapă pretenționarea exterioară a fost aderentă structurii, începând de acum au început să se dezvolți sistemele de pretenționare neaderente, demontabile. Începând cu anul 1984 aceste tehnici au început să se aplice și structurilor hobanate. Obiectivul urmărit a constat în introducerea cablurilor neaderente în structurile din beton astfel încât după detensionare acestea să poată fi extrase și înlocuite imediat, fără alte lucrări și amenajări specifice. Acest deziderat s-a obținut în principal pe următoarele căi:

- utilizarea cablurilor autoprotejate ;
- injectarea tubulaturii cu produse vâscoase (lubrifianți, grăsimi, ceară petrolieră etc.) protectoare și neaderente oțelului și betonului;
- printr-o soluție originală Freyssinet, care constă într-un cablu protejat de o injecție din pastă de ciment, dar care circulă liber prin străpungerile tuturor elementelor structurale din beton;
- utilizarea cablurilor compozite din fibre de sticlă, carbon sau plastic.

11. Delimitarea strictă a acestor soluții nu este întotdeauna posibilă, importanți pași înainte fiind efectuați prin aplicarea de procedee mixte, bazate pe exploatarea numeroaselor avantaje ale fiecărei soluții și pe compensarea deficiențelor particulare ale acestora.

5.2. Componentele unui sistem de pretenționare exterioară

12. în prezent există o mare varietate de sisteme de pretenționare, fiecare prezentând elemente specifice producătorului. În esență, un sistem de pretenționare ([figura 5.3.](#)) constă în:

- sisteme mecanice de tipul ancorajelor active și pasive
- sisteme mecanice de tipul ancorajelor active și pasive;

- sistemul de protecție împotriva coroziunii;
- dispozitive de deflectare (la pretensionarea exterioară).

13. În România se pot utiliza doar sisteme de pretensionare exterioară sau componente ale acestora pentru care s-a elaborat agrement tehnic sau sunt confecționate în conformitate cu standarde sau norme de fabricație în vigoare .

5.3. Armături active

14. Materialul standard în confecționarea armăturilor active este oțelul de înaltă rezistență. Armăturile se furnizează sub formă de bare amprentate sau netede, sârme și toroane. O statistică neoficială¹⁷ arată că în prezent circa 75 % din oțelul de înaltă rezistență produs se regăsește în toroane, 15 % în sârme și 10 % în bare, deoarece utilizarea barelor presupune trasee rectilinii scurte, limitate la lungimile de livrare ale barelor (până la 20 m), toroanele și sârmele având o aplicabilitate mult mai largă. La lucrările de consolidare se recomandă utilizarea barelor pentru traseele rectilinii scurte și sarcini reduse, respectiv cabluri confecționate din toroane pentru sarcini mari și trasee poligonale.

15. În STAS 10107/0-90¹ rezistențele caracteristice ale oțelurilor pentru armături pretensionate R_{pk} se consideră cu valorile minime precizate în standardele de produs, după cum urmează:

- rezistența de rupere la întindere R_{pk} , în cazul armăturilor de tip SBP, SBPA și TBP;
- limita de curgere $R_{o,2k}$ în cazul barelor de tip PC 90.

16. Având în vedere că limita de elasticitate nu este clar definită în cazul oțelurilor de calitate superioară, modulul de elasticitate se definește de obicei ca fiind panta dreptei ce unește punctele de pe diagrama caracteristică corespondente unor eforturi egale cu 10 % din efortul la rupere și efortul de pretensionare, care pentru a compensa pierderile constructive de tensiune în cabluri trebuie să fie egal cu cel puțin 55 % din efortul la rupere. Diagrama caracteristică $\sigma_p - \varepsilon_p$ pentru oțeluri de tip SBP, SBPA și TBP se ia în considerare în calcul în conformitate cu [figura 5.4.a.](#) pentru oțelurile de tip pc 90 poate fi utilizată o diagramă convențională de calcul biliniară ([figura 5.4.b.](#)) .

17. eurocode 2¹⁸ consideră valorile caracteristice și reprezentative ale rezistențelor oțelurilor rezistența de rupere la întindere r_{rk} sau limita de curgere $r_{o,1k}$. consideră o diagramă schematizată și de calcul cu palier de consolidare și deformație limită, sau o diagramă de calcul cu un palier orizontal fără deformație limită ([figura 5.5.](#)). Cadru general al armăturilor de pretensionare este reglementat prin EN 10138¹⁹, iar pentru cele neconforme printr-un agrement tehnic european.

5.4. Protecția împotriva coroziunii

18. Armăturile active necesită protecție împotriva coroziunii, care trebuie să satisfacă exigențele C 255-1987²⁰ „Norme tehnice privind protecția anticorozivă a cablurilor și toroanelor din oțel pentru construcții cu armături exterioare și construcții suspendate”. Dacă în cazul armăturilor aderente interioare, protecția este asigurată de mediul alcalin oferit de pasta de ciment întărită și betonul înconjurător (prin pasivizare), în cazul armăturilor exterioare este necesară o strategie de protecție mai complexă, care să ia în considerare atât condițiile de agresivitate ale mediului pentru protecția împotriva coroziunii, cât și considerente privind siguranța armăturii active, plecând în principal de la vulnerabilitatea ei la foc și protecția împotriva cedării armăturii datorită frecării în zonele de deviere.

5.4.1. Armături autoprotejate prin galvanizare

19. Aceste armături sunt alcătuite din sârme, bare sau toroane autoprotejate prin galvanizare la cald, utilizarea lor necesitând măsuri speciale în ce privește accesoriile și materialele pentru punerea în operă. Se pot face câteva observații²¹ :

- galvanizarea nu asigură o protecție nelimitată în timp, durabilitatea ei depinzând de agresivitatea mediului;
- în zonele de deviere integritatea galvanizării este pusă în pericol de frecări;
- zonele de ancorare necesită un studiu particular, protecția putând fi asigurată prin injectarea locală cu produse vâscoase sau vopsire cu carbomastic; în timp s-a constatat că este preferabil ca ancorajul să se bucure el însuși de aceeași protecție ca și cablul, astfel încât piesele reazemelor și ancorajele să fie în egală măsură protejate pentru a nu permite extinderea fenomenului de ruginită de la piesele de ancorare asupra porțiunilor de cabluri amplasate în vecinătatea ancorajului, unde protecția prin galvanizare poate fi deteriorată.

20. Acest tip de cablu este comod de pus în operă, autoprotecția toroanelor înlăturând necesitatea introducerii cablului în teacă, dar folosirea lui trebuie efectuată cu discernământ. Se atrage atenția asupra unor dezavantaje care pot apărea în momentul punerii în operă :

- deprecierea locală ale protecției galvanice datorate galeților echipamentelor de împingere;
- dificultăți de înșiruire a toroanelor la traversarea verinelor datorate grosimii excesive a stratului de zinc;
- o galvanizare de slabă calitate poate diminua diametrul conului penelor din ancoraje, rezultând neregularități locale.

21. Utilizarea acestor armături este recomandabilă la construcții civile sau alte tipuri de lucrări unde cablurile nu sunt expuse la o agresivitate deosebită a mediului. Aceste toroane pot fi puse în operă cu echipamente ușoare, prin înșiruire toron cu toron sau prin tensionarea simultană a tuturor toroanelor cablului.

5.4.2. Armături autoprotejate prin peliculizare cu polimeri

22. Această tehnologie s-a dezvoltat în special pentru armăturile pasive, peliculele din polimeri fiind aplicate pe oțel prin fuziune. Procedeele este întâlnit în primul rând la armăturile de tip bare și toroane, dar viabilitatea acestei soluții nu a fost încă pe deplin dovedită în cazul pretensionării. În cazul toroanelor apar probleme deoarece numai suprafața exterioară a sârmelor din toroane este protejată, sârma centrală și suprafața interioară a sârmelor perimetrice fiind neprotejate. În ancoraje, peliculizarea este întreruptă local de indentațiile produse de zimții penelor ancorajelor. Astfel, ca și în cazul armăturilor galvanizate, protecția în zona ancorajelor este compromisă. În plus, manipularea și punerea în operă a acestor armături trebuie efectuată cu foarte mare atenție pentru a nu deteriora pelicula protectoare. Se recomandă același domeniu de aplicabilitate ca și în cazul armăturilor galvanizate.

5.4.3. Cabluri cu teacă generală protejate prin injectare cu pastă de ciment

23. Principiul constă în utilizarea unei teci flexibile din polietilenă de înaltă densitate sau propilenă, continuă și etanșă de la un ancoraj la altul și izolată de structura din beton prin țevi și trompete din oțel. Teaca poate să gliseze liberă prin străpungerile în beton) (rosturi între elemente

prefabricate, deflectori, zone de ancorare), iar după injectare este posibilă demontarea întregului ansamblu format din toroane, teacă și injectie. Problemele principale ale sistemului sunt¹⁴ :

- asigurarea rezistenței tecii din mase plastice în zonele de deviere a toroanelor din zonele de ancorare și deviatori, sub) efectele conjugate ale curburii toroanelor și deplasărilor lor datorate alungirii cablului, respectiv ale eforturilor radiale care apar între operațiunile de tensionare și injectare; după întărirea pastei de ciment transferul de eforturi radiale este mult mai puțin sever, cablul devenind monolitic;

- asigurarea etanșeității tecii în timpul operațiunii de injectare în racordurile curente și la joncțiunea dintre cele două tuburi ale zonei de ancorare, cel din polietilenă care conține toroanele și cel exterior, din oțel laminat, care asigură demontabilitatea.

24. ambele probleme au fost rezolvate în mod satisfăcătoare (figura 5.6.), dar mai constituie încă și astăzi o tematică de cercetare menită a perfecționa sistemul .

5.4.4. Cabluri pretensionate protejate cu produse vâscoase

25. În prezent, tehnologiile moderne ale betonului precomprimat se bazează pe principiul neaderenței între armătura activă și structura de beton. Cu toate acestea, cele mai moderne sisteme de pretensionare prezintă următoarele deficiențe²² :

- sistemele „pachet” (figura 5.7.a) sunt realizate din toroane introduse prin împingere într-o teacă generală predeformată din material plastic (de obicei polietilenă de înaltă densitate), în timp ce materialul vâscos de protecție (ceară petrolieră sau lubrifiant) se aplică pe măsura introducerii toroanelor; în acest sistem, de obicei, nu este posibilă umplerea completă cu substanța de protecție a spațiului dintre toroane și a imperfecțiunilor tecii; acest tip de cablu este vulnerabil la infiltrarea apei pe timpul execuției și transportului, iar în anumite condiții chiar și în exploatare;

- sistemele „extrudate” (figura 5.7.b.) sunt toroane pregătite pe care se aplică plastic topit simultan cu trecerea printr-o matriță, pentru a se realiza o grosime controlată și uniformă; după trecerea prin matriță plasticul este răcit în apă, solidificându-se; acest proces produce o contracție a tecii care comprimă materialul de protecție, iar sistemul este cel mai des utilizat în zilele noastre, fiind și cel mai puțin vulnerabil la coroziune ;

- sistemele „sigilate la cald” (figura 5.7.c.) utilizează toroane pregătite în jurul cărora se aplică o folie dreptunghiulară din plastic; în final folia din plastic este sigilată la cald, sistemul de protecție rezultat constând dintr-o teacă cel puțin la fel de neregulată și mai strâmtă decât la sistemul prezentat anterior.

26. Alegerea produsului de injectare optim trebuie să fie consecința unor factori obiectivi ²³, specifici fiecărei lucrări în parte (tabelul 5.1.).

Tab. 5.1.

Condiții specifice injectării tecilor cu substanțe vâscoase

Particularități	Grăsimi	Ceară petrolieră
-----------------	---------	------------------

1. Temperatura la punerea in operă	- 40 – 70 °C - injecție posibilă la temperatura mediului ambiant, dar cu dificultăți datorate subpresiunii în tubulatură;	- circa 85 °C (stare fluidă) ;
2. Conracții ale produsului	- slabe ;	- importante
3. Reinjectarea	- posibilă ;	- imposibilă datorită întăririi cerii
4. Depozitarea înaintea punerii in operă	- posibilități de stocare ,eventual punere în operă fără preîncălzire	- nu se poate stoca în stare lichidă ; - încălzirea este obligatorie înaintea punerii în operă ;
5. Durata punerii in operă	- comparabilă cu a injecției clasice	- foarte redusă ;
6. Cerințe particulare	- tubulatură etanșă (produsul nu frige) ;	- tubulatură etanșă (produsul fluidizat frige) ;
7. Acces	- bine adaptată la șantierele cu acces dificil .	- bine adaptată cantităților mari, dar necesită facilități în privința asigurării accesului pentru a nu se întări .

5.5. Ancoraje

27. Ancorajele sunt dispozitive mecanice de fixare a armăturilor la extremități. În principiu, la sistemele de pretensionare exterioară se pot utiliza tipurile de ancoraje metalice specifice precomprimării cu armătură post-întinsă aderentă, dar în acest caz trebuie acordată o atenție specială concepției și detalierei zonei de ancorare.

28. Firmele producătoare importante au în fabricație dispozitive de ancorare special concepute pentru pretensionarea exterioară, proiectate mai mult sau mai puțin pentru satisfacerea următoarelor exigențe: preluarea variațiilor de eforturi în ancoraj, posibilități de ajustare, reglare și înlocuire, ușurința monitorizării sarcinilor, protecția împotriva coroziunii, strângerea succesivă sau simultană etc.

29. Ancorajele active sunt concepute pentru a permite tensionarea armăturii prin asigurarea unei supralungimi suficiente de armătură și acces pentru instalarea verinelor pentru tensionare și demontarea lor după aceasta. La unitățile de pretensionare mari (fascicule), penele (piese metalice conice confecționate din oțel de înaltă rezistență) glisează în orificiile cilindrice ale corpului ancorajului și asigură fixarea armăturilor prin strângere tronconică. Concepția corpului ancorajului este specifică fiecărui sistem de pretensionare, acesta fiind adaptat scopului de utilizare. Transferul eforturilor la structura din beton se face prin intermediul unei plăcuțe de repartiție din oțel, dimensionată în concordanță cu specificul zonei de ancorare. Corpul ancorajului este prevăzut cu un orificiu de injectare care asigură legătura cu interiorul tubajului de protecție. Corpul ancorajului se fixează de cofrajul blocului de ancorare sau piesele metalice ale acestuia cu șuruburi, nituri și cuie.

30. La unitățile de pretensionare individuale (bare, toroane) tensionarea se face cu piulițe înșurubate pe capetele filetate ale armăturilor, până la contactul cu placa de repartiție ancorată în structură.

31. Ancorajele pasive se dispun la extremitățile opuse ale tendoanelor în raport cu ancorajele active. La ancorajele cu pene (specifice unităților de pretensionare mari) penele ancorajelor sunt accesibile unui operator care trebuie să le aranjeze și blocheze întâi manual, utilizând un ciocan și o pârghie, după care acestea se autoblochează când începe operațiunea de tensionare. O altă variantă sunt ancorajele fixe înglobate în beton, inaccesibile în momentul tensionării, astfel încât în loc de mandrine sunt prevăzute cu manșoane cu filet, strânse pe capetele armăturilor cu o presă de înfiletare care lunecă prin orificiile cilindrice ale blocului ancorajului. Întregul set este fixat cu o placă metalică, care permite poziționarea corectă a extremităților armăturilor. Strângerea generală este asigurată prin blocarea manșoanelor în indentațiile orificiilor cilindrice ale blocului ancorajului.

32. La unitățile de pretensionare individuale, ancorajele fixe se pot realiza fie prin ambutisarea capetelor barelor și prinderea lor într-o placă găurită adecvat și fixată în structură, fie prin sistemul cu buclă și dorn, armătura răsucindu-se după un dorn prins de o placă metalică fixată de structură.

33. Cuplorii sunt dispozitive mecanice care asigură continuitatea între un segment de tendon deja tensionat și prelungirea sa. Sunt alcătuiți dintr-un ancoraj și o piesă indentată inserată între blocul ancorajului și trompetă sau plăcuța pe care reazemă manșoanele filetate și în care sunt prinse armăturile următorului segment.

5.6. Dispozitive de deflectare

34. Geometria și poziționarea deviatorilor, la care se adaugă concepția zonelor de ancorare, sunt elementele definitorii ale traseului unui cablu. Deci, este foarte important ca aceste elemente să fie puse în operă cu o precizie adecvată pentru a se evita devierile unghiulare de natură să cauzeze deprecierea armăturilor la tensionare sau în exploatare. Concepția deviatorilor trebuie făcută în așa manieră încât interacțiunile dintre armături, respectiv dintre acestea și teaca din material plastic, să nu ducă la deteriorarea tecii și armăturilor. Trebuie remarcat că poziționarea tecii în deviatori nu este simplă dacă nu se poate garanta un traseu corect al cablului în dreptul punctelor unghiulare. Pentru asigurarea demontării facile, fără procedee de tracțiune și fără echipamente de demolare, este necesar ca traseele în zonele de deviație să aibă forma arcelor de cerc, fără porțiuni rectilinii.

35. Nu este permisă utilizarea tecilor metalice în dispozitivele de deviere.

36. deviatorii sunt confecționați din țevi de oțel solidarizate în betonul antretoazelor de deflectare sau atașate structurii prin plăcuțe metalice de rigidizare. acestea sunt curbate și au raza de

curbură mai mică decât cea care asigură tangența. un joc suficient între tub și cablu permite să se evite o eroare unghiulară de punere în operă (figura 5.8.). Contactul între teaca din material plastic și țeava de oțel are loc pe o lungime mai redusă decât a țevii de oțel (CC').

37. dacă țevile din oțel au extremitățile libere, prin deformarea lor la extremități se permite evitarea deviațiilor unghiulare și eforturilor parazite. lungimea liberă a țevilor la extremități trebuie să aibă o mărime care să-i asigure o flexibilitate suficientă. în cazul tuburilor din oțel înglobate în beton, o bună precauție constă în izolarea acestora de beton câțiva centimetri în vecinătatea ieșirilor cu ajutorul unor manșoane elastice, foarte eficiente pentru evitarea eforturilor parazite (figura 5.9.).

38. Evitarea deviațiilor unghiulare și a eforturilor parazite asociate se poate face și prin evazarea la extremități a țevilor din oțel cu pereți subțiri. Aceste dispozitive prezintă o cavitate torică care permite adaptarea la deviația unghiulară prevăzută, așa cum de prezintă în figura 5.10.

39. Un alt sistem, brevetat²⁴, constă în șei metalice cu posibilitate de joc în interiorul rezervat din antretoaza sau elementul de beton în dreptul căruia are loc deflectarea. Aceste șei iau în mod natural orientarea optimă la operația de tensionare a cablurilor, reducând-se astfel efectele frecării și lunecării. Dispozitivele sunt prezentate în figura 5.11 .

40. deflectarea toroanelor conduce la autodeformarea tecii sub reacțiunile de curbură ale toroanelor (figura 5.12.). Acest fenomen are loc cu mici incrustații pe care sârmele sau toroanele le provoacă și care pot pune în pericol teaca, iar după aceea integritatea tendonului Razele de curbură în dispozitivele de deflectare și în zonele de ancorare trebuie să satisfacă prevederile EN 10138¹⁹ și ale Acordului Tehnic. Deflectarea tendonelor cu până la 0,01 rad se poate face fără utilizarea unor dispozitivelor de deflectare¹⁸ .

41. În situațiile speciale, în care nu se pot respecta razele de curbură minime, trebuie verificate presiunile de contact la interfața dintre armătură și teacă, deoarece teaca trebuie să reziste la:

- efectele de tensionare, care pe lângă efectul presiunii radiale crescând până la valoarea maximă mai cuprind și o serie de lunecări, frecări și alungiri ale armăturilor, fenomene însoțite de eliberări de căldură în zona de contact; disiparea căldurii este slabă la materialele plastice, astfel încât proprietățile acestora sunt serios influențate de prezența căldurii;

- acțiunea în timp a toroanelor: aceasta este permanentă în cazul injecției vâscoase și până la realizarea aderenței pastei de ciment la toroane în cazul injecției rigide.

42. În cazul injecției rigide cu pastă de ciment aplicată la câteva săptămâni după tensionare (după consumarea fluajului tecii din polietilenă), datorită durității pastei întărite cablul devine o masă compactă și nu doar o sumă de armături individuale, libere să penetreze materialul plastic. Acest monolitism provoacă o redistribuire a presiunilor de contact concentrate în toroane, obținându-se o repartitie omogenă a acestora pe suprafața tecii.

5.6.1. Aplicație

Să se verifice eforturile de contact pentru o unitate de pretensionare 19 T15.2 cu rezistența caracteristică $R_{pk} = 1770$ MPa, asamblat într-o teacă din polietilenă cu grosimea $t = 5$ mm și diametrul interio $\varnothing_i = 100$ mm, pentru o rază de curbură în primul deviator $R_1 = 4.00$ m:

• efortul unitar de control pentru un toron este :

$$P_{0k} = 0,8 A_p R_{pk} = 0,8 \times 139 \times 1770 = 196,824 \text{ N} \cong 197 \text{ kN}$$

• efortul unitar în toron la nivelul primului deviator:

$$P_1 \approx 0,85 P_{0k} = 0,85 \times 197 = 167,5 \text{ kN}$$

• presiunea radială maximă²⁵ (figura 5.13.):

$$p_{\max} \approx 1,3 \frac{h_0}{d_t} \frac{P_1}{R} = 1,3 \times \frac{0,7 \times 100}{15,2} \times \frac{167,5}{4} = 250,7 \text{ kN/m}$$

• caracteristicile tecii din polietilenă de înaltă densitate:

- modulul de elasticitate $E_t = 250 \text{ N/mm}^2$;

- coeficientul lui Poisson $\nu_t = 0,40$;

- raza interioară $R_t = 50 \text{ mm}$;

- rezistența admisibilă la contact local $\sigma_{at} = 30 \text{ N/mm}^2$

• caracteristicile sârmei toroanelor:

- modulul de elasticitate $E_s = 200.000 \text{ N/mm}^2$;

- coeficientul lui Poisson $\nu_s = 0,30$;

- raza interioară $R_s = 2,5 \text{ mm}$;

- rezistența admisibilă la contact local $\sigma_{as} = 330 \text{ N/mm}^2$;

• valoarea maximă a efortului unitar pe suprafața de contact:

$$\sigma_{\max} = 0,5642 \sqrt{p_{\max} \frac{R_t - R_s}{R_t R_s} \frac{1}{\frac{1 - \nu_t^2}{E_t} + \frac{1 - \nu_s^2}{E_s}}} = 0,5642 \sqrt{250,7 \times \frac{50 - 2,5}{50 \times 2,5} \times \frac{1}{\frac{1 - 0,4^2}{250} + \frac{1 - 0,3^2}{200000}}} = 94,9 \text{ N/mm}^2$$

• verificarea tecii la compresiune locală²⁶ :

$$\sigma_e = m \sigma_{\max} = 0,6 \times 94,9 = 56,94 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{at} = 30,0 \text{ N/mm}^2$$

• lățimea suprafeței de contact între sârmă și teacă²⁶ :

$$b = 1,128 \sqrt{p_{\max} \left(\frac{1 - \nu_t^2}{E_t} + \frac{1 - \nu_s^2}{E_s} \right) \frac{R_t R_s}{R_t - R_s}} = 1,128 \sqrt{250,7 \left(\frac{1 - 0,4^2}{250} + \frac{1 - 0,3^2}{200000} \right) \frac{50 \times 2,5}{50 - 2,5}} = 1,7 \text{ mm}$$

- verificarea valorii penetrării tecii de către sârma toronului²⁶ :

$$\delta = R_s \left(1 - \cos \frac{b}{2R_s} \right) = 2,5 \left(1 - \cos \frac{1,7}{2 \times 2,5} \right) = 0,14 \text{ mm} < t = 5 \text{ mm}$$

5.7. Problemele specifice sistemelor de pretensionare exterioară

5.7.1. Asigurarea etanșeității tubulaturii

43. Etanșeizarea racordurilor curente ale tecilor se realizează prin sudură, manșonare sau lipire în cazul tecilor confecționate din țeava de oțel, iar în cazul tecilor din mase plastice prin termofuziune sau cu manșoane termoretractabile²⁷. Manșoanele termoretractabile sunt o soluție modernă și ușor de pus în practică, ele fiind confecționate din carton impregnat cu rășină și fretat cu împâsliturăde fibre (din sticlă sau oțel).

În [figura 5.14](#), sunt prezentate principalele modalități de racordare a tecilor în pretensionarea exterioară.

44. În cazul protejării cu injecție rigidă, racordurile oțel-mase plastice sunt delicat de rezolvat și necesită soluții testate în prealabil experimental. Principalele modalități sunt prezentate în [figura 5.15](#).

45. soluția eficace și perfect viabilă pentru etanșeizarea zonei ancorajului la pretensionarea exterioară neaderentă este garnitura torică din neopren²⁴, presată între trompeta tecii din mase plastice și placa de repartiție ([figura 5.16](#)). Operațiunea de demontare este ușor de executat în condițiile în care pasta de ciment din zona de ancoraj este întărită, atât timp cât este evitată fisurarea tecii interioare. Aceasta soluție este eficace și în cazul injecției rigide.

5.7.2. Comportarea ancorajelor la variația eforturilor în tendoane

46. În cazul protejării aderente, în condițiile asigurării unei bune calități a operațiunii de injectare, aceasta garantează buna protecție a cablului și rezistența sistemului la rupere grație mobilizării aderenței. La sistemele de pretensionare exterioară, cablul nu este aderent structurii chiar dacă teaca acestuia este injectată cu pastă de ciment. În consecință, la rupere nu se poate conta pe mobilizarea aderenței, deci este important să se asigure o omogenitate între gradul de siguranță al elementului structural și coeficientul de siguranță al sistemului de pretensionare (performanța la rupere a ancorajelor).

47. La structurile din beton pretensionate cu tendoane exterioare pot apărea supratensiuni datorate sarcinilor de exploatare. Majoritatea sistemelor de ancorare pentru toroane realizează blocarea prin strângere într-un cap de ancoraj, prin efectul de împănare. Realizarea blocării conice, datorită stabilizării presiunii în verină, implică o deplasare longitudinală de câțiva milimetri a toronului și penelor, cunoscută de practicieni sub denumirea de „recul al ancorajului”. Toate supratensionările ulterioare ale cablurilor sunt însoțite de mișcări adiționale de aceeași natură.

48. dacă după tensionare se injectează pastă de ciment, aceasta umple interspațiile dintre pene, transformându-le într-un ansamblu monolit ([figura 5.17](#)). Pentru a putea fi preluate supratensionările datorate sarcinilor de exploatare, este necesar să se permită penelor deplasări libere în orificiul conic. Datorită însă injecției cu pastă de ciment, singurele deplasări ale acestora provin din compresibilitatea pastei, care este cu atât mai discutabilă cu cât aceasta este mai confinată. În aceste condiții, siguranța la rupere oferită de ancoraj poate să nu fie suficientă pentru a face față creșterii întinderii în cablu fiindcă strângerea penelor în ancoraj este

împiedicată. Deci, funcționarea la rupere a ancorajului de pretensionare prin blocarea penelor inelului interior este compromisă, blocarea fiind jenată de prezența pastei de ciment întărită.

49. În cazul injectării zonei ancorajului cu substanțe vâscoase performanța la rupere a ancorajelor este asigurată²⁸, comportarea la rupere fiind mult superioară în raport cu situația injectiei rigide, așa cum se evidențiază în graficul din [figura 5.18](#).

50. În cazul tendoanelor protejate cu injecție rigidă, zona de ancorare trebuie protejată cu substanțe vâscoase injectate înaintea pastei de ciment, pentru a nu permite acestuia accesul în mediul penelor ancorajului, realizându-se astfel egalizarea presiunilor de contact la interfața de separare a celor două materiale ([figura 5.19](#)).

o altă soluție²⁹ constă în interpunerea unei bariere pentru separarea celor două tipuri de substanțe injectate ([figura 5.20](#)).

5.7.3. Încovoierea locală a cablurilor de pretensionare exterioară

51. acest fenomen apare la cablurile de pretensionare exterioară expuse diversilor agenți atmosferici, sub acțiunea cărora cablurile pot suferi deviații ale traseelor lor teoretice¹⁰. concepția de alcătuire a deviatorilor are ca bază printre altele și combaterea acestui fenomen. În zonele de ancorare²⁸, principiul de micșorare a efectelor încovoierii locale constă în prevederea unui tub de oțel cu grosimea mică pentru ghidarea traseului ([figura 5.21.a](#)) sau în crearea unui punct obligatoriu al traseului cablului (cu ajutorul unei garnituri din neopren), fix în raport cu elementul structural adiacent cablului ([figura 5.21.b](#)).

52. În cazul ancorării tendoanelor în elemente structurale mai puțin rigide, străpungerile prin beton își modifică geometria în condițiile deformării acestora. În consecință, este posibilă apariția încovoierii locale, motiv pentru care este obligatorie rigidizarea zonei de ancorare a cablului ([figura 5.22](#)).

53. Demontarea sistemelor de pretensionare utilizând cabluri autoprotejate sau protejate prin injecție vâscoasă se poate face cu recuperarea armăturilor, motiv pentru care aceste sisteme s-au impus și în cazul pretensionării provizorii. Detensionarea se face ca și tensionarea (simultan sau individual), iar extragerea armăturilor se realizează cu ajutorul aceluiași echipamente ca și la înșiruirea lor. Trebuie menționat că eventuala reutilizare a tendoanelor se poate face doar după tăierea extremităților afectate de amprente penelor de strângere ale ancorajelor.

54. În ce privește sistemele de pretensionare exterioară neaderentă cu injecție rigidă, operațiunea de demontare cuprinde două etape: tăierea tendonului sub tensiune și demontarea dispozitivelor de ancorare și deviere. În acest caz tendoanele nu mai pot fi refolosite, iar operațiunea de demontare trebuie planificată cu mare atenție, impunând măsuri deosebite de protecție a muncii. Pentru a se putea tăia tendonul sub tensiune se îndepărtează teaca și se distruge aderența toroanelor cu pastă de ciment pe o lungime suficientă, care să permită consumarea tuturor alungirilor armăturilor. Tăierea trebuie efectuată progresiv prin încălzirea și lichefierea oțelului armăturilor. După executarea primei tăieri, tendonul fiind detensionat pe toată lungimea sa datorită lipsei aderenței, fragmentarea sa în continuare se poate face cu flacăra oxiacetilenică sau mașini de tăiat.

5.8. Tehnologii de montare a sistemelor de pretensionare exterioară

55. Montarea și punerea sub tensiune a sistemelor de pretensionare se face respectând instrucțiunile producătorului sistemului și ale proiectantului.

56. Etapele tehnologice principale ale montării unui sistem de pretensionare exterioară sunt:

- instalarea cablajului;
- tensionarea;
- injectarea.

57. Din punct de vedere tehnologic, instalarea sistemelor de pretensionare exterioară se poate face prin două procedee:

- instalarea cablajului prefabricat integral;
- instalarea tecilor goale în poziția finală, urmată de inserarea cablurilor.

5.8.1. Instalarea cablajelor prefabricate

58. Metoda utilizării unui cablaj complet prefabricat este aplicabilă de obicei pentru tendoane scurte, ușoare și în condițiile în care pe șantier există posibilitatea depozitării întregului sistem.

59. Prefabricarea poate avea loc în fabrică sau pe șantier, totul depinzând de condițiile de transport, durata de fabricație și punere în operă, și de disponibilitatea unui spațiu adecvat pe șantier. Lungimile standard ale tuburilor se conectează pentru obținerea lungimii totale necesare. Armăturile se introduc prin împingerea tubului peste fascicolul de armături sau prin introducerea individuală a fiecărei armături prin tub.

60. Ancorajele și reazemele intermediare sunt fixate de structură. Tendonul prefabricat este amplasat în poziție finală manual sau mecanic, cu ajutorul troliului sau macaralei. Pentru a se pune în operă în poziția corectă, tendonul se fixează temporar pe traseul său, fixarea definitivă efectuându-se după corectarea deviațiilor.

5.8.2. Asamblarea în poziție a cablajului

61. Pe lângă fixarea plăcuțelor de reazem și a punctelor de deviere, este necesar să se dispună reazeme intermediare temporare pe toată lungimea tendonului anterior introducerii în tub.

62. Tubajul este pregătit și amplasat în poziția finală prin fixarea segmentelor sale de reazemele fixe și continuizarea sa. Extremitățile se conectează puternic de ancoraje, iar în momentul în care tubul este bine fixat, se introduc armăturile active cu ajutorul unui troliu. Dacă armătura activă este alcătuită din bare drepte, barele se pot introduce succesiv, una câte una.

5.8.3. Tensionarea

63. De regulă, tendoanele exterioare se pun sub efort cu verine care permit tensionarea simultană și ancorarea individuală.

64. Fascicolele cu teacă generală sunt tensionate constant, în una sau mai multe etape, până când se obține forța necesară. Injectarea se face după finalizarea operațiunilor de tensionare

65. Toroanele autogresate și/sau autoprotejate sunt tensionate în două etape. În prima etapă se aplică o forță inițială pentru a întinde toronul, după care se injectează teaca. În etapa a doua, forța detensionare se aplică uniform până la valoarea finală. Dacă injecția generală este de tip rigid, a doua etapă se efectuează după întărirea pastei de ciment.

66. În funcție de tipul de ancoraj folosit, tensiunea din tendon poate fi verificată, ajustată sau eliberată folosind același aparat detensionare.

5.8.4. Injectarea

67. Ancorajele includ o legătură cu lapte de ciment, putând fi folosite ca admisie și ca orificiu de evacuare. Chiar mai mult, legăturile cu lapte de ciment se dispun în punctele de deviație.

68. Injectarea începe în capătul cel mai de jos al tendonului și continuă constant, până când se scurge substanța injectată, de aceeași consistență, prin punctele de deviere și în final la celălalt capăt. Pentru tendoanele lungi, pentru injectare se prevăd și o serie de orificii de admisie intermediare dispuse pe lungimea tendonului. Dispozitivele de ancorare se injectează la final.

5.9. Tendințe privind evoluția precomprimării exterioare și criteriile de selectare a sistemului de pretensionare

69. Pretensionarea exterioară se constituie dintotdeauna într-un stimul pentru creația inginerescă, astfel încât inovații aduse în interiorul conceptului pot fi oricând posibile. Acestea se pot oricând materializa în noi materiale (de exemplu armăturile active din oțel își găsesc deja înlocuitori în armăturile din fibre de sticlă, carbon și materiale plastice, dar care deocamdată au costuri de producție mult prea ridicate pentru a se impune în practica curentă), noi concepte structurale și metode de proiectare, precum și în tehnologii de execuție de avangardă. Noutăți importante pot apărea și în domeniul sistemelor de protecție anticorozivă, introducerea sistemelor mecanice și ventilare și uscare a aerului pentru controlul parametrilor de mediu fiind deja un pas realizat în această direcție. Sistemele de pretensionare exterioare se pretează de asemenea tehnicilor de monitorizare permanentă, monitorizarea acustică fiind un pas deja materializat, progrese importante fiind așteptate și în modalitățile de inspectare a structurilor.

70. Cele mai importante criterii³¹ pentru alegerea sistemului de pretensionare sunt:

- condițiile de mediu și de expunere a tendoanelor;
- necesitatea reajustării nivelului eforturilor în tendoane pe durata de exploatare a structurii;
- corelarea mărimii structurii și a traseelor cu pierderile de tensiune din frecare;
- prețul și disponibilitatea pe piață;
- experiența locală;
- posibilitățile de inspectare și monitorizare.

[\[top\]](#)

6. ASPECTE PRIVIND PROIECTAREA LUCRĂRILOR DE CONSOLIDARE PRIN PRETENSIONARE EXTERIOARĂ

6.1. Particularități specifice structurilor precomprimate exterior

1. tipul legăturii dintre beton și tendoanele pretensionate influențează substanțial comportamentul unei structuri. caracteristica fundamentală a pretensionării exterioare este că aceasta creează un ansamblu de acțiuni exterioare asupra structurii propriu-zise în toate fazele de solicitare (figura 6.1) în timp ce tendoanele interioare aderente, după întărirea pastei de ciment, crează stări de eforturi interioare rezistente³² (figura 6.2).

2. Condițiile mecanice ale comportării armăturilor pretensionate exterioare sunt foarte asemănătoare cu cele ale tendoanelor interne neaderente. în continuare, vor fi evidențiate particularitățile care trebuie considerate la proiectare datorită naturii diferite a legăturii dintre tendoane și beton.

6.1.1. Evaluarea deformațiilor armăturilor

3. în cazul precomprimării clasice a betonului cu armături interioare aderente (figura 6.3.), după injectare se admite că variația deformațiilor în cabluri este aceeași cu a fibrelor de beton din dreptul lor. Considerând deformațiile unitare totale ale secțiunii, deformați unitară a tendonului pretensionat aderent este:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{p0} + \delta\delta u + y_p\delta\gamma \quad (6.1.)$$

în care ε_{p0} este deformația inițială a tendonului .

4. dacă armăturile pretensionate interioare nu sunt aderente betonului, aceste relații nu mai pot fi menținute datorită faptului că nu există legături suficient de puternice între tendoane și beton. în acest caz, tendonul este în legătură directă cu betonul doar la ancoraje și în consecință variația lungimii armăturii va fi egală cu variația lungimii fibrei de beton care urmărește traseul tendonului, deformațiile distribuindu-se uniform pe lungimea sa. considerând mic unghiul dintre fibra medie și traseul tendonului (figura 6.4.), variația lungimii tendonului pretensionat se poate scrie sub forma:

$$\Delta l_p = \Delta l_{p0} - \int_{s_{s1}}^{s_{s2}} (\delta u + y_p \delta \gamma) ds \quad (6.2.)$$

în care Δl_{p0} este alungirea inițială a tendonului .

5. Această comportare este valabilă și la armăturile exterioare³³. Problema esențială constă în faptul că cablurile de pretensionare dispuse pe înălțimea secțiunii de beton faptul că variația betonului în secțiunea considerată, ci de deformațiile întregii structuri. În consecință, calculul eforturilor în tendoanele pretensionate neaderente nu se mai poate efectua cu acuratețe după analiza secțiunii, ci doar după analiza structurală de ansamblu.

6.1.2. Efecte geometrice de ordinul 2

6. Tendoanele pretensionate în exteriorul secțiunilor de beton rămân rectilinii în timpul deformării structurii între punctele unde sunt conectate cu aceasta (zonele de deviere și de ancorare). În consecință, apar efecte geometrice de ordinul 2, pe care figura 6.5. le pune foarte clar în evidență

pentru două cazuri structurale simple. Cu cât elementele de deflectare sunt mai numeroase pe deschiderea unei structuri, cu atât aceste efecte sunt mai limitate. Totuși, la structurile cu deformabilitate mare, aceste efecte pot avea o influență substanțială pentru asigurarea unui mecanism corect de cedare al structurii.

7. Ca și ipoteză simplificatoare se poate considera că frecarea și lunecarea se concentrează în zonele de deflectare și ancorare, deci în zonele de interacțiune dintre armăturile active și structura de beton³⁴. Această ipoteză nu este riguros valabilă pentru fiecare sistem de pretensionare exterioară, dar asigură un cadru necesar controlului fenomenelor.

8. variația eforturilor în tendoane ca urmare a frecării din deviatori este de aceeași natură cu a cablurilor interioare aderente, între doi deviatori eforturile într-un segment de cablu se pot considera constante, variațiile de tensiune apărând în deflectorii. pentru doua segmente consecutive de cabluri ($i, i - 1$) și respectiv ($i, i + 1$) (figura 6.6.) relația între eforturi este:

$$P_{i,j+1} = P_{i,j-1} e^{-(k s_i + \mu \theta_i)} \quad (6.3.)$$

unde :

$P_{i,i+1}$ - efortul de întindere din tendon între deviatorii i și respectiv $i+1$ (segmentul $i, i+ 1$);

$P_{i,i-1}$ - efortul de întindere din tendon între deviatorii $i - 1$ și respectiv i (segmentul $i - 1, i$);

S_i - lungimea deviatorului curent i ;

θ_i - unghiul de deviere unghiulară în deviatorul curent i ;

k - coeficientul de frecare liniară;

μ - coeficientul de frecare în porțiunile curbilunii .

9. Evaluarea exactă a efectelor lunecării și frecării cablurilor pretensionate neaderente secțiunilor de beton poate fi efectuată doar prin calcule neliniare și biografice³⁵⁻³⁷, acestea fiind indicate doar în cazul structurilor foarte zvelte, sensibile la deplasări de ordinul II.

6.2. Variația eforturilor în armăturile pretensionate

10. Determinarea exactă a variațiilor de tensiune în armăturile pretensionate este o procedură extrem de complexă și laborioasă, datorită faptului că pierderile sau câștigurile de tensiune sunt consecința interdependenței mai multor factori. De exemplu, fenomenul de relaxare a oțelului este dependent și de alți factori, cum ar fi curgerea lentă a betonului. În plus, pe lângă incertitudinile datorate interacțiunii dintre contracție, curgere lentă și relaxare, caracteristicile fizice, diferite practic pe un întreg ansamblu structural, conduc și ele la variații de tensiune. Astfel, ideea de bază în analiza variației eforturilor este de a dispune de mijloace de analiză suficient de riguroase, care să ofere suficiente informații pentru asigurarea gradului de siguranță adecvat, corelat cu durata de exploatare dorită.

11. La lucrările de consolidare, pentru calculul eforturilor în tendoanele post-întinse exterioare trebuie avute în considerare două etape distincte:

- etapa de tensionare a tendoanelor: eforturile în armăturile active sunt rezultatul forței de întindere exercitată de prese și a forțelor de frecare dintre armături și ancoraje, respectiv între armături și teci; determinarea eforturilor în armături se efectuează raportând pierderile de tensiune din frecare la valorile teoretice ale alungirilor care se înregistrează la tensionare; valoarea eforturilor inițiale după îndepărtarea preselor și blocarea ancorajelor active, se stabilește luând în considerare și scurtările datorate reculului ancorajelor;

- etapa de exploatare, caracterizată de variații de tensiune dependente de timp: eforturile în armăturile active variază continuu în timp în primul rând datorită contracției și curgerii lente a matricilor de beton sau zidărie, respectiv a relaxării oțelului; aceste fenomene trebuie luate în considerare pentru determinarea eforturilor în armături la un moment dat.

12. Dacă implementarea eforturilor de pretensionare exterioară are loc pe elemente deformatate, deformațiile acestora se vor considera ca și o stare inițială de deformații.

6.2.1. Pierderile de efort din reculul ancorajului și frecării la transfer

13. La tensionarea unui cablu apare fenomenul de lunecare a planelor în ancorajele active, denumit recul al ancorajului. Pentru sistemele de pretensionare românești, valorile lunecărilor în ancoraje și ale coeficienților de frecare sunt date în STAS 10107/0-90¹. În cazul altor sisteme de pretensionare aceste informații sunt furnizate de producător și trebuie să fie corelate cu prevederile Eurocode 2¹⁸. Valoarea pierderii de efort în ancoraj este :

$$\Delta P_{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{L_p} A_p E_p \quad (6.4.)$$

unde λ_1 și λ_2 sunt lunecările în ancorajele de la extremitățile tendonului (la ancorajele pasive acestea sunt nule), L_p este lungimea tendonului pretensionat, iar A_p și E_p sunt aria secțiunii nominale, respectiv modulul de elasticitate al tendonului.

14. În cazul sistemelor de pretensionare exterioară, mai ales la cele demontabile, este posibil ca efectele acestui recul să nu fie compensate de frecarea armăturii active în blocul de ancorare. Dacă reculul se compensează în blocul de ancorare, efectul său se va face simțit pe o lungime x de la extremitatea blocată în ancorajul activ, întocmai ca și în cazul armăturilor post-întinse interioare. Dacă efectul acestui recul se manifestă pe o lungime x mai mare decât dimensiunea blocului de ancorare, o parte din efectul său va influența și efortul în segmentul de cablu imediat alăturat blocului de ancorare ([figura 6.7.](#)).

15. Variația pierderii de efort $\Delta P_{\lambda}(x)$ se poate considera ca fiind liniară pe lungimea x , efectele reculului reducându-se datorită frecării, aceasta considerându-se cu 30% mai accentuată la revenirea armăturii în raport cu frecarea de la întinderea acesteia. Astfel, la revenirea armăturii coeficienții de frecare se consideră cu valorile $k' = 1,3 k$ și respectiv $\mu' = 1,3 \mu$ ([figura 6.8.](#)).

16. Deoarece coeficienții de frecare sunt diferiți la tensionare și destindere, determinarea lungimii x se poate face în general prin încercări succesive. Alegând o distanță x pentru care se calculează pierderea de tensiune, aceasta se va calcula ca și suma pierderilor la tensionare și respectiv la revenirea armăturii. Valoarea maximă va fi:

$$\Delta P_{\lambda}(x) = P_{0k} \left[1 - e^{-(k' x + \mu' \theta_0)} \right] + P_{0k} \left[1 - e^{-(k x + \mu \theta_0)} \right] \quad (6.5.)$$

unde Θ_0 este deviația unghiulară în blocul de ancorare, P_{0k} este efortul în tendon corespunzător efortului unitar de control, iar k și μ sunt coeficienții de frecare liniar și respectiv în zone curbilinii. Dacă aria hașurată rezultată are valoarea egală cu $\lambda e_p a_p$, atunci valoarea lui x este cea considerată. În caz contrar, se aleg noi valori pentru x până când este satisfăcută egalitatea. Dacă lungimea x este mai mare decât grosimea blocului de ancorare, rămâne o parte necompensată din reculul ancorajului care se transmite segmentului de cablu adiacent zonei de ancorare și care se materializează prin scurtarea acestuia ([figura 6.7.](#)). Această scurtare poate genera la rândul ei lunecarea în deviatori, iar estimarea variației eforturilor se va efectua potrivit procedurii de la punctul 6.2.2.

17. Dacă reculul ancorajului este compensat în blocul de ancorare, pierderile de efort din frecare la transfer într-un segment curent ($i, i + 1$) de tendon sunt:

$$\Delta P_{ij+1} = P_{0k} \left[1 - e^{-\left(k \sum_i s_i + \mu \sum_i \theta_i\right)} \right] \quad (6.6.)$$

unde $\sum_i s_i$ și $\sum_i \theta_i$, sunt lungimile și, respectiv deviațiile unghiulare cumulate ale deviatorilor până la segmentul de tendon considerat.

6.2.2. Variația eforturilor datorită lunecării tendoanelor în deviatori

18. calculul simplificat poate fi efectuat continuând efortul din tendoane într-o singură etapă^{31,34}. pentru estimarea lunecărilor și respectiv a variațiilor de efort asociate lor, este necesar să se ia în considerare și variația eforturilor în tendoane în urma deformării structurii de beton. ca urmare a acestor variații (considerând inițial lunecările blocate în deviatori), într-un deviator curent i ([figura 6.9.](#)) lunecarea tendonului poate avea loc de la stânga la dreapta (pe direcția $i \rightarrow i+1$) sau de la dreapta la stânga (pe direcția $i \rightarrow i-1$), în funcție de mărimea eforturilor din cele două segmente de cablu rezultate în urma deformării structurii.

19. Lunecarea nu se va iniția într-un deviator curent i dacă eforturile în segmentele de tendon adiacente, rezultate în urma deformării întregii structuri, satisfac relația:

$$P_{i-1j} e^{-\left(k s_i + \mu \theta_i\right)} \leq P_{ij+1} \leq P_{i-1j} e^{+\left(k s_i + \mu \theta_i\right)} \quad (6.7.)$$

20. Lunecarea are loc dacă între segmentele adiacente deviatorului i apare un dezechilibru de forma:

$$v_i P_{ij+1} > v_i P_{i-1j} e^{+\left(k s_i + \mu \theta_i\right)} \quad (6.8.)$$

unde v_i este o variabilă întregă având valorile egale cu ± 1 , respectiv:

- $v_i = + 1$ dacă sensul lunecării este de la stânga spre dreapta (pe direcția $i \rightarrow i+1$);

- $v_i = - 1$ dacă sensul lunecării este de la dreapta spre stânga (pe direcția $i \rightarrow i-1$).

21. Prin lunecare, efortul în tendon se continuizează în dreptul deviatorului i. Astfel, la încetarea lunecării inegalitatea (6.7.) ajunge la limită:

$$P_{ij+1} - v_i P_{ij+1} = (P_{i-1j} + v_i \Delta P_{i-1j}) e^{+v_i (k' s_i + \mu' \theta_i)} \quad (6.9.)$$

22. Ca urmare a lunecării în deviatorul i, segmentele de cablu adiacente vor suferi următoarele scurtări și alungiri:

$$\delta_{i-1j} = +v_i \frac{\Delta P_{i-1j} l_{i-1j}}{A_p E_p} \quad \delta_{ij+1} = -v_i \frac{\Delta P_{ij+1} l_{ij+1}}{A_p E_p} \quad (6.10.)$$

23. Admițând simplificarea $|\delta_{i-1,1}| = |\delta_{1,j+1}|$, din ecuațiile (6.8.) și (6.9.) se pot stabili valorile lunecării în deviator și a variațiilor de efort asociate lor în segmentele de tendon adiacente .

24. procedând similar cu porțiunea de tendon înglobată în zona de ancorare și tendonul de segment adiacent, variația eforturilor și (figura 6.10.) se stabilește cu relațiile³⁶ :

$$\Delta P_0 = [P_{0,1} - (P_0 - \Delta P_\lambda) e^{-B_0}] \frac{\frac{l_{0,1}}{E_{0,1}} + \frac{s_0}{2E_0}}{\frac{l_{0,1}}{E_{0,1}} e^{+B_0} + \frac{s_0}{2E_0} (e^{+B_0} + 1)} \quad (6.11.)$$

$$\Delta P_{0,1} = [P_{0,1} - (P_0 - \Delta P_\lambda) e^{-B_0}] \frac{\frac{s_0}{2E_0}}{\frac{l_{0,1}}{E_{0,1}} e^{+B_0} + \frac{s_0}{2E_0} (e^{+B_0} + 1)}$$

unde :

$$B_0 = \frac{1+v_0}{2} A_0' + \frac{1-v_0}{2} A_0''$$

$$A_0' = k' s_0 + \theta \mu' \quad A_0'' = k'' s_0 + \mu'' \theta$$

$$k'' = 1,3 k' \text{ și } \mu'' = 1,3 \mu'$$

25. în cazul blocurilor ancorajelor pasive (figura 6.11.) variația eforturilor este dată de :

$$\Delta P_n = (v_n P_n e^{B_n} - v_n P_{n-1,n}) \frac{\frac{l_{n-1,n}}{E_{n-1,n}} + \frac{s_n}{2E_n}}{\frac{l_{n-1,n}}{E_{n-1,n}} e^{B_n} + \frac{s_n}{2E_n} (e^{B_n} + 1)}$$

$$\Delta P_{n-1,n} = \left(P_n - P_{n-1,n} e^{+B_n} \right) \frac{\frac{S_n}{2E_n}}{\frac{l_{n-1,n}}{E_{n-1,n}} + \frac{S_n}{2E_n} (e^{B_n} + 1)} \quad (6.12.)$$

unde :

$$B_n = \frac{1 - \nu_n}{2} A_n - \frac{1 + \nu_n}{2} A'_n,$$

$$A_n = k s_n + \mu \theta_n \quad A'_n = k' s_n + \mu' \theta_n$$

$$k' = 1,3 k \text{ și } \mu' = 1,3 \mu.$$

26. Pentru stabilirea variației finale a efortului de-a lungul unui tendon, calculul se efectuează iterativ începând cu cel mai dezechilibrat deviator, până la obținerea condițiilor de neinițiere a lunecării atât în blocurile de ancorare cât și în deviatori.

6.2.2.1. Aplicație

să se calculeze variația eforturilor de-a lungul toroanelor post-întinse 2 tbp 9 ([figura 6.12.](#)), deplasările structurii fiind date în tabelul 6.1.

Tab. 6.1.

Săgeți în ancoraje și deflectori după transfer

Secțiunea	0	1	2	3
Săgeata (mm)	0,2	3,6	3,4	0,2

Traseul toroanelor este rectiliniu în blocurile de ancorare, iar tensionarea se efectuează de la extremitatea 0 cu ancoraje cu pene metalice individuale, extremitatea 3 fiind prevăzută cu un ancoraj pasiv. Coeficientul de frecare în zone curbilunii este $\mu = 0,3$, iar lungimile deflectorilor sunt neglijabile.

• unghiuri de deflecție:

$$\theta_1 = \theta_2 = \arctan\left(\frac{600}{2900}\right) = 0,204 \text{ rad} = 11,7^\circ$$

• efortul unitar de control pentru un toron este:

$$P_{01} = P_{0k} = 0,8 A_p R_{pk} = 0,8 \times 49,5 \times 1660 = 65,736 \text{ N} \cong 65,7 \text{ kN}$$

$$P_{12} = P_{01} e^{-\mu \theta_1} = 65,7 \times e^{-0,3 \times 0,204} = 61,8 \text{ kN}$$

$$P_{23} = P_{12} e^{-\mu \theta_2} = 61,8 \times e^{-0,3 \times 0,204} = 58,1 \text{ kN}$$

- pierderi de efort în segmentul 0-1 din reculul ancorajului :

$$\Delta P_{01}^{\lambda} = \frac{\lambda_1}{l_{01}} A_p E_p = \frac{-4}{\sqrt{600^2 + 2900^2}} \times 49,5 \times 180000 = -12,035 \text{ N} \cong -12,0 \text{ kN}$$

- alungiri ale segmentelor de toron din deplasările structurii :

$$\Delta l_{01} = \sqrt{2900^2 + (600 + 3,6 - 0,2)^2} - \sqrt{2900^2 + 600^2} = 0,7 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{12} = 2500 - \sqrt{2500^2 + (3,6 - 3,4)^2} \cong 0,0 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{23} = \sqrt{2900^2 + (600 + 3,4 - 0,2)^2} - \sqrt{2900^2 + 600^2} = 0,6 \text{ mm}$$

- variații de efort din deplasările structurii în segmentele toronului

$$\Delta P_{01}^{\delta} = \frac{\Delta l_{01}}{l_{01}} A_p E_p = \frac{0,7}{\sqrt{2900^2 + 600^2}} \times 49,5 \times 180000 = 2,106 \text{ N} \cong 2,1 \text{ kN}$$

$$\Delta P_{12}^{\delta} = \frac{\Delta l_{12}}{l_{12}} A_p E_p = 0,0 \text{ kN}$$

$$\Delta P_{23}^{\delta} = \frac{\Delta l_{23}}{l_{23}} A_p E_p = \frac{0,6}{\sqrt{2900^2 + 600^2}} \times 49,5 \times 180000 = 1,805 \text{ N} \cong 1,8 \text{ kN}$$

- eforturi in segmentele toronului :

$$\bar{P}_{01} = P_{01} + \Delta P_{01}^{\lambda} + \Delta P_{01}^{\delta} = 65,7 - 12,0 + 2,1 = 55,8 \text{ kN}$$

$$\bar{P}_{12} = P_{12} + \Delta P_{12}^{\delta} = 61,8 + 0,0 = 61,8 \text{ kN}$$

$$\bar{P}_{23} = P_{23} + \Delta P_{23}^{\delta} = 58,1 + 1,8 = 59,9 \text{ kN}$$

- condiția de inițiere a lunecării în deviatorul 1 (cel mai dezechilibrat deviator) :

$$v_1 \bar{P}_{12} > \bar{P}_{01} e^{+\mu \theta_1}$$

- pentru $v_1 = -1$ (lunecarea pe direcția $1 \rightarrow 0$)

$$-61,8 \text{ kN} < -55,8 \times e^{-0,3 \times 0,204} = -54,6 \text{ kN} \Rightarrow \text{nu se inițiază}$$

- pentru $v_1 = +1$ (lunecarea pe direcția $0 \rightarrow 1$, cu un coeficient de frecare mărit cu 30%)

$$61,8 \text{ kN} < 55,8 \times e^{+0,3 \times 0,204} = 57,2 \text{ kN} \Rightarrow \text{se inițiază}$$

- variații de efort în segmentele 01 și 12 după consumarea lunecării :

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{P}_{12} - v_1 \Delta \bar{P}_{12} = (P_{01} + v_1 \Delta \bar{P}_{01}) e^{+v_1 \mu \theta_1} \\ \left| +v_1 \frac{\Delta \bar{P}_{01} L_{01}}{A_p E_p} \right| = \left| -v_1 \frac{\Delta \bar{P}_{12} L_{12}}{A_p E_p} \right| \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 61,8 - 1 \times \Delta \bar{P}_{12} = (55,8 + 1 \times \Delta \bar{P}_{01}) \times e^{+1 \times 0,39 \times 0,204} \\ +1 \times \frac{\Delta \bar{P}_{01} \times \sqrt{2900^2 + 600^2}}{49,5 \times 180000} = \left| -1 \times \frac{\Delta \bar{P}_{12} \times 2500}{49,5 \times 180000} \right| \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v_1 \Delta \bar{P}_{01} = +0,6 \text{ k} \\ -v_1 \Delta \bar{P}_{12} = -0,7 \end{array} \right.$$

- eforturi în segmentele toronului după lunecarea în deviatorul 1 :

$$\bar{P}_{01} = \bar{P}_{01} + v_1 \Delta \bar{P}_{01} = 55,8 + 0,6 = 56,4 \text{ kN}$$

$$\bar{P}_{12} = \bar{P}_{12} - v_1 \Delta \bar{P}_{12} = 61,8 - 0,7 = 61,1 \text{ kN}$$

$$\bar{P}_{23} = 59,9 \text{ kN}$$

- condiția de inițiere a lunecării în deviatorul 2 (cel mai dezechilibrat deviator)

$$v_2 \bar{P}_{23} > v_2 \bar{P}_{12} e^{+v_2 \mu \theta_2}$$

- pentru $v_2 = -1$ (lunecarea pe direcția $2 \rightarrow 1$)

$$-59,9 \text{ kN} < -61,1 \times e^{-0,39 \times 0,204} = -57,5 \text{ kN} \Rightarrow \text{nu se inițiază}$$

- pentru $v_2 = +1$ (lunecarea pe direcția $1 \rightarrow 2$, cu un coeficient de frecare mărit cu 30%)

$$59,9 \text{ kN} < 61,1 \times e^{+0,39 \times 0,204} = 66,2 \text{ kN} \Rightarrow \text{se inițiază}$$

- eforturi fenale în segmentele toronului :

$$\bar{P}_{01} = 56,4 \text{ kN}$$

$$\bar{P}_{12} = 61,1 \text{ kN}$$

$$\bar{P}_{23} = 59,9 \text{ kN}$$

6.2.3. Pierderi de efort datorate deformației elastice a betonului și zidăriei la transfer

27. Pretensionarea succesivă a mai multor armături se materializează prin deformări succesive ale structurii, care influențează nivelul eforturilor în armături, aceste aspecte fiind reglementate atât în STAS 10107/0-90¹ cât și Eurocode 2¹⁸. Pierderile de efort în ancoraje ΔP_s , datorate scurtării elastice a betonului (sau zidăriei) $\delta_{b(z)}$ creată prin întinderea succesivă a armăturilor se pot calcula cu relația:

$$\Delta P_s = \frac{\delta_{b(z)}}{l_p} A_p E_p = \varepsilon_{b(z)} A_p E_p = \frac{E_p}{E_{b(z)0}} A_p \sigma_{b(z)} \quad (6.13.)$$

unde $\sigma_{b(z)}$ este efortul unitar în beton (zidărie) la nivelul centrului de greutate al ancorajului armăturii, iar $E_{b(z)0}$ este modulul de elasticitate al betonului (zidăriei) la transfer.

28. Pentru armătura curentă j , relația (6.13.) se poate scrie :

$$\Delta P_s^j = \frac{E_{pj}}{E_{b(z)0}} A_{pj} \sigma_{b(z)}^{j+1n} \quad (6.14.)$$

în care $\sigma_{b(z)}^{j+1n}$ este efortul unitar care apare în beton (zidărie) la nivelul ancorajului armăturii j considerate, în urma întinderii ulterioare a celorlalte armături, de la $j+1$ la n .

29. Dacă armăturile active sunt grupate pe o zonă relativ restrânsă în raport cu dimensiunile elementului și pretensionate la eforturi egale, pierderea de efort medie se poate calcula cu relația:

$$\Delta P_s = \frac{n-1}{n} \frac{E_{pi}}{E_{bo}} A_{pi} \sigma_{bp} \quad (6.15.)$$

în care $\sigma_{b(z)p}$ este efortul unitar în beton (zidărie) la nivelul centrului de greutate al ancorajelor grupului de armături, n fiind numărul de armături post-întinse succesiv.

30. La stabilirea eforturilor unitare în beton sau zidărie se vor lua în considerare, pe lângă efectul pretensionării, toate încărcările ce acționează asupra structurii la momentul pretensionării.

6.2.4. Variații de efort datorate deformațiilor de lungă durată ale materialelor structurale

31. Datorită independenței traseelor cablurilor pretensionate în raport cu secțiunile structurii, influența fenomenelor de contracție și curgere lentă asupra nivelului de eforturi din cabluri nu se poate raporta stării de deformații a fiecărei secțiuni transversale, ci stării de deplasări a structurii în ansamblu.

32. Având în vedere că deformațiile dependente de timp se consumă în proporție de circa 80% ÷ 90%, la momentul elaborării proiectului de consolidare trebuie avute în vedere următoarele aspecte:

- deformațiile în timp acumulate în structură include deformații elastice și deformații plastice întârziate, care s-au consumat sub efectul unei stări de eforturi care corespunde modului de exploatare a clădirii până la avarierea acesteia și luarea deciziei de intervenție;

- caracteristicile de rigiditate determinate cu ocazia evaluării structurii înglobează și influența deformațiilor elasticității întârziate, astfel încât prin revenirea acestora caracteristicile de rigiditate vor suferi variații în timp;

- prin consolidare este posibilă crearea unei stări de eforturi substanțial diferită de cea existentă până la avariere.

33. Stabilirea exactă prin calcule a stării în timp asociate caracteristicilor de rigiditate poate fi efectuată doar prin analize structurale neliniare și biografice, care sunt recomandate a se efectua doar la lucrările de importanță deosebită.

34. Pentru lucrările curente, dar și pentru cele de importanță deosebită (în scopuri comparative), se recomandă stabilirea influenței deformațiilor de lungă durată pornind de la caracteristicile de rigiditate reziduale ale structurii, corectate cu factori stabiliți pe baza mărimii deformațiilor elastice întârziate înregistrate în momentul producerii avarierii și a eventualelor reveniri înregistrate până în momentul consolidării. Factorii de corecție pot fi stabiliți aplicând modelele de calcul a deformațiilor de lungă durată prevăzute de STAS 10107/0-90¹, CR 6-1-1³⁸, sau alte modele liniare sau neliniare confirmate științific. Eurode 2² și Eurocode 6³⁹ prevăd și ele modele de calcul a deformațiilor de lungă durată ale betonului și zidăriei.

6.2.5. Pierderi de tensiune datorate relaxării oțelului

35. Cunoscând pierderile de efort finale datorate relaxării oțelului $\Delta P_{r\infty}^1$, în funcție de rezistența caracteristică R_{pk} și efortul în armătura activă imediat după transfer σ_{p0} (P_{p0}), efortul imediat după transfer în armătura activă va fi afectat de pierderile de efort datorate lunecării armăturii în ancoraje, frecării la tensionare și deformării elastice a betonului la transfer.

36. Pierderile de efort la un moment t , pot fi determinate cu relația:

$$\Delta P_{rt} = K_{rt} \Delta P_{r\infty}^1 \quad (6.16.)$$

unde coeficientul care exprimă relaxarea armăturii pretensionate la un moment t , în raport cu valoarea finală a relaxării ($K_{rt} = \Delta P_{rt} / \Delta P_{r\infty}^1$) se va determina experimental. În lipsa datelor experimentale, se pot lua în considerare valorile tabelare din STAS 10107/0-90¹.

37. Potrivit Eurocode 2¹⁸, atât pe termen scurt cât și lung, valorile pierderilor de tensiune se raportează celor obținute experimental la 1000 de ore. Valorile finale (pe termen lung) se obțin cu relația:

$$\Delta P_r = K_r \cdot \Delta P_{r1000} \quad (6.17.)$$

unde valorile coeficientului relaxării finale K_r sunt date tabelar, iar pierderile de efort la 1000 de ore se stabilesc în baza unui grafic.

6.3. Prevederi ale proiectării după Metoda Stărilor Limită

38. Precomprimarea cu tendoane exterioare neaderente conduce la capacități portante mai reduse în raport cu precomprimarea aderentă. Deformațiile în cabluri se distribuie mai uniform pe lungimea lor, iar în secțiunile critice eforturile în ele sunt mai reduse. Un alt motiv este apariția în apropierea ruperii a câtorva fisuri având deschideri mari. În loc de o mulțime de fisuri cu deschideri mici, specifice elementelor cu armături active aderente. Aceste fisuri provoacă concentrări de eforturi în masa elementului structural, determinând cedarea sa.

39. Determinarea riguroasă a stărilor de eforturi și deformații ale structurilor consolidate prin precomprimare cu armături exterioare se poate face cu proceduri de calcul neliniar având caracter biografic, pornind de la caracteristicile reziduale și aplicând sarcinile în etape³¹. Încărcările trebuie introduse în ordine cronologică deoarece orice altă ordine denaturează starea de eforturi în armăturile active ca urmare a ireversibilității lunecărilor. Fiecare încărcare trebuie introdusă pas cu pas pentru a surprinde ordinea exactă a lunecărilor succesive în zonele de contact cu structura. O astfel de abordare poate caracteriza comportarea unei structuri atât la transfer, cât și în serviciu sau în vecinătatea colapsului structural. Astfel de abordări sunt recomandate doar la structurile de o importanță deosebită, fiind mari consumatoare de timp și resurse financiare.

40. La structurile curente, se recomandă metode simplificate de calcul, în conformitate cu specificul fiecărei verificări în parte și a nivelului sarcinilor considerate.

6.3.1. Stări limită ale exploatării normale

41. În condițiile specifice stărilor limită ale exploatării normale structura se consideră că lucrează în domeniul linear-elastic sub acțiunea încărcărilor de exploatare. Deformabilitatea structurii este invariabilă în acest caz și independentă de cazul de încărcare considerat. Tendoanele pretensionate rămân și ele liniar-elastice, iar efectul sistemului de pretensionare asupra structurii poate fi considerat ca un sistem de forțe exterioare.

42. În situațiile curente efectele geometrice de ordinul 2 sunt ne semnificative, tendoanele fiind alcătuite din segmente scurte. Deplasările structurii sunt și ele reduse, ceea ce conduce la variații mici ale eforturilor în cablurile pretensionate. Totuși, este necesară estimarea lor pentru a se verifica dacă este posibilă în serviciu lunecarea tendoanelor sub diverse combinații ale încărcărilor temporare. Deoarece lunecările frecvente conduc la degradări ale cablurilor datorate frecării și încovoierii locale, ele trebuie împiedicate dacă sunt posibile prin dispozitive speciale.

6.3.2. Stări limită ultime

43. în condițiile stărilor limită ultime structura de beton este fisurată și parțial plastifiată. tendoanele sunt și ele plastificate, iar evaluarea deformațiilor limită nu se poate efectua în mod direct, prin raportare la deformațiile betonului ca și în cazul cablurilor aderente metodele simplificate de calcul în domeniul plastic sunt instrumente care permit asigurarea gradului de siguranță la nivelul prevăzut de standardele și normele de proiectare, distribuția eforturilor în structură și determinarea eforturilor în tendoane fiind stabilite pe mecanismele de cedare ([figura 6.13.](#)).

[\[top\]](#)

7. MONITORIZAREA SISTEMELOR DE PRETENSIONARE EXTERIOARĂ

7.1. Necesitatea monitorizării

1. Umiditatea poate intra în sistemul de pretensionare în următoarele etape:

- pe durata stocării în uzinele de fabricație sau „in situ”;
- în timpul transportului și manipulării;
- în timpul montării;
- după montare și înainte de etanșizarea și injectarea tubajului, respectiv a zonelor de ancorare .

2. Stabilirea prezenței și extinderii coroziunii cablurilor pretensionate în structurile existente este o problemă dificilă datorită arbitrariului în manifestarea vizibilă a fenomenului. Mediul ambiant, în care structura este localizată, nu este singurul indicator cu privire la posibilitatea de apariție a coroziunii. Așa cum s-a menționat anterior, cablurile care prezintă tubaje mai neregulate și cu relaxări pot prezenta umezeală atrasă pe durata fabricării, transportului, depozitării sau execuției. În timpul execuției, ploile, ninsorile sau umiditatea pot cauza penetrarea cablului în timp ce este neprotejat, înainte de turnarea betonului sau înainte de tăierea capetelor și de sigilarea zonelor de ancorare. După execuție, apa poate penetra sistemul ca o consecință a detaliilor insuficiente a proiectului și a execuției greșite. Astfel, coroziunea și cedarea cablului se poate manifesta și în construcții care nu prezintă semne vizibile de expunere la umiditate. Prezența ancorajelor slab protejate în zonele expuse. În rosturile de dilatație sau etanșizare, crește probabilitatea apariției coroziunii. Tendonul poate ceda ca urmare a coroziunii, fisurării sub tensiune sau fragilizării prin hidrogenare.

3. Problemele asociate coroziunii și ruperea sârmelor toroanelor în structurile existente, au fost dintotdeauna dificil de evaluat și rezolvat. Tendoanele neaderente post-tensionate au produs numeroase incidente datorită protecției inadecvate a sistemului de pretensionare, punerii necorespunzătoare în operă sau expunerii agresivității mediului înainte și pe durata execuției, respectiv în serviciu. În prezent, inspectarea vizuală este modalitatea primară de detecție a defectelor și deteriorărilor structurale. Aceasta poate pune în evidență doar afecțiuni de suprafață sau indiciile de suprafață ale cauzelor ascunse. Metodele convenționale și distructive de inspectare și evaluare sunt foarte costisitoare, adesea ele fiind neconvingătoare mai ales datorită selectării aleatorii a mostrelor. Aceste metode includ proceduri ca penetrări și perforări ale betonului pentru a asigura accesul la oțel. Sau detensionarea și extragerea tendoanelor pretensionate selectate. O evaluare competentă a structurilor din beton armat și precomprimat pretinde înțelegerea fenomenelor și experiență în identificarea zonelor cu potențial de apariție a coroziunii în construcții extinse.

7.2. Inspectarea sistemelor de pretensionare exterioară

4. Toate elementele de pretensionare prezintă un număr de caracteristici comune:

- sunt echipamente mecanice;
- sunt echipamente care se raportează structurii principale;
- sunt echipamente exterioare structurii, fiind subiectul atât al solicitărilor structurii cât și al agenților mediului.

5. Aceste caracteristici necesită o analiză meticuloasă a funcționalităților și verificări periodice ale acestora în vederea exploatării normale a construcției. Conceptul de monitorizare este strâns legat de concepția consolidării și specificul structurii, concepția diferitelor dispozitive și a cablurilor însăși. Decizia de a supune o structură unei monitorizări programate trebuie luată de proprietarul

lucrării în momentul constituirii documentației preliminare, astfel încât activitatea de concepție să se coreleze cu programul de monitorizare. Monitorizarea sistemului de pretensionare trebuie să se distribuie în două direcții principale:

- inspectarea cablului curent;
- inspectarea zonelor de ancorare și deflectare.

6. Inspectarea cablului curent comportă un examen vizual extern. Cu excepția cablurilor protejate prin injecție rigidă cu pastă de ciment, toate celelalte variante sunt accesibile unei investigații prin detensionarea și expertizarea în detaliu a toroanelor (cu sau fără înlocuirea lor). Expertizarea în detaliu a toroanelor presupune:

- examen vizual;
- măsurarea proprietăților mecanice;
- constatarea gradului de uzură al primei bariere de protecție.

7. Zonele de ancorare necesită o inspectare a zonei de tranziție și a zonei ancorajului propriu-zis. Zona de tranziție constă într-un mare număr de piese cu rol de accesorii, dar în același timp care au un rol esențial în asigurarea unei comportări corecte a cablului în diversele faze de solicitare (ghidare, amortizare vibrații, etanșeizare, etc.). Pentru a fi accesibile supravegherii, aceste dispozitive trebuie să fie astfel proiectate încât să fie ușor de montat și demontat fără a fi afectate. În aceste cazuri o atenție deosebită trebuie acordată vopselei anticorozive, a cărei grosime poate afecta dispozitivul, conducând la griparea unui filet, obturarea unei fante, etc. Operațiunea de inspectare constă în:

- examen vizual înaintea demontării și după demontare;
- expertizarea anumitor materiale (neopren, mastic, mase plastice).

8. Inspectarea zonei ancorajului constă în:

- examen vizual extern;
- înlăturarea capacului de protecție și examinarea vizuală a ancorajului;
- analiza produsului injectat în ancoraj;
- demontarea și examinarea în detaliu a pieselor ancorajului, în măsura în care este posibil;
- inspectarea fibrelor toroanelor detensionate;
- inspectarea filetelor .ce permit reglaje.

9. Zonele de deviație se examinează vizual atât din punctul de vedere al geometriei cât și din punctul de vedere al protecției cablului.

7.3. Programe de monitorizare

10. Frecvența verificărilor, natura și conținutul lor se vor stabili conform prevederilor menționate în P 130-1999⁴¹ „Normativ privind urmărirea comportării în timp a construcțiilor” și trebuie cuprinse într-un raport de monitorizare. Începând cu perioada testelor finale dinaintea exploatării unei structurii consolidate, se recomandă a se efectua operațiuni de control la 1, 3 și 5 ani, iar în continuare din 5 în 5 ani, până la expirarea duratei de exploatare a construcției.

11. Raportul de supraveghere trebuie să conțină pentru fiecare operațiune ansamblul observațiilor de făcut (măsurători, analize, expertize, încercări mecanice, fotografii etc). Constă de asemenea într-o sinteză care să cuprindă o apreciere a comportamentului structural. Această apreciere trebuie să se bazeze pe specificațiile constructive și în special pe capitolul calității, care trebuie să conțină istoria fiecărui grup de elemente, anomaliile, acțiunile corective, care vor constitui imaginea reală a lucrării. Plecând de la acest document, gestionarii lucrării vor decide:

- menținerea structurii în starea din perioada controlului;
- efectuarea de investigații suplimentare, în afara programului de monitorizare;
- efectuarea de lucrări de întreținere, având un caracter preventiv .

[\[top\]](#)

BIBLIOGRAFIE

1. STAS 10107/0-90, „Calculul și alcătuirea elementelor structurale din beton, beton armat și beton precomprimat”.
2. GT 002-1996, „Ghid practic pentru determinarea degradărilor și rezistenței betonului și a caracteristicilor dinamice ale structurilor de beton armat supuse seismelor, prin metode nedistructive”, în curs de publicare.
3. PC 1/2-1994, „Îndrumător de investigare și diagnosticare a stării structurilor din beton armat, beton precomprimat și oțel situate în medii agresive”, B.C. nr. 6/1995.
4. C 26-1985, „Normativ pentru încercarea betonului prin metode nedistructive”, B.C. nr. 8/1985, B.C. nr. 2/1987.
5. C 54-1981, „Instrucțiuni tehnice pentru încercarea betonului cu ajutorul caratelor”, B.C. nr. 2/1982.
6. C 117-1970, „Instrucțiuni tehnice pentru folosirea radiografiei la determinarea defectelor din elementele de beton armat”. B.C. nr 9/1970.
7. C 244-1993, „Ghid pentru inspectare și diagnosticare privind durabilitatea construcțiilor din beton armat și precomprimat”, B.C. nr. 9/1993.
8. P 100-1992, „Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe, social culturale, agrozootehnice și industriale”, B.C. nr. 1-2/1992, B.C. nr. 11/1996.
9. ST 001-1996, „Specificație tehnică privind stabilirea calității betoanelor și mortarelor din construcții existente prin metode fizico- chimice”, în curs de publicare.

10. MP 007-99, „Metodologie de investigare a zidărilor vechi”. B.C. nr. 8/2000.
11. P 118-1999, „Normativ de siguranță la foc a construcțiilor” . B.C. nr. 7/1999.
12. Specht, M. et al., „Spannweite der Gedanken, zur 100. Wiederkehr des Geburtstages von Franz Discliinger (The spân of ideas. on the centenary of the birth of Franz Discliinger)”, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
13. Freyssinet, E., „Une revolution dans les techniques des betons (A revolution in concrete techniques)”, Librairie de l'Enseignement Technique, Editeur Leon Eyrolles, Paris, 1936.
14. Foure, B., „Les essais du CEBTP a Saint-Remy-Les Chevreuse”, Association Francaise pour la Construction: La precontrainte exterieure. Le point de la question aujourd'hui, nr. 291-Janvier 1992.
15. Ivanoff, M., „L'injection mixte en precontrainte exterieure”, Association Francaise pour la Construction: La precontrainte exterieure. Le point de la question aujourd'hui, nr. 291-Janvier 1992.
16. Carlos de la Fuente, "Vibrations des haubans: L'amortissein Freyssinet", Xle Congres de la F1P, Hambourg 1990.
17. Aeberhard, H.U. et al., „External Post-Tensioning: Design Considerations”, VSL External Tendons, Examples from Practice, VSL Report Series 1992.
18. Eurocode 2, „Design of concrete structures”.
19. EN 10138, „Prestressing steels”.
- 20 C 255-1987, „Norme tehnice privind protecția anticorozivă a cablurilor și toroanelor din oțel pentru construcții cu armături exterioare și construcții suspendate”. B.C. nr. 6/1987.
- 21Chaussin, R., „Les problemes generaux de la precontrainte exterieure au beton ”; Robert Chaussin; Association Francaise pour la Construction: La precontrainte exterieure. Le point de la question aujourd'hui, nr. 291-Janvier 1992.
22. Mircea C, Mircea A., „Environment Protection - Issues upon Integrating Construction Businesses with Environment Protection”, New Technologies and Present-Day Management of, Constructions, Editura Casa Cărții de Știință Cluj-Napoca 2000, STE Servizi Tehnici ed Editoriali Piacenza, ISBN 973-686-097-3.
23. Neant, C, „Dispositions specifiques au procede CC.2”, Association Francaise pour la Construction: La precontrainte exterieure. Le point de la question aujourd'hui, nr. 291-Janvier 1992.
24. Jartoux, P., Lacroix, R., „Developpement de la precontrainte exterieure. Evolution de la technologie”, XT Congres de la F1P, Hambourg 1990.
25. Boutonnet, L., „Remarques quant a Futilisation de conduits en matiere plastique dans les deviations ”, Association Francaise pour la Construction: La precontrainte exterieure. Le point de la question aujourd'hui, nr. 291-Janvier 1992.

26. Mircea, C., „Analysis of the Deflecting Zone in the External Non- Adherent Prestressing". Acta Technica Napocensis, Section Civil Engineering-Architecture, no. 39/1996.
27. Fouré, B., Paulo, C., Martins, R. Comportement en flexion jusqu'a rupture des poutres a precontrainte extérieure au béton", XIe Congrès de la FIP, Hambourg 1990.
28. Jartoux, P., „Les systemes de precontrainte extérieure. Procédés Freyssinet", XIC Congrès de la FIP, Hambourg 1990.
29. Mircea, C., „Particular Problems in the Service of the External Post- Tensioning Systems". Acta Technica Napocensis. Section: Civil Engineering-Architecture. no. 40/1997.
30. Mircea, C., „Investigation on the Flexural Effects of Externally Prestressed Cables". no. 40/1997.
31. Mircea, C., „Acoperișuri cu deschideri mari din beton precomprimat". Teză de doctorat. Universitatea Tehnică Cluj-Napoca. 1997.
32. Lin, T.Y., Burns, N.H., „Design of Prestressed Concrete Structures", John Wiley & Sons, third edition. 1981. U.S.A.
33. Mircea, C., „External Prestressing: Basic Principles of Structural Analysis", Acta Technica Napocensis, Section: Civil Engineering- Architecture, no. 40/1997.
34. Virlogeux, M., „Analyse non-lineaire des structures a precontrainte extérieure", XI^e Congrès de la FIP, Hambourg 1990.
35. Mircea, C., „External Prestressing: Non-Linear Analysis of the Tendon's Slip in the Deflecting Devices and Anchorage's Zones", Proceedings of IABSE International Conference, NEW TECH Lisbon 97, June 1997, Portugal.
36. Mircea, C., Bucur, I., „Finite Element Modelling of Unbounded Post-Tensioned Tendons", Proceedings of FIB Symposium Prague, Czech Republic, October 1999.
37. Kmet, S., „Analysis of Prestressed Nonlinear Rheological Cable Nets"; IASS-CSCe International Congress 1992, Toronto, Canada, Innovative Large Span Structures, vol.2.
38. CR 6-1-1, „Cod de proiectare și execuție a structurilor din zidărie", in curs de publicare.
39. Eurocode 6, „Design of masonry structures".
40. Ionescu, A., Mircea, C., „Long Span concrete Slabs with external Post-Tensioned Tendon Network", FIP International Symposium, London, 1995.
41. P 130-1999 „Normativ privind urmărirea comportării în timp a construcțiilor", B.C. nr. 2/2000.

[\[top\]](#)