

NORMATIV PRIVIND CONSOLIDAREA CU FIBRE A ELEMENTELOR STRUCTURALE DE BETON	Indicativ
--	-----------

## 1. OBIECTUL ȘI DOMENIUL DE APLICARE

### 1.1 OBIECT

(1) Prezentul normativ stabilește principiile și regulile de proiectare și executare a lucrărilor de consolidare cu materiale compozite polimerice armate cu fibre (PAF), a construcțiilor având structura din beton. Regulile de executare sunt detaliate pentru cazul aplicării manuale a sistemului.

(2) Utilizarea materialelor compozite pentru consolidarea elementelor/structurilor din beton armat și/sau precomprimat se va face având în vedere prevederile din :

- prezentul normativ
- fișele și agrementele tehnice ale materialelor
- rezultatele încercărilor experimentale pe elemente/structuri.

(3) La alcătuirea și calculul soluțiilor de consolidare cu sistemul PAF, trebuie avute în vedere următoarele:

- existența unei expertizări tehnice a construcției;
- existența datelor privind caracteristicile implicate, ale materialelor din zonele în care se aplică acest sistem de consolidare
- posibilitatea aplicării, în paralel cu sistemul PAF și a altor sisteme de consolidare, în alte zone ale construcției.

### 1.2 DOMENIUL DE APLICARE

(1) Domeniul specific de aplicare al armăturilor tip PAF este acela de consolidare a:

- grinzilor din beton armat în scopul creșterii capacității portante la moment încovoietor și a capacității de preluare a forței tăietoare
- plăcilor din beton armat în scopul creșterii capacității portante la moment încovoietor
- stâlpilor din beton armat în scopul: creșterii ductilității, îmbunătățirii comportării înădrilor prin suprapunere și creșterii deformației ultime și a capacității de rezistență.
- pereților structurali din beton armat în scopul creșterii capacității de preluare a forței tăietoare și a momentului încovoietor

(2) Înainte de adoptarea sistemului de consolidare cu armătură din PAF, este necesară îndeplinirea condițiilor:

- de clasă minimă de beton (în cazul aplicațiilor unde aderența este critică)
- impuse stratului suport de beton
- de mediu, în special de temperatură în exploatare.

în funcție de condițiile din fișa produsului sau agrementul tehnic (datele puse la dispoziție de producătorul sistemelor cu armături tip PAF).

### 1.3 DEFINIȚII

Adeziv	material polimeric care menține lipite suprafețele în contact a două materiale
Amorsă	material de acoperire a suprafeței înainte de aplicarea adezivului, în vederea îmbunătățirii aderenței ; amorsa poate un fluid cu vâscozitate redusă (de regulă o soluție conținând 10% adeziv diluat într-un solvent organic)
Aplicare manuală	metodă de executare a lucrărilor de consolidare în care straturile de armătură tip PAF sunt aplicate manual pe element/structură
Aplicare umedă	metodă de executare a lucrărilor de consolidare care implică aplicarea in situ a rășinii peste produsul « uscat » (pânză sau țesătură). Poate fi manuală sau mecanică
Bandă/laminat	produse prefabricate realizate din fibre și rășină. ; sunt de regulă realizate prin tragere
Compozit	termenul de “compozit” poate fi aplicat oricărei combinații a două sau mai multe componente (materiale) având o interfață ce poate fi identificată. Componentele polimerilor armați cu fibre (PAF) sunt matricea din polimeri și fibrele (care au un raport lungime/ grosime caracteristic).
Dezlipire	cedare locală în zona de aderență dintre beton și armătura exterioară tip PAF (debonding).
Desprindere	detașarea pe zone extinse, de obicei în zonele de capăt ale PAF (peeling)
Delaminare	separarea straturilor dintr-un laminat datorită cedării adezivului, fie în adeziv fie la interfața dintre adeziv și fibre
Fibre	termen generic pentru materialele de tip filament
Fibre de carbon	fibre obținute prin tratarea la temperatură înaltă (peste 980°C) a unui material organic tip PAN (poliacrilonitril) într-o atmosferă inertă. Fibrele pot fi grafitizate prin îndepărtarea atomilor ne-carbonici prin tratamente termice la temperaturi de peste 1650°C.
Fibre de sticlă	fibre obținute din sticlă topită procesată prin periere
Filamente	fibre individuale de lungime indefinită utilizate în mănunchiuri, fire sau cabluri
Filer	substanță relativ neadezivă care se adaugă în adezivi pentru îmbunătățirea lucrabilității, rezistenței și altor caracteristici ale acestora
Forfecare interlaminară	forță de forfecare acționând la interfața dintre straturile adiacente ale unui laminat
Impregnare	umplerea, manuală sau mecanică, cu rășină, până la saturare, a unui produs de tip țesătură sau pânză
Întăritor	componentă principală a adezivului care intră în reacție cu rășina pentru a asigura procesul de întărire a adezivului
Material termoplastice	matrice compozită care poate fi în mod repetat înmuiată prin încălzire și întărită prin răcire

Material termorigid	matrice compozită tratată prin încălzire și presiune sau cu un catalizator insolubil și care nu se topește. Odată tratat materialul nu mai poate reveni la structura/forma inițială
Matrice	material de legătură în care se înglobează fibrele (de obicei un polimer, dar poate fi și metalic sau ceramic)
Pânză	produs realizat din fire, fibre sau filamente, neîmpletite
Polimer	moleculă de dimensiuni mari formată prin combinarea mai multor molecule mici sau a monomerilor într-o formă regulată
Polimeri armați cu fibre (PAF)	materiale compozite alcătuite din fibre cu rezistență și rigiditate ridicată (de carbon, de aramidă, de sticlă sau polietilenă de înaltă rezistență) înglobate într-o matrice de rășină epoxidică
Polimerizare Post-tratare	reacție chimică prin care se produce legarea monomerilor procedeu prin care, prin expunerea la temperatură ridicată se îmbunătățesc proprietățile mecanice
Produse PAF prefabricate	produse plate, impregnate cu rășină prin procesul de fabricare, care pot fi depozitate la temperaturi joase până la utilizare
Rășină	polimer având greutate moleculară indefinită (de regulă mare) cu palierul de înmuiere/topire mai mare decât cel de curgere rezultat din solicitare
Strat de bază	suprafața elementului de consolidat pe care se va aplica materialul compozit
Tratare	modificarea structurii moleculare și a proprietăților fizice ale unei rășini, prin reacții chimice obținute prin încălzire și catalizare (cu sau fără combinarea cu presiune)
Temperatura de tranziție $T_g$ (de devitrifiere)	temperatura la care adezivul (componentele polimerice) își modifică starea de agregare, din faza solidă, elastică (similară sticlei) în stare vâscoasă
Timp de expunere (open time)	durata de timp dintre momentul aplicării adezivului și cel al realizării contactului între cele două materiale care urmează a fi lipite
Timp de înmagazinare	durata de timp în care un material poate fi înmagazinat astfel încât să rămână corespunzător utilizării
Tixotropie	proprietatea adezivului de a se subția în cazul amestecării isoterme și de a se îngroșa la încetarea acțiunii. Materialele tixotropice au o rezistență mare la forfecarea aplicată static și o rezistență mică la forfecarea aplicată dynamic
Tragere	proces automat, continuu pentru realizarea elementelor din materiale compozite și altor produse având secțiuni transversală constantă; fibrele saturate cu rășină sunt trase printr-un dispozitiv încălzit conferindu-le forma și asigurându-le tratamentul termic necesar
Țesătură	produs realizat din fire, fibre și filamente intersectate, împletite
Vâscozitate	tendința unui material de a rezista curgerii; cu creșterea temperaturii vâscozitatea majorității materialelor scade

## 1.4 NOTAȚII

PAF	polimeri armați cu fibre
PAFS	polimeri armați cu fibre de sticlă
PAFC	polimeri armați cu fibre de carbon
PAFA	polimeri armați cu fibre de aramidă
SLS	starea limită de serviciu (de exploatare)
SLU	starea limită ultimă (de rezistență)

## 1.5 SIMBOLURI

### 1.5.1 Majuscule latine

$A_{c,eff}$	aria efectivă a secțiunii întinse de beton
$A_f$	aria secțiunii armăturii PAF
$A_g$	aria brută de beton
$A_s$	aria totală de armătură longitudinală
$A_{sw}$	aria armăturii transversale
$A_{s1}$	aria armăturii longitudinale întinse
$A_{s2}$	aria armăturii longitudinale comprimate
$D$	diametrul secțiunii transversale circulare
$E_c$	modulul de elasticitate al betonului
$E_f$	modulul de elasticitate secant al PAF
$E_{fk}$	valoarea caracteristică a modulul de elasticitate al PAF
$E_{fm}$	valoarea medie a modulul de elasticitate al PAF
$E_{fu}$	valoarea modulului de elasticitate al PAF la SLU
$E_j$	modulul de elasticitate al manșonului din PAF
$E_s$	modulul de elasticitate al oțelului
$K_{conf}$	rigiditatea confinării cu PAF
$L_p$	lungimea articulației plastice
$M_{cr}$	momentul de fisurare
$M_d$	momentele de calcul (de proiectare)
$M_k$	momentul dat de încărcările de exploatare
$M_0$	momentul dat de sarcinile prezente în momentul consolidării
$M_{Rd}$	momentul capabil de calcul
$N_c$	rezultanta eforturilor de compresiune în beton
$N_f$	efort de întindere în PAF
$N_{fa}$	forță de întindere în PAF care trebuie ancorată
$N_{fa,max}$	forță de întindere maximă în PAF care poate fi ancorată
$V_{cd}$	valoarea de calcul a forței tăietoare preluate de beton
$V_{Rd}$	rezistența de calcul la forță tăietoare
$V_{wd,S}$	valoarea de calcul a forței tăietoare preluate de etrierii de oțel
$V_{wd,f}$	valoarea de calcul a forței tăietoare preluate armătura transversală din PAF

## 1.5.2 Litere mici latine

$b$	lățimea grinzii
$b_f$	lățimea armăturii de PAF
$b_w$	lățimea minimă a grinzii de beton
$d$	înălțimea utilă a secțiunii
$d_s$	diametrul armăturii de oțel
$d_1$	distanța de la centrul de greutate al armăturilor întinse la fibra cea mai întinsă de beton
$d_2$	distanța de la centrul de greutate al armăturilor comprimate la fibra cea mai comprimată de beton
$f_a$	efortul maxim de aderență al adezivului
$f_{cd}$	valoarea de calcul a rezistenței la compresiune a betonului
$f_{ck}$	valoarea caracteristică a rezistenței la compresiune a betonului
$f_{cm}$	valoarea medie a rezistenței la compresiune a betonului
$f_{ctd}$	valoarea de calcul a rezistenței la întindere a betonului
$f_{ctk}$	valoarea caracteristică a rezistenței la întindere a betonului
$f_{ctm}$	valoarea medie a rezistenței la întindere a betonului
$f_{cu,cf}$	valoarea de calcul a rezistenței betonului confinat
$f_f$	rezistența la întindere a PAF
$f_{fd}$	valoarea de calcul a rezistenței la întindere a PAF
$f_{fk}$	valoarea caracteristică a rezistenței la întindere a PAF
$f_{fm}$	valoarea medie a rezistenței la întindere a PAF
$f_j$	rezistența manșonului din PAF
$f_l$	efortul maxim de confinare
$f_y$	limita de curgere a oțelului
$f_{yd}$	valoarea de calcul a limitei de curgere a oțelului
$f_{yk}$	valoarea caracteristică a limitei de curgere a oțelului
$h$	înălțimea secțiunii elementului
$h_f$	grosimea plăcii la grinzi cu secțiunea în T
$k_b$	factor de scară
$k_c$	factor de compactitate a betonului
$k_e$	factor de eficiență a confinării
$k_T$	coeficient care ține seama de condițiile de temperatură
$l$	mărimea deschiderii
$l_b$	lungimea de conlucrare (aderență)
$l_c$	lungimea consolei
$l_{b,max}$	lungimea maximă de conlucrare (aderență)
$r_c$	raza de rotunjire a colțului
$s_{i,cr}$	lungimea proiecției fisurii înclinate
$s$	distanța interax între benzile de PAF

$s_m$	distanța medie între fisuri
$s'$	distanța între benzile de PAF
$s_{f\max}$	deplasarea relativă între PAF și beton (alunecare) sau distanța dintre benzile PAF dispuse transversal
$t_f$	grosimea PAF
$u_f$	perimetrul PAF pe care se manifestă aderența
$u_s$	perimetrul armăturii de oțel pe care se manifestă aderența
$w_m$	valoarea medie a deschiderii fisurii
$w'$	distanța liberă între colțurile rotunjite
$x$	înălțimea zonei comprimate
$x_0$	înălțimea zonei comprimate înainte de consolidare
$z$	brațul de pârghie al eforturilor interne

### 1.5.3 Majuscule grecești

$\Phi_u$	curbura ultimă
$\Phi_y$	curbura la curgere

### 1.5.4 Litere mici grecești

$\beta_1$	coeficient care ține cont de caracteristicile de aderență ale armăturii
$\beta_2$	coeficient care ține cont de tipul încărcării
$\gamma_a$	factor parțial de siguranță pentru adeziv
$\gamma_c$	factor parțial de siguranță pentru beton
$\gamma_{fb}$	Factor parțial de siguranță pentru fibre (verificarea aderenței)
$\gamma_{cb}$	factor parțial de siguranță pentru beton (verificarea aderenței)
$\gamma_F$	factor parțial de siguranță pentru încărcări
$\gamma_f$	factor parțial de siguranță pentru PAF
$\gamma_s$	factor parțial de siguranță pentru armăturile din oțel
$\gamma_M$	factor parțial de siguranță pentru materiale (termen generic)
$\delta_G$	coeficient pentru centrul de greutate al blocului de compresiuni în beton
$\varepsilon$	deformație specifică
$\varepsilon_2$	deformația în armătura de oțel în dreptul fisurii
$\varepsilon_c$	deformația betonului în fibra cea mai comprimată
$\varepsilon_{cc}$	deformația betonului confinat la $f_{cc}$
$\varepsilon_{cu}$	deformația ultimă a betonului comprimat
$\varepsilon_f$	deformația PAF
$\varepsilon_{f,e}$	deformația efectivă a PAF
$\varepsilon_{fd,e}$	valoarea de calcul a deformației efective a PAF
$\varepsilon_{f,e}$	deformația efectivă a PAF
$\varepsilon_{fk,e}$	valoarea caracteristică a deformației efective a PAF
$\varepsilon_{f,min}$	deformația minimă admisă a PAF la SLU



$\varepsilon_{fu}$	deformația ultimă a PAF
$\varepsilon_{fu,d}$	valoarea de calcul a deformației ultime a PAF
$\varepsilon_{fu,e}$	deformația ultimă efectivă a PAF
$\varepsilon_{fu,k}$	valoarea caracteristică a deformației ultime a PAF
$\varepsilon_{fu,m}$	valoarea medie a deformației ultime a PAF
$\varepsilon_j$	deformația pe circumferință în manșonul de PAF
$\varepsilon_{ju}$	deformația efectivă pe circumferință în manșonul de PAF la SLU
$\varepsilon_{rm,r}$	deformația medie a armăturii de oțel, ținând seama de conlucrarea cu betonul
$\varepsilon_{su}$	deformația ultimă a armăturii din oțel
$\varepsilon_{sl}$	deformația armăturii din oțel, întinse
$\varepsilon_{s2}$	deformația armăturii din oțel, comprimate
$\varepsilon_{yd}$	valoarea de calcul a deformației ultime a armăturii din oțel
$\varepsilon_{yk}$	valoarea caracteristică a deformației ultime a armăturii din oțel
$\varepsilon_0$	deformația inițială în fibra cea mai întinsă de beton
$\zeta, \zeta_\beta$	coeficienți de conlucrare
$\theta$	unghiul făcut de fisurile diagonale cu axa grinzii
$\mu_\Delta$	indice de ductilitate de deplasare
$\mu_\phi$	indice de ductilitate de curbura
$\xi = x/d$	înălțimea relativă a zonei comprimate
$\rho_f$	coeficient de armare cu PAF
$\rho_j$	coeficient de armare cu PAF la manșoanele stâlpilor circulari
$\rho_{jx}$	coeficient de armare cu PAF la manșoanele stâlpilor dreptunghiulari, direcția X
$\rho_{jy}$	coeficient de armare cu PAF la manșoanele stâlpilor dreptunghiulari, direcția Y
$\rho_s$	coeficient de armare cu armatură de oțel longitudinală
$\sigma$	efort unitar
$\sigma_{fad}$	valoarea de calcul a efortului unitar în PAF la ancorajul de capăt
$\sigma_{fad, max}$	valoarea de calcul a efortului unitar maxim în PAF care poate fi ancorat
$\sigma_c$	efort unitar în beton
$\sigma_{fd}$	valoarea de calcul a efortului unitar în PAF
$\sigma_j$	efort unitar în manșonul din PAF
$\sigma_l$	presiunea de confinare laterală
$\sigma_{lc}$	presiunea de confinare laterală exercitată de țesăturile circulare din PAF
$\sigma_{l,eff}$	presiunea de confinare laterală efectivă
$\sigma_s$	efort unitar în armatură de oțel
$\tau_b$	efort unitar de aderență
$\tau_{fl}$	efortul maxim de forfecare în modelul bilinear pt. aderență
$\tau_{Rd}$	valoarea de calcul a rezistenței la forfecare a betonului
$\tau_{Rk}$	valoarea caracteristică a rezistenței la forfecare a betonului
$\chi_u$	curbura ultimă
$\chi_y$	curbura de curgere
$\psi$	coeficient pentru blocul de compresiuni în beton
$\eta_f$	indice de consolidare

## 2. TIPURI DE MATERIALE . CARACTERISTICI

### 2.1 TIPURI DE MATERIALE

(1) Materialele compozite tip PAF utilizate la consolidarea structurilor se prezintă în principal sub formă de:

- materiale compozite prefabricate sau pre-tratate sub formă de benzi (lamele) sau laminate cu orientare unidirecțională a fibrelor;
- materiale compozite aplicate umed sau tratate in-situ sub forme de pânze sau țesături flexibile cu fibrele orientate în una, două direcții sau mai multe direcții.

(2) Materialele care intră în componența sistemelor de consolidare cu compozite tip PAF sunt fibrele, matricea și adezivul care realizează legătura PAF-element de beton armat.

Cele mai utilizate tipuri de fibre utilizate la consolidarea structurilor din beton sunt:

- fibre de carbon
- fibre de sticlă;
- fibre de aramidă.

(vezi și comentariile din anexa 1, pct.1.1)

(3) Matricea poate fi de tip termorigid sau termoplastic. Cele mai utilizate matrice sunt rășinile epoxidice, poliesterice și vinilesterice (vezi și comentariile din anexa 1, pct.1.2).

(4) Adezivul trebuie să asigure transferul de eforturi din elementele consolidate de beton sau zidărie în materialul compozit.

Cei mai utilizați adezivi pentru aplicarea materialelor compozite sunt adezivii epoxidici.

În funcție de cerințele fiecărei aplicații, în acești adezivi pot fi incluși filere, aditivi etc.

(5) Procedeu tehnologic de realizare cel mai utilizat al PAF este tragerea. Acest procedeu constă în combinarea unei rășini în stare lichidă cu fibre continue, tragerea realizându-se printr-un dispozitiv care îi asigură formă și secțiune constantă.

(6) Principalii factori de care depind proprietățile finale ale produsului sunt: orientarea, lungimea și compoziția fibrelor, proprietățile mecanice ale rășinii (matricei) și adeziunea între aceste componente.

### 2.2 CARACTERISTICI

#### 2.2.1 FIBRE

(1) Valorile caracteristice specifice grupelor de fibre (de carbon, de sticlă, de aramidă) sunt prezentate în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

Fibre	Rezistența la rupere (N/mm <sup>2</sup> )	Modulul de elasticitate (kN/mm <sup>2</sup> )	Alungire la rupere (%)
Carbon: rezistență înaltă	3500-4800	215-235	1,4-2,0
Carbon: rezistență foarte înaltă	3500-6000	215-235	1,5-2,3
Carbon : modul ridicat	2500-3100	350-500	0,5-0,9
Carbon: modul foarte ridicat	2100-2400	500-700	0,2-0,4
Aramidă : modul scăzut	3500-4100	70-80	4,3-5,0
Aramidă : modul ridicat	3500-4000	115-130	2,5-3,5
Sticlă :			
E	1900-3000	70	3,0-4,5
S	3500-4800	85-90	4,5-5,5

Note : 1.Valorile prezentate în tabel sunt orientative și reprezintă caracteristicile la acțiuni statice și cu materialele neexpușe unor medii speciale; valorile de proiectare ale caracteristicilor materialelor se stabilesc luând în considerare și prezența rășinii și de asemenea coeficienții de siguranță ai materialelor,



inclusiv cei datorati acțiunii mediilor de expunere. Aceste valori sunt prevăzute în fișele de produs ale producătorilor, respectiv agrementele tehnice ale produselor.

2. Pentru alte proprietăți (precum rezistența la compresiune, la impact, la oboseală, la curgere lentă) sunt incluse comentarii în anexa 1, pct.2.1

(2) Fibrele continue (având în general diametre între 5 și 20  $\mu\text{m}$ ) au o comportare elastică până la rupere, fără a avea palier de curgere, legea lor constitutivă ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) fiind liniară.

(3) Alegerea unui anumit tip de fibre pentru fiecare caz particular de utilizare depinde de mai mulți factori: tipul structurii, nivelul încărcării, condițiile de mediu, etc.

## 2.2 .2 MATRICEA DIN POLIMERI (RĂȘINI)

(1) Matricea transferă eforturile între fibre și protejează fibrele împotriva avarierii mecanice sau coroziunii datorate mediului.

(2) Tipul matricei influențează proprietățile mecanice ale compozitului (rezistența la întindere și compresiune, modulul de elasticitate etc.) Alegerea procesului de fabricație se face în funcție de caracteristicile fizice și chimice ale matricei (temperatura de topire, cea de întărire, vâscozitatea, reactivitatea față de fibre etc.).

(3) Proprietățile mecanice ale matricei, deci și ale compozitelor în alcătuirea cărora intră, depind puternic de temperatură și viteza de încărcare. Astfel cu creșterea temperaturii matricea devine vâscoasă iar modulul ei de elasticitate scade. Viteza de încărcare influențează (invers acțiunii temperaturii) comportarea matricei: la o viteză mare ruperea este casantă iar la încărcări de lungă durată comportarea este ductilă.

## 2.2.3 ADEZIVUL

(1) Pentru aplicarea eficientă a unui adeziv sunt necesare prevederi privind: caracterizarea din punct de vedere al aderenței la suport, temperatura și metoda de aplicare, domeniul de temperaturi admis pe perioada de întărire, tehnici de pregătire a suprafeței, expansiunea termică a materialului, proprietățile de curgere lentă, rezistența chimică.

(2) În cazul utilizării adezivilor epoxidici trebuie luați în considerare doi factori caracteristici legați de timp:

- timpul de punere în operă (durata de timp de la amestecarea componentelor adezivului până în momentul în care acesta se întărește în vasul de amestecare și nu mai poate fi aplicat)
- timpul de punere în operă a materialului compozit/durata de timp de la aplicarea adezivului până la aplicarea materialului compozit

(3) Un alt parametru extrem de important este temperatura de traziție,  $T_g$  ("glass transition temperature"; de devitrifiere).

(4) Valorile caracteristice, specifice proprietăților adezivilor epoxidici sunt prezentate în tabelul 2.2, comparativ cu cele ale betonului și oțelului.

Tabelul 2.2

Proprietate (la 20°C)	Adeziv epoxidic întărit	Beton	Oțel moale
Densitate (kg/m <sup>3</sup> )	1100-1700	2350	7800
Modulul lui Young (GPa)	0,5-20	20-50	205
Modulul la forfecare (Gpa)	0,2-8	8-21	80
Coeficientul lui Poisson	0,3-0,4	0,2	0,3
Rezistența la întindere (MPa)	9-30	1-4	200-600
Rezistența la forfecare (MPa)	10-30	2-5	200-600
Rezistența la compresiune (MPa)	55-110	25-150	200-600
Deformația din întindere la rupere (%)	0,5-5	0,015	25
Energia de rupere aproximativă (Jm <sup>-2</sup> )	200-1000	100	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>
Coeficient de expansiune termică (10 <sup>-6</sup> / °C)	25-100	11-13	10-15
Absorbția de apă : 7 zile 25°C (% w/w)	0,1-3	5	0
Temperatura de tranziție (°C)	45-80	-	-

Notă: Valorile prezentate în tabel au caracter orientativ, valorile ce vor fi luate în considerare în diferite aplicații vor fi cele furnizate de producător și în agrementele tehnice corespunzătoare.

### 3 BAZELE PROIECTĂRII ȘI CONCEPTUL DE SIGURANȚĂ

#### 3.1 BAZELE PROIECTĂRII

##### 3.1.1 Cerințe generale

(1P) Consolidarea structurilor de beton cu PAF lipit la exterior este o tehnică care se bazează pe conlucrarea dintre betonul armat sau precomprimit și armătura lipită la exterior. Pentru a asigura siguranța structurală generală a elementului consolidat este necesar să se utilizeze sistemul de PAF potrivit, care să fie proiectat, detaliat și executat corect.

(2) Proiectul de consolidare și caietele de sarcini vor include:

- sistemul PAF utilizat
- localizarea sistemului pe element/structură
- proprietățile armăturilor și cele ale stratului suport de beton considerate în calcul
- note generale privind încărcările de calcul și deformațiile admisibile în armăturile de tip PAF
- dimensiunea și orientarea fibrelor pentru fiecare armătură tip PAF
- numărul de straturi și modalitatea de aplicare
- localizarea înădărilor și lungimea de petrecere
- condițiile de pregătire a suprafeței de beton, inclusiv cele referitoare la pregătirea colțurilor și limitările neregularităților suprafeței
- procedeele de instalare, inclusiv temperatura suprafeței și timpul limită pentru aplicarea straturilor succesive
- sisteme de protejare a armăturilor tip PAF până la întărirea adezivului
- materiale pentru protecție și izolare
- prevederi pentru manipulare, transport, depozitare
- proceduri de control și inspecție cu precizarea criteriilor de acceptare și încercările necesare a fi realizate in situ la aplicarea sistemului.

(3) Producătorul sistemului de consolidare va furniza proiectantului, cel puțin:

- fișele tehnice ale produselor în care să se precizeze caracteristicile fizice, mecanice, chimice ale sistemului PAF și tuturor materialelor utilizate
- instrucțiuni pentru instalare, întreținere și recomandări pentru manipulare, depozitare pentru fiecare material utilizat
- documente privind impactul asupra mediului și persoanelor (care instalează sistemul și ocupanți ai clădirilor)
- condiții de aplicare: temperatură, umiditate, dacă se poate utiliza încălzirea pentru întărirea accelerată; dimensiuni pentru rotunjirea colțurilor, denivelări ale suprafeței, condiții pentru amestecarea rășinii (proporții, viteză) și timpul de aplicare.

(4) Se vor utiliza numai sisteme PAF agrementate.

Agrementul tehnic va conține și duratele de garanție și de viață estimată pe baza declarațiilor producătorului (și a comportării în timp a acestor sisteme de consolidare, dacă există date referitoare la acest aspect).

### 3.1.2 Cerințe de proiectare

#### 3.1.2.1 Generalități

(1P) La proiectare trebuie luate în considerare toate situațiile de proiectare și combinațiile de încărcări și verificate toate stările limită relevante.

(2P) Proiectarea consolidării cu PAF trebuie să reflecte efectul armăturii suplimentare adăugate în secțiune (determinată considerând conlucrare perfectă) și capacitatea de a transmite eforturi prin interfața aderentă (verificarea pierderii aderenței).

(3) Starea structurii înainte de consolidare trebuie luată ca referință pentru proiectarea armăturii PAF lipită la exterior. Starea existentă a elementului structural trebuie verificată prin inspecție vizuală, analizarea documentației tehnice și calcule structurale. Eventualele degradări trebuie identificate și, dacă este cazul, reparate prin mijloace corespunzătoare.

(4) Datorită lipsei de plasticitate a PAF, redistribuirea momentelor între părțile consolidate ale elementului structural nu este în general permisă.

#### 3.1.2.2 Situații de proiectare la stări limită

(1P) La proiectare trebuie verificate atât stările limită de serviciu (SLS), cât și stările limită de ultime (SLU).

(2P) Următoarele situații de proiectare trebuie luate în considerare:

- situația persistentă, corespunzând exploatării normale a structurii
- situația accidentală, corespunzând unei cedări neprevăzute a PAF (de ex. datorită impactului, vandalismului, focului)
- considerații speciale de proiectare (de ex. eforturi de aderență datorate diferențelor dintre coeficienții de dilatare termică, rezistență la foc, rezistență la impact).

#### 3.1.2.3 Verificarea la stări limită de exploatare (SLS)

(1P) Verificările la SLS cuprind:

- Verificarea (limitarea) eforturilor unitare (pentru a evita curgerea armăturii, deteriorarea sau curgerea lentă excesivă a betonului și fluajul excesiv sau ruperea prin fluaj a PAF)
- Verificarea (limitarea) deformațiilor (acestea pot limita exploatarea normală a structurii, induce deteriorări ale elementelor nestructurale sau afecta aspectul)
- Verificarea la fisurare (incluzând fisurarea la interfață) (fisurile pot prejudicia durabilitatea și aspectul structurii sau periclita integritatea aderenței între PAF și beton).

(2) La verificarea SLS se vor considera combinațiile de încărcări specificate în standardele din seria STAS 10101. Factorii parțiali de siguranță pentru materiale  $\gamma_M$  se vor considera 1.0, cu excepția cazurilor specificate.

(3) Reguli de calcul pentru verificările la SLS sunt date în secțiunile corespunzătoare ale acestui normativ.

(4) Verificarea detaliată prin calcul la SLS nu este necesară dacă se respectă regulile constructive prevăzute în acest normativ din secțiunile corespunzătoare.

### 3.1.2.4 Verificarea stărilor limită de rezistență (SLU)

(1P) La SLU trebuie considerate toate modurile de cedare care pot apare.

(2) În general, modurile de cedare pot fi clasificate în cele care presupun conlucrare perfectă între betonul armat sau precomprimat și armătura din PAF, și cele care verifică diferitele mecanisme de pierdere a aderenței care pot apare.

(3) Se vor considera combinațiile de încărcări și factorii parțiali de siguranță pentru încărcări conform prevederilor din seria de standarde STAS 10101 și factorii parțiali de siguranță pentru materiale prevăzuți în STAS 10107/0-90. Factorii parțiali de siguranță  $\gamma_f$  și relația constitutivă pentru armătura din PAF, pentru verificările la SLU, sunt dați în secțiunea 3.1.3.2. Factorii de siguranță pentru materiale pentru verificările la SLU privind cedarea prin pierderea aderenței sunt dați în secțiunea 3.1.3.3.

(4) Reguli de calcul pentru verificările la SLU sunt date în secțiunile corepunzătoare ale prezentului normativ.

### 3.1.2.5 Situații accidentale

(1P) Situația de proiect accidentală este situația în care se presupune cedarea neprevăzută a PAF datorită unei cauze accidentale (de ex. vandalism sau foc).

(2) Verificarea se face considerând elementul neconsolidat supus la toate combinațiile accidentale relevante corespunzătoare elementului consolidat. Verificarea se face la SLU, considerând factorii parțiali de siguranță și coeficienții de grupare a încărcărilor conform seriei de standarde STAS 10101, în gruparea specială. Factorii parțiali de siguranță ai materialelor se consideră 1.0.

### 3.1.2.6 Considerații speciale la proiectare<sup>1</sup>

(1P) Încărcări ciclice, eforturi de aderență suplimentare din cauza dilatării termice diferite a betonului și a PAF, rezistența la impact sau la foc, pot fi relevante.

### 3.1.2.7 Durabilitate<sup>2</sup>

(1P) Următorii factori vor fi considerați la proiectare, pentru asigurarea unei structuri durabile:

- utilizarea preconizată a structurii;
- criteriile de performanță impuse;
- condițiile de mediu presupuse;
- compoziția, proprietățile și performanța materialelor;
- forma elementelor și alcătuirea structurală;
- calitatea calificării, și nivelul de control;
- măsuri de protecție specifice;
- întreținerea probabilă în timpul duratei de viață prevăzută.

(2P) Condițiile de mediu vor fi estimate în faza de proiectare pentru a se evalua importanța lor în corelare cu durabilitatea și pentru a permite elaborarea unor prevederi adecvate pentru protecția materialelor.

## 3.1.3 Modele pentru materialele componente și factorii parțiali de siguranță

(1) Pentru verificările la stări limită se recomandă utilizarea modelelor constitutive și a coeficienților parțiali de siguranță  $\gamma_M$  date în această secțiune. Pentru coeficienții încărcărilor

<sup>1</sup> Anexa 3 include aspecte speciale (și comentarii) privind proiectarea la foc, obosală, impact etc.

<sup>2</sup> Anexa 3 include aspecte speciale (și comentarii) ce trebuie avute în vedere la proiectare d.p.d.v al durabilității.

și coeficienții de grupare se va face referință la standardele corespunzătoare din seria STAS 10101.

### 3.1.3.1 Verificări la SLS

(1) Pentru verificările la stări limită de serviciu se vor utiliza legi constitutive lineare, iar factorii parțiali de siguranță ai materialelor  $\gamma_M$  vor fi considerați egali cu 1.0.

(2) În cazul armăturii de tip PAF, se va utiliza relația următoare :

$$\sigma_f = E_{fm} \varepsilon_f \quad (3-1)$$

unde  $E_{fk}$  este valoarea caracteristică a modului secant de elasticitate.

(3) Modulul  $E_{fk}$  se determină ca modulul secant între 10% și 50% din rezistența PAF. În mod obișnuit se utilizează fractilul de 5%,  $E_{fk0.05}$ . În cazul când o valoare mai mare a modului este mai defavorabilă, se consideră fractilul de 95%,  $E_{fk0.95}$ . În cazul când modulul de elasticitate nu constituie o variabilă fundamentală, se va utiliza valoarea medie  $E_{fm}$ .

(4) Pentru beton și armăturile din oțel se vor utiliza valorile specificate în STAS 10107/0-90.

### 3.1.3.2 Verificări la SLU, considerând conlucrarea perfectă între beton și PAF

(1) Pentru verificările la SLU se vor utiliza legile constitutive din figura 3-1.

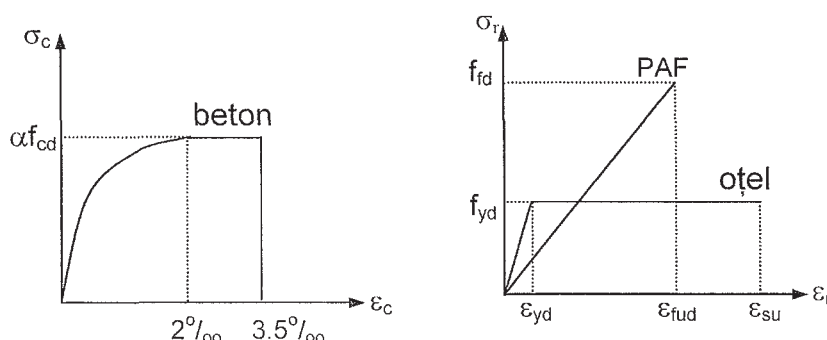


Fig. 3-1 : Legi constitutive de calcul ale materialelor componente

(2) Pentru betonul comprimat se vor utiliza relația parabola-dreptunghi și factorii corespunzători pentru rezistența de calcul a betonului din STAS 10107/0-90. Pentru betonul confinat se va utiliza modelul din capitolul 6 al prezentului normativ.

(3) Pentru armăturile din OB 37 și PC 52 se vor utiliza relația biliniară și factorii corespunzători pentru rezistența de calcul a armăturii din STAS 10107/0-90.

(4) Pentru verificarea la SLU a PAF, comportarea acestora poate fi modelată cu relația lineară din figura 3-1 și ecuația 3-2 :

$$\sigma_f = E_{fu} \varepsilon_f \leq f_{fd} \quad (3-2)$$

unde :

$$E_{fu} = f_{fk} / \varepsilon_{fuk}$$

este modulul secant la rupere, bazat pe valorile caracteristice ale rezistenței și deformației ultime a PAF.



$f_{ld} = E_{fu} \varepsilon_{luc} / \gamma_f$  este rezistența de calcul a PAF

$\varepsilon_{luc} \leq \varepsilon_{luk}$  este deformația limită a PAF, care în anumite cazuri specificate poate fi mai mică decât deformația ultimă a PAF.

$\gamma_f$  este factorul parțial de siguranță al materialului, conform tabelului 3-1.

Tabelul 3-1 : Factori parțiali de siguranță  $\gamma_f$  pentru PAF

Tip PAF	Aplicare tip A <sup>(1)</sup>	Aplicare tip B <sup>(2)</sup>
PAFC	1.20	1.35
PAFA	1.25	1.45
PAFS	1.30	1.50

<sup>(1)</sup> Aplicarea sistemelor prefabricate PAF în condiții normale de control a calității. Aplicarea umedă a sistemelor dacă s-au luat toate măsurile necesare pentru a obține un nivel de calitate înalt, atât în privința condițiilor cât și în privința procesului de aplicare.

<sup>(2)</sup> Aplicarea umedă a sistemelor în condiții normale de control a calității. Aplicarea oricărui sistem în condiții de șantier dificile.

### 3.1.3.3 Verificări la SLU pentru cedarea aderenței

(1) Ruperea prin cedarea aderenței se poate produce fie prin beton, fie prin adeziv.

În primul caz rezistența de calcul a betonului, la întindere sau la forfecare, se va obține prin aplicarea unui factor parțial de siguranță  $\gamma_{cb} = 1.50$ .

În cazul cedării adezivului, se va considera un factor parțial de siguranță  $\gamma_a = 1.50$ .

(2) Deoarece eforturi mai mari de întindere în PAF induc eforturi de aderență sporite, pentru modulul de elasticitate  $E_f$  se va considera cea mai mare din valorile  $E_{fu}$  și  $E_{fk0.95}$  definite anterior.

## 3.2 CONCEPTUL DE SIGURANȚĂ

(1P) Proiectarea trebuie făcută astfel încât să se realizeze un grad suficient de siguranță structurală, inclusiv suficientă ductilitate.

### 3.2.1 Conceptul de siguranță la starea limită de rezistență (SLU)

(1P) Prin proiectare trebuie evitate modurile de cedare fragile (forță tăietoare și torsiune)

(2P) În acest sens, la încovoiere se va asigura o deformație plastică suficientă a armăturilor din oțel la SLU, astfel încât cedarea elementului consolidat să fie ductilă, chiar dacă cedarea betonului precomprimat, a armăturii din PAF sau a aderenței dintre acestea sunt fragile.

(3) Modul de cedare la încovoiere va fi fie prin curgerea oțelului și zdrobirea betonului comprimat, înainte de ruperea PAF sau pierdere a aderenței, corespunzând zonei B în figura 3-2, fie prin curgerea oțelului și ruperea PAF, corespunzând zonei A din figura 3-2.

În figura 3-2 s-a folosit notațiile următoare:

$\varepsilon_0$  = deformația inițială în fibra extremă întinsă înainte de consolidare

$\varepsilon_{f,min}$  = deformația minimă admisă pentru PAF la SLU (vezi secțiunea 3.3)

$\varepsilon_{fu,c}$  = deformația PAF în secțiunea critică la SLU; dacă cedarea se produce prin ruperea PAF, aceasta este egală cu deformația ultimă de calcul a PAF,  $\varepsilon_{fud}$ ; dacă cedarea se produce prin ruperea aderenței,  $\varepsilon_{fu,c}$  este deformația în secțiunea critică la încovoiere în momentul în care are loc cedarea aderenței (cedarea aderenței poate avea loc în altă secțiune decât cea considerată la verificarea capacității la încovoiere). Cedarea prin ruperea aderenței se admite numai dacă  $\varepsilon_{fu,c} \geq \varepsilon_{f,min}$ .

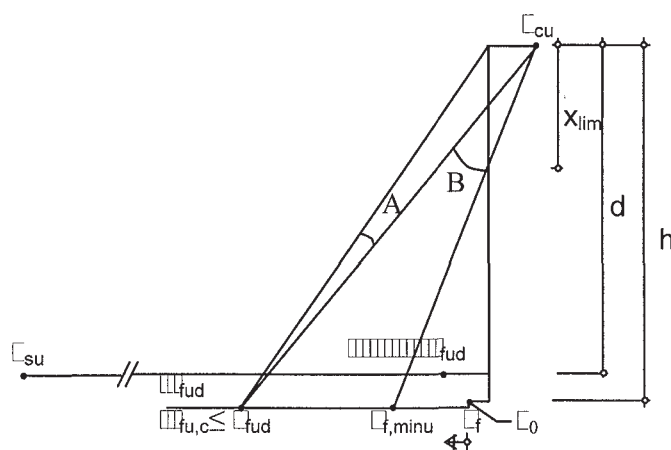


Figura 3-2 : Diagrame de deformății la SLU în secțiunea critică la un element consolidat la încovoiere

(4) În toate cazurile trebuie verificat dacă solicitarea la forță tăietoare și/sau torsiune a elementului consolidat este inferioară capacității acestuia. Dacă este necesar se va prevedea și consolidarea la forță tăietoare.

### 3.2.2 Conceptul de siguranță la situații de proiectare accidentale

(1P) Structura existentă trebuie să poată prelua toate încărcările, în combinația accidentală, dacă armătura din PAF a fost distrusă în mod accidental.

(2) Se recomandă ca indicele de consolidare să nu depășească valoarea  $\eta_f = 1,5^*$ .

### 3.3 DUCTILITATEA

(1P) Se recomandă ca elementul consolidat la încovoiere să aibă o ductilitate de curbură minimă de  $\mu_{\square, \min}$  de cel puțin 2,5. Dacă această măsură nu poate fi satisfăcută se vor lua măsuri suplimentare de asigurare.

(2P) În cazul elementelor care fac parte din structuri rezistente la seism se vor respecta prevederile specifice din P100/1992.

(3) Condiția de la paragraful (1P) se consideră satisfăcută dacă înălțimea relativă a zonei comprimate  $\square = x/d$  (notațiile conform figurii 3-2) respectă valorile limită din tabelul 3-3.

Tabel 3-3 : Valori limită ale înălțimii relative a zonei comprimate  $\square$

$\square$ C35/45		> C35/45
OB 37	PC 52	PC 52
0.55	0.45	0.40

(4) Corespunzător condiției de la paragraful (2), deformația minimă în PAF la SLU,  $\square_{fu, \min}$  trebuie să fie mai mare sau egală cu valorile din tabelul 3-4.

\* introducerea unei limite rezonabile pentru gradul de consolidare, are la bază ideea asigurării la colaps a structurilor consolidate cu PAF la care, din anumite cauze (de exemplu foc, vandalism etc.), se pierde contribuția armăturii exterioare tip PAF la preluarea solicitărilor.

Tabel 3-4 : Valori limită ale deformație minime a PAF  $\varepsilon_{fu,min}$ 

$\leq C35/45$		$> C35/45$
OB 37	PC 52	PC 52
$0.0035 - \varepsilon_0$	$0.0047 - \varepsilon_0$	$0.0047 - \varepsilon_0$

(5) În cazul în care condiția (1) nu poate fi respectată se va majora solicitarea de calcul  $M_{sd}$  cu coeficientul  $\gamma_{F1}$  care are expresia

$$\gamma_{F1} = \begin{cases} 1,3 & \text{pentru } \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \\ 1 + 0,2 (\varepsilon_s / \varepsilon_{sy} - 1) & \text{pentru } \varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s < 2,5 \varepsilon_{sy} \\ 1 & \text{pentru } \varepsilon_s \geq 2,5 \varepsilon_{sy} \end{cases} \quad (3.3)$$

#### 4 CONSOLIDAREA ELEMENTELOR ÎNCOVOIATE

##### 4.1 GENERALITĂȚI

(1P) Elementele de beton armat, având cel puțin clasa de beton C12/15, pot fi consolidate la încovoiere folosind PAF lipite în zonele întinse, cu direcția fibrelor paralelă cu cea a eforturilor de întindere (axa elementului).

(2P) Calculul la SLU pentru astfel de elemente poate urmări metodele utilizate la beton armat, cu condiția ca:

- Să se ia în calcul corect contribuția armăturii din PAF;
- Să se aibă în vedere problema aderenței între beton și armătura din PAF.

##### 4.2 SITUAȚIA ÎNȚIALĂ

(1P) Efectul încărcării inițiale (existentă în momentul aplicării consolidării) trebuie luat în considerare la calculul elementului consolidat.

(2P) Momentul încovoietor sub acțiunea încărcărilor inițiale,  $M_0$ , se poate determina după regulile obișnuite, printr-un calcul în domeniul elastic al structurii.

(3P) Dacă  $M_0$  este mai mic decât momentul de fisurare  $M_{cr}$ , efectul său asupra calculului elementului consolidat poate fi neglijat.

(4P) Dacă  $M_0$  este mai mare decât momentul de fisurare  $M_{cr}$ , deformația  $\varepsilon_0$  se poate calcula ca pentru un element de beton armat în stadiul II de comportare.

##### 4.3 MODURI DE CEDARE – STĂRI LIMITĂ ULTIME

(1P) Modurile de cedare ale unui element consolidat la încovoiere cu PAF lipiți la exterior pot fi clasificate în două categorii:

- Cele în care conlucrarea între beton și PAF se menține până ce betonul comprimat atinge deformația ultimă sau PAF se rupe la întindere;
- Cele în care conlucrarea se pierde înainte de cedarea de tipul (a).

(2) Modurile de cedare de tip (a) pot fi următoarele:

- Curgerea oțelului urmată de zdrobirea betonului comprimat
- Curgerea oțelului urmată de ruperea PAF
- Zdrobirea betonului

(3) Modurile de cedare de tip (b) pot fi următoarele:

- Desprinderea PAF cu antrenarea betonului (planul de rupere fiind situat fie în imediata apropiere a suprafeței betonului (figura 4.1 a) fie în planul armăturilor (figura 4.1 b).
- Desprinderea în interiorul adezivului (cedarea coeziunii)
- Desprinderea la interfața între beton și adeziv sau între adeziv și PAF (cedarea aderenței)
- Cedarea în PAF (cedare prin forfecare interlaminară-delaminare-)

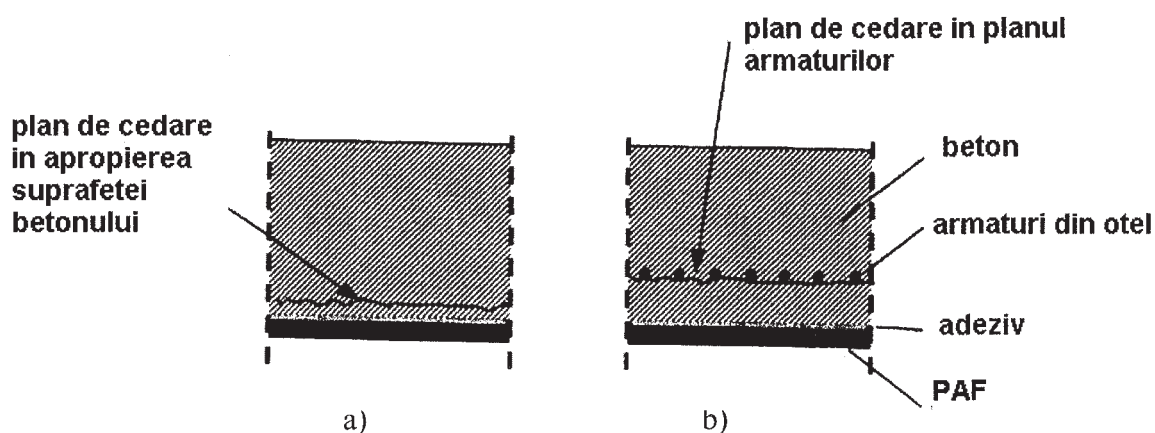


Figura 4.1 - Tipuri de cedare prin pierderea conlucrării

- (4) Cedarea elementelor consolidate cu armătură tip PAF, solícitate la încovoiere se produce de cele mai multe ori datorită desprinderii (detașării) armăturii de tip PAF. În funcție de punctul de inițiere a procesului de desprindere (dezlipire): (figura 4.2):
- modul 1: în zona nefisurată de ancorare
  - modul 2: în zona fisurilor de încovoiere ( fisurile verticale de încovoiere se pot propaga orizontal)
  - modul 3: la fisurile înclinate, de forță tăietoare (datorită componentei verticale a deplasării relative a fețelor fisurii)
  - modul 4: datorită neplaneității suprafeței betonului.

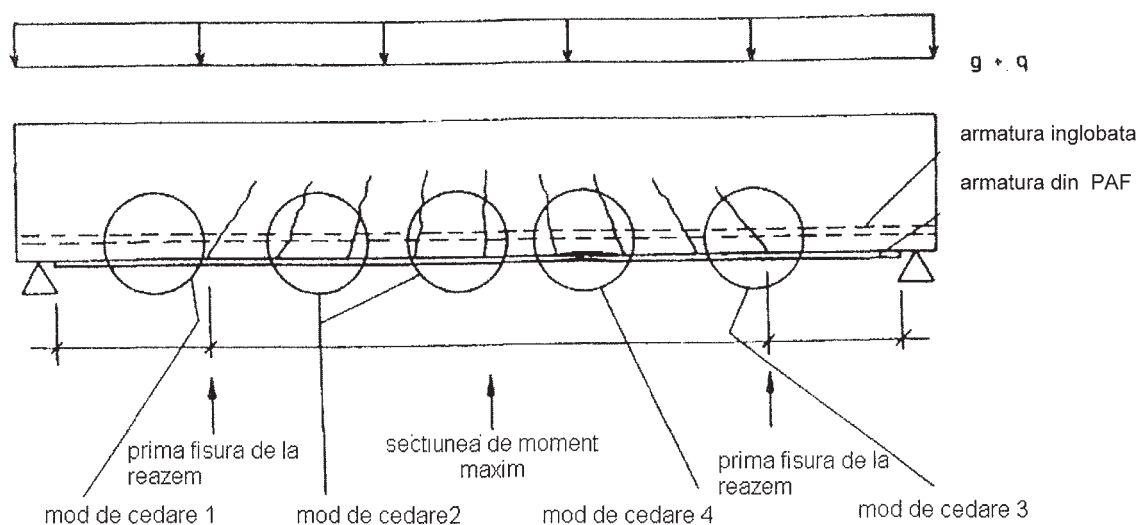


Figura 4.2 – Moduri de cedare a unui element de beton consolidat cu armătură tip PAF

- (5) Cedarea elementelor încovoiate poate avea loc ca urmare a dezvoltării fisurilor înclinate la capătul armăturii din PAF, ce are ca urmare desprinderea armăturii din PAF și cedarea elementului la atingerea nivelului critic al eforturilor din forță tăietoare (figura 4.3).

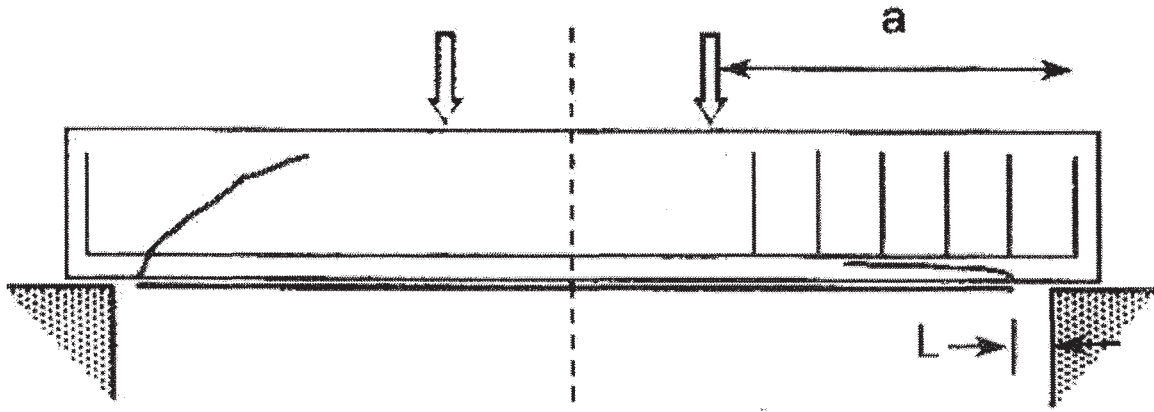


Figura 4.3 - Cedare prin fisuri înclinate la extremitatea PAF

#### 4.4 CALCULUL LA SLU

##### 4.4.1 Cazul conlucrării perfecte

###### 4.4.1.1 Curgerea oțelului urmată de zdrobirea betonului

(1P) Momentul de proiectare al secțiunii consolidate se determină pe baza principiilor calculului secțiunilor de beton armat (fig. 4.4). Mai întâi se determină poziția axei neutre,  $x$ , pe baza compatibilității deformațiilor (ipoteza secțiunilor plane) și a echilibrului de forțe pe direcția axei elementului. Apoi se determină momentul din ecuația de echilibru de moment. Calculul trebuie să țină seama de faptul că elementul de beton armat poate să nu fie complet descărcat în momentul aplicării consolidării.

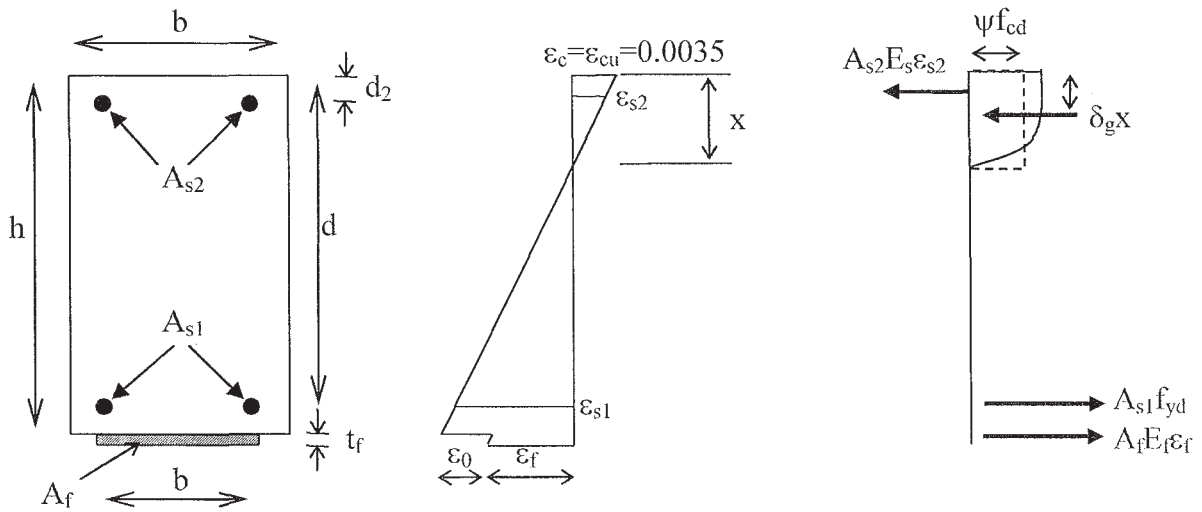


Figura 4.4 – Calculul secțiunii dreptunghiulare la SLU

(2) Pentru secțiuni dreptunghiulare determinarea momentului de proiectare se face cu următoarele relații:

$$\Psi f_{cd} b x + A_{s2} E_s \varepsilon_{s2} = A_{s1} f_{yd} + A_f E_f \varepsilon_f \quad (4.1)$$

cu  $\Psi = 0,8$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu} \frac{x - d_2}{x} \quad (4.2)$$

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{cu} \frac{h - x}{x} - \varepsilon_0 \quad (4.3)$$

$$M_{rd} = A_{s1} f_{yd} (d - \delta_G x) + A_f E_f \varepsilon_f (h - \delta_G x) + A_{s2} E_s \varepsilon_{s2} (\delta_G x - d_2) \quad (4.4)$$

cu  $\delta_G = 0.4$

Ecuatiile de mai sus sunt valabile dacă:

$$\varepsilon_{sl} = \varepsilon_{cu} \frac{d-x}{x} \geq \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (4.5)$$

și

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{cu} \frac{h-x}{x} - \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{fud} \quad (4.6)$$

(3) Pentru secțiuni la care lățimea zonei comprimate nu este constantă (de exemplu secțiuni T cu axa neutră în inimă), se vor determina valoarea rezultantei eforturilor de compresiune și poziția ei pe secțiune pe baza relațiilor constitutive ale betonului date în cap. 3.

(4) Efectul defavorabil al concentrărilor de eforturi în PAF în dreptul fisurilor normale și înclinate se ia în considerare prin limitarea deformației maxime în PAF:

$$\varepsilon_{f,max} = \min\{4\varepsilon_{yd}; 0,5\varepsilon_{fu}\} \quad (4.7)$$

#### 4.4.1.2 Curgerea oțelului urmată de ruperea PAF

(1) În acest caz deformația maximă a betonului comprimat este mai mică decât  $\varepsilon_{cu}$ , și trebuie determinate în mod corespunzător valoarea rezultantei eforturilor de compresiune în beton și poziția ei pe secțiune.

(2) În cazul secțiunilor dreptunghiulare (sau la care zona comprimată este de lățime constantă) se pot folosi ecuațiile (4.1)-(4.4), cu  $\Psi$  și  $\delta_G$  după cum urmează:

$$\Psi = \begin{cases} 1000\varepsilon_c \left(0,5 - \frac{1000}{12}\right) \varepsilon_c & \text{for } \varepsilon_c \leq 0,002 \\ 1 - \frac{2}{3000\varepsilon_c} & \text{for } 0,002 \leq \varepsilon_c \leq 0,0035 \end{cases} \quad (4.8)$$

$$\delta_G = \begin{cases} \frac{8-1000\varepsilon_c}{4(6-1000\varepsilon_c)} & \text{for } \varepsilon_c \leq 0,002 \\ \frac{\varepsilon_c(3000\varepsilon_c-4)+2}{2000\varepsilon_c(3000\varepsilon_c-2)} & \text{for } 0,002 \leq \varepsilon_c \leq 0,0035 \end{cases} \quad (4.9)$$

#### 4.4.2 Cazul pierderii conlucrării

(1) Verificarea ancorării la capăt a PAF se poate face cu relațiile următoare:

- forța maximă care poate fi ancorată:

$$N_{fa,max} = c_1 k_c k_b k_T b_f \sqrt{E_f t_f f_{ctm}} \quad (N) \quad (4.10)$$

- lungimea de ancoraj necesară pentru dezvoltarea forței  $N_{fa,max}$  în PAF este:

$$l_{b,max} = c_2 \sqrt{\frac{E_f t_f}{f_{ctm}}} \quad (mm) \quad (4.11)$$



unde

$k_c$  = coeficient care ține seama de compactitatea betonului în zona comprimată;  $k_c=1,0$  cu excepția suprafeței libere de turnare pentru care se consideră  $k_c=0,67$ .

$$k_b = 1.06 \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{400}}} > 1 \text{ (coeficient geometric)} \quad (4.12)$$

$k_T = 0,9$  pentru elemente situate la exterior ( $T = -20^\circ\text{C} \dots +30^\circ\text{C}$ )

= 1,0 pentru elemente situate la interior

$c_1, c_2$  = constante care depind de tipul de PAF folosit; pentru fibre de carbon se poate considera  $c_1=0,5$  și  $c_2=0,7$ ; pentru alte tipuri se va determina experimental.

- (2) Dacă lungimea de ancorare disponibilă  $l_b < l_{b,\max}$ , forța maximă care poate fi ancorată este:

$$N_{fa} = N_{fa,\max} \frac{l_b}{l_{b,\max}} \left( 2 - \frac{l_b}{l_{b,\max}} \right) \quad (4.13)$$

- (3) În cazul în care lungimea de ancorare este insuficientă, se vor prevedea dispozitive mecanice de ancorare (vezi cap. 7).

- (4) Dispunerea armăturilor PAF pe elementul de beton armat va respecta regulile din cap. 7.

## 4.5 VERIFICAREA LA SLS

### 4.5.1 Bazele calculului

- (1) Calculul eforturilor și deformațiilor în secțiunea de beton armat considerată, se va face conform principiilor de calcul aplicate la elementele de beton armat, în stadiul I sau II, după caz, ținând seama de efectul armăturii din PAF și de prezența deformațiilor inițiale în momentul consolidării.

### 4.5.2 Limitarea eforturilor unitare

- (1) Limitarea eforturilor unitare în beton și armătura de oțel sub încărcări de serviciu se va face conform prescripțiilor pentru beton armat (STAS 10107/0-90).
- (2) Eforturile unitare în PAF sub încărcări de exploatare de lungă durată se vor limita la:

$$\sigma_f \leq \eta f_{yk} \quad (4.14)$$

unde  $\eta = 0,8$  pentru fibre de carbon  
 = 0,5 pentru fibre de aramidă  
 = 0,3 pentru fibre de sticlă

### 4.5.3 Limitarea deformațiilor

- (1) Săgețile elementelor consolidate sub încărcări de exploatare vor respecta limitele prevăzute în STAS 10107/0-90.
- (2) La calculul rigidității elementelor consolidate se va ține seama de aportul armăturii din PAF, aplicându-se metoda secțiunii omogene echivalente.

### 4.5.4 Verificarea deschiderii fisurilor

- (1) Pentru a proteja armăturile din oțel și pentru a garanta funcționalitatea elementului, deschiderea fisurilor trebuie limitată.
- (2) Valoarea deschiderii fisurilor va respecta limitele specificate pentru elementele de beton armat sau precomprimat din STAS 10107/0-90.

(3) Valoarea medie a deschiderii fisurilor este:

$$w_m = s_{rm} \varepsilon_{rm,r} = s_{rm} \zeta \varepsilon_2 \quad (4.15)$$

unde:

$s_{rm}$  = distanța medie dintre fisuri

$\varepsilon_{rm,r}$  = deformația medie a armăturii de oțel, ținând seama de conlucrarea cu betonul

$\varepsilon_2$  = deformația în armătura de oțel în dreptul fisurii

$\zeta$  = coeficient de conlucrare

$\zeta = 0$  pentru  $M_k < M_{cr}$

$\zeta = 1 - \beta_1 \beta_2 \left( \frac{M_{cr}}{M_k} \right)$  pentru  $M_k > M_{cr}$

cu  $M_k$  = momentul dat de sarcinile de exploatare

$M_{cr}$  = momentul de fisurare

$\beta_1 = \begin{cases} 0,5 & \text{pentru OB37} \\ 1,0 & \text{pentru PC52} \end{cases}$

$\beta_2 = \begin{cases} 1,5 & \text{pentru încărcări de scurtă durată} \\ 1,0 & \text{pentru încărcări de lungă durată} \end{cases}$

$$\varepsilon_2 = \frac{N_{rk} + E_f A_f \varepsilon_0}{E_s A_s + E_f A_f} \quad (4.16)$$

cu

$$N_{rk} = M_k / z_e \quad (4.17)$$

unde  $z_e$  este brațul de pârghie între rezultanta forțelor de compresiune (beton și armătura comprimată) și de întindere (armătura întinsă și armătura din PAF).

Distanța medie între fisuri este:

$$s_{rm} = \frac{2 f_{ctm} A_{c,eff}}{\tau_{sm} u_s} \cdot \frac{E_s A_s}{E_s A_s + \xi_b E_f A_f} \quad (4.18)$$

unde:

$A_{c,eff} = \min\{25(h-d)b; (h-x)b/3\}$

$\tau_{sm} = 1.8 f_{ctm}$

$\tau_{fm} = 1.25 f_{ctm}$

$u_s$  = perimetrul în contact cu betonul al armăturii de oțel

$u_s$  = perimetrul în contact cu betonul al PAF

$$\xi_b = \frac{\tau_{fm} E_s A_s u_f}{\tau_{sm} E_f A_f u_s} \quad (4.19)$$

#### 4.5.5 Verificarea fisurării la interfața beton / PAF

(1) La capătul armăturii PAF, efortul maxim de forfecare  $\tau_{fl}$ , calculat pe secțiunea omogenă echivalentă, nu va depăși rezistența la întindere a betonului:

$$\tau_{fl} \leq f_{ctk} \quad (4.20)$$

(2) În cazul în care sunt prevăzute dispozitive suplimentare de ancorare la capete, verificarea de la paragraful (1) nu este necesară.

## 5 CONSOLIDAREA LA FORȚĂ TĂIETOARE

### 5.1 GENERALITĂȚI

(1) Armătura din PAF lipită pe elementele de beton armat poate mări capacitatea acestora la forță tăietoare, prin mărirea rezistenței la întindere în secțiune înclinată. Rezistența la compresiune în secțiune înclinată este dată de beton.

(2) Consolidarea la forță tăietoare se poate face cu țesături sau lamele de PAF, înfășurate complet în jurul secțiunii de beton armat, sau lipite pe una, doua sau trei din fețele elementului de beton armat (fig. 5.1). Cea mai eficientă metodă este înfășurarea completă a secțiunii.

### 5.2 DETERMINAREA CAPACITĂȚII LA FORȚĂ TĂIETOARE

(1) Capacitatea la forță tăietoare a unui element consolidat este dată de contribuția betonului, a armăturii transversale din oțel și a armăturii transversale din PAF lipită pe beton ;

$$V_{Rd} = V_{cd} + V_{wd,s} + V_{wd,f} \quad (5.1)$$

unde :

$V_{cd}$  = contribuția betonului la preluarea forței tăietoare

$V_{wd,s}$  = contribuția etrierilor și armăturilor înclinate la preluarea forței tăietoare

$V_{wd,f}$  = contribuția armăturilor transversale din PAF la preluarea forței tăietoare

(2) Contribuția armăturilor transversale din PAF la preluarea forței tăietoare este ;

$$V_{wd,s} = \varepsilon_{fd,c} E_{fu} \rho_f b_w \sin \alpha s_{i,cr} \quad (5.2)$$

unde :

$\varepsilon_{fd,c}$  = valoarea de calcul a deformației efective a PAF

$b_w$  = lățimea minimă a inimii

$s_{i,cr}$  = lungimea proiecției fisurii înclinate pentru care suma termenilor din membrul drept al ecuației (5.1) este minimă

$\alpha$  = unghiul de înclinare al fibrelor față de axa elementului de beton

$\rho_f$  = coeficientul volumetric de armare cu PAF, care este  $(2t_f \sin \alpha / b_w)$  pentru țesături și  $(2t_f b_f / (b_w s_f))$  pentru lamele de lățime  $b_f$  situate la distanțe  $s_f$

(3) Verificarea capacității portante sau dimensionarea armăturii suplimentare din PAF se va face ca la beton armat (STAS 10107/0-90), considerând armătura din PAF ca o armătură transversală suplimentară.

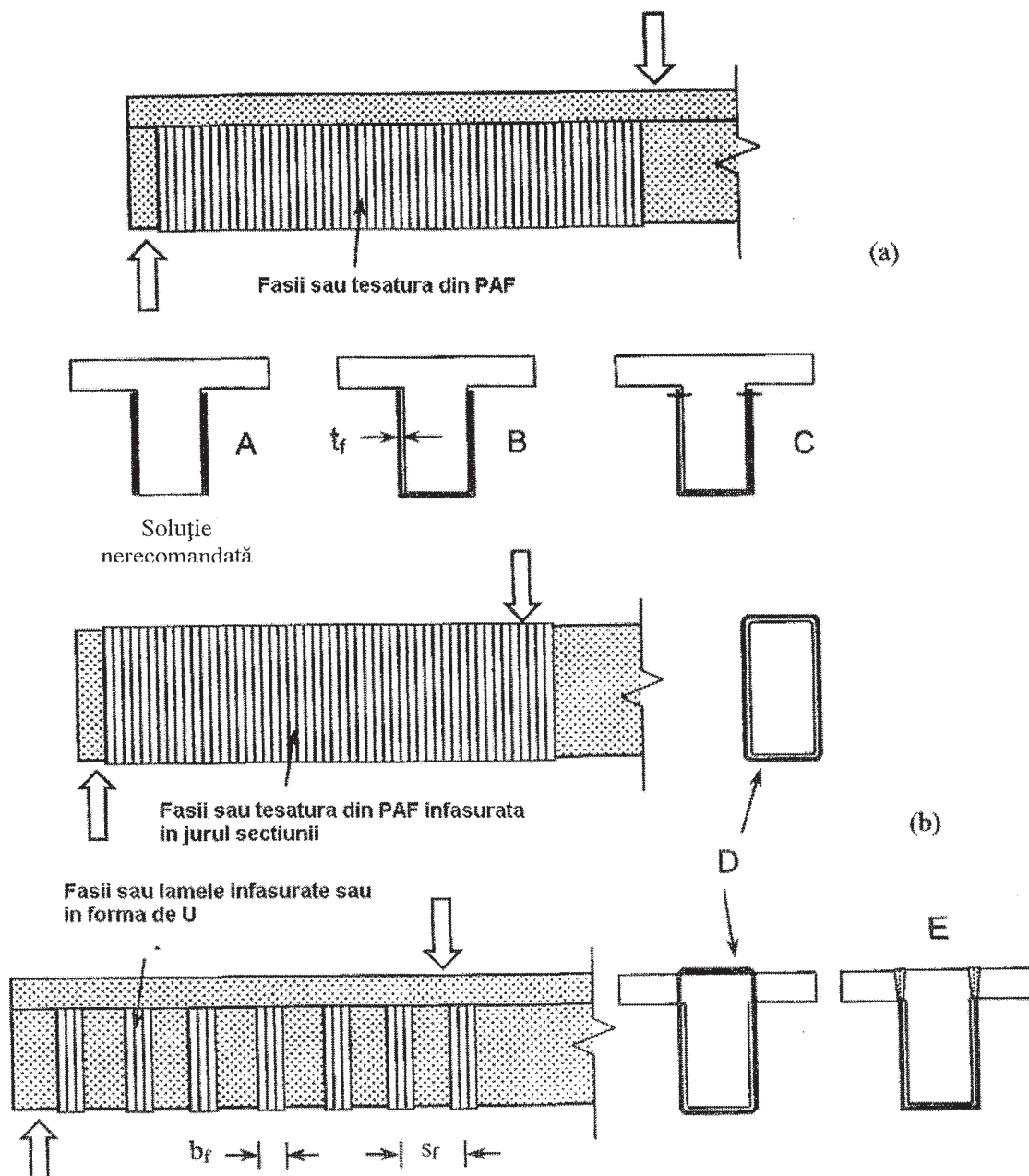


Fig. 5-1: Reprezentarea de principiu a diferitelor moduri posibile de consolidare cu PAF a elementelor de beton armat la forță tăietoare : a) cu fâșii sau țesături continue; b) cu lamele în formă de U sau complet înfășurate în jurul secțiunii

### 5.3 VERIFICAREA DEFORMĂȚIEI EFECTIVE ÎN ARMĂTURA DIN PAF

(1) Deformația efectivă se poate determina cu relațiile următoare :

- PAF cu fibre de carbon, complet înfășurat sau ancorat corect :

$$\varepsilon_{f,e} = 0.17 \left( \frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0.30} \varepsilon_{fu} \quad (5.3)$$

- PAF cu fibre de carbon în formă de U :

$$\varepsilon_{f,e} = \min \left[ 0.65 \left( \frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0.56} \times 10^{-3}, 0.17 \left( \frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0.30} \varepsilon_{fu} \right] \quad (5.4)$$

- PAF cu fibre de aramidă, complet înfășurat sau ancorat corect :

$$\varepsilon_{f,e} = 0.048 \left( \frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \rho_f} \right)^{0.47} \varepsilon_{fu} \quad (5.5)$$

- (2) Deformația efectivă de calcul este :

$$\varepsilon_{fd,c} = \varepsilon_{fk,c} / \gamma_{fb} = k \varepsilon_{f,c} / \gamma_{fb} \quad (5.6)$$

unde  $k = 0,8$  și  $\gamma_f = 1,30$

În formulele (5.4), (5.5) și (5.6)  $E$  se introduce în  $\text{kN/mm}^2$  iar  $f_{cm}$  în  $\text{N/mm}^2$ .

- (3) Deformația efectivă de calcul va fi mai mică sau egală cu 0,004.

## 6 CONSOLIDAREA PRIN CONFINARE A STÂLPILOR

### 6.1 GENERALITĂȚI

(1) Prin consolidarea stâlpilor cu PAF se poate realiza : creșterea ductilității și îmbunătățirea comportării înădărilor prin suprapunere, creșterea capacității la încovoiere, creșterea capacității la forță tăietoare, creșterea capacității la forță axială,

(2) Creșterea capacității la încovoiere și la forță tăietoare se realizează conform prevederilor din capitolele 4, respectiv 5.

(3) Creșterea capacității la forță axială, creșterea ductilității și îmbunătățirea comportării înădărilor prin suprapunere se bazează pe efectul de confinare realizat de PAF înfășurați în jurul secțiunii de beton, cu fibrele orientate în direcția perpendicular pe axa elementului.

(4) Deformația ultimă a PAF în cazul manșoanelor excutate în jurul stâlpilor este de regulă mai mică decât deformația ultimă a PAF la întindere :  $\varepsilon_{ju} < \varepsilon_{fu}$ . Valoarea  $\varepsilon_{ju}$  va fi specificată de către fabricant.

### 6.2 MODELAREA BETONULUI CONFINAT CU PAF

#### 6.2.1 Presiunea de confinare

(1) În cazul stâlpilor circulari, presiunea de confinare maximă dezvoltată de PAF este dată de relația :

$$f_l = K_{\text{conf}} \varepsilon_{ju} \quad (6.1)$$

unde :

$$K_{\text{conf}} = \frac{1}{2} k_e \rho_j E_j \quad (6.2)$$

cu  $\rho_j = 4 n t_f / D$

Indicele de eficacitate a confinării  $k_e$  este :

- în cazul în care manșonul acoperă întreaga suprafață a betonului :  $k_e = 1$
- în cazul manșoanelor discontinue (fig. 6.1) :  $k_e = \left(1 - \frac{s'}{2D}\right)^2$

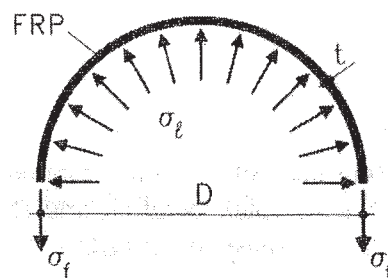
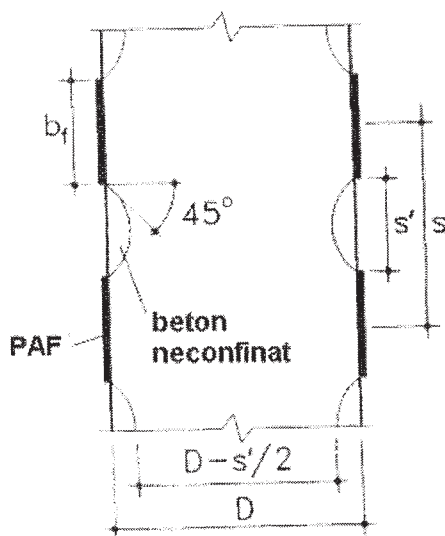


Fig. 6.1: Miezul de beton efectiv confinat la secțiuni circulare cu manșon discontinuu



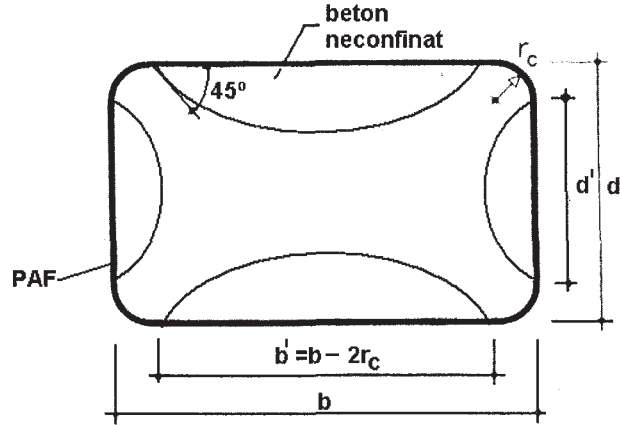


Fig. 6.2: Miezul de beton efectiv confinat la secțiuni dreptunghiulare

(2) În cazul stâlpilor cu secțiune dreptunghiulară, presiunea de confinare maximă dezvoltată de PAF este dată de relațiile :

$$f_{lx} = K_{confx} \varepsilon_{ju} \quad (6.3a)$$

$$f_{ly} = K_{confy} \varepsilon_{ju} \quad (6.3b)$$

unde :

$$K_{confx} = \rho_{jx} k_e E_j \quad (6.4a)$$

$$K_{confy} = \rho_{jy} k_e E_j \quad (6.4b)$$

cu  $\rho_{jx} = 2b_f t_j / s \cdot d$  și  $\rho_{jy} = 2b_f t_j / s \cdot b$

Indicele de eficacitate a confinării  $k_e$  este (vezi fig. 6.2) :  $k_e = 1 - \frac{b'^2 + d'^2}{3A_g}$

Presiunea de confinare se va considera :

$$f_l = \min \{ f_{lx}, f_{ly} \} \quad (6.5)$$

### 6.2.2 Relația constitutivă a betonului confinat

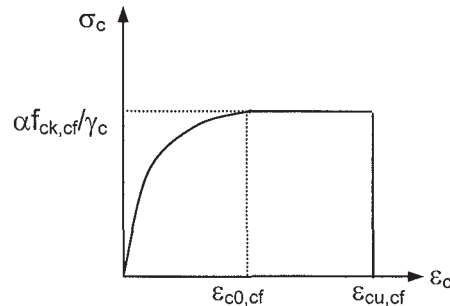
(1) Pentru calcul se poate utiliza relația parabola-dreptunghi (fig. 6.3), cu următoarele valori :

$$f_{cu,cf} = f_{cu} (2,254 - 1 + 7,94 f_l / f_{cu} - f_l / f_{cu} - 1,254) \quad \text{pentru } f_l < 0,05 f_{ck} \quad (6.6)$$

$$\varepsilon_{c0,cf} = \varepsilon_{c0} [1 + 5(f_{ck,cf} / f_{ck} - 1)] \quad (6.7)$$

$$\text{numai pt. stâlpi circulari} \quad \varepsilon_{cu,cf} = 0,0035 + 2,5 (\rho_j f_j \varepsilon_{ju}) / f_{ck,cf} \quad (6.8)$$

$$\text{numai pt. stâlpi rectangulari} \quad \varepsilon_{cu,cf} = 0,0035 + 1,25 (\rho_j f_j \varepsilon_{ju}) / f_{ck,cf} \quad (6.8)$$

Figura 6.3: Relația  $\sigma$ - $\varepsilon$  de calcul pentru betonul confinat

### 6.3 DETERMINAREA CAPACITĂȚII LA FORȚĂ TĂIETOARE

(1) Calculul la forță tăietoare se face conform prevederilor din capitolul 5.

(2) În cazul stâlpilor care fac parte din structuri supuse la acțiuni seismice, se recomandă ca manșonarea să se facă pe o lungime de  $1,5h$  de la capătul stâlpului, unde  $h$  este dimensiunea cea mai mare a secțiunii transversale a acestuia.

### 6.4 VERIFICAREA DUCTILITĂȚII

(1) Dimensionarea manșonului pentru atingerea unei ductilități țintă se face după procedura următoare :

- Se impune un indice de ductilitate pentru element  $\mu_{\Delta}$  ;
- Pe baza ductilității de deplasare se stabilește ductilitatea secțională (de curbura necesară)  $\mu_{\phi}$  ;
- Se determină pentru secțiunea de beton armat curbura de curgere  $\phi_y$  și se determină curbura ultimă necesară  $\phi_u = \phi_y \times \mu_{\phi}$  ;
- Se determină pentru secțiunea dată deformația ultimă a betonului  $\epsilon_{cu,cf}$  necesară pentru atingerea curburii ultime  $\phi_u$  ;
- Se determină presiunea de confinare necesară pentru realizarea  $\epsilon_{cu,cf}$  cu relația (6.8) ;
- Se determină grosimea necesară a manșonului cu una din relațiile (6.1)...(6.5), în funcție de forma stâlpului și tipul manșonului
- Se limitează  $h/b \leq 1,5$  și  $\max(h,b) \leq 900\text{mm}$  dacă nu se demonstrează experimental eficiența confinării.

(2) Manșonul se va dispune pe o lungime cu 50% mai mare decât lungimea  $l_p$  a zonei de articulație plastică, care se poate considera :

$$l_p = \max\{h/2 ; H/8\} \quad (6.9)$$

unde  $h$  este dimensiunea cea mai mare a secțiunii stâlpului, iar  $H$  este înălțimea liberă a stâlpului.

### 6.5 CREȘTEREA CAPACITĂȚII LA COMPRESIUNE

(1) Nu se va lua în considerare creșterea capacității la compresiune pentru stâlpii care nu au secțiune circulară.

(2) La stâlpii cu secțiune circulară se va calcula capacitatea la compresiune ca pentru stâlpii de beton armat înlocuind rezistența la compresiune a betonului  $f_{cd}$  cu rezistența la compresiune a betonului confinat  $f_{ck,cf} / \gamma_M$ , cu  $f_{ck,cf}$  calculat ca la pct.6.2.

## 7. PREVEDERI CONSTRUCTIVE

### 7.1 CONSOLIDAREA LA ÎNCOVOIERE

(1) Consolidarea la încovoiere se realizează cu fâșii laminate sau țesături, cu fibrele orientate pe direcția axei elementului, și dispuse pe fața inferioară, pe fața superioară sau pe fețele laterale (fig. 7.1).

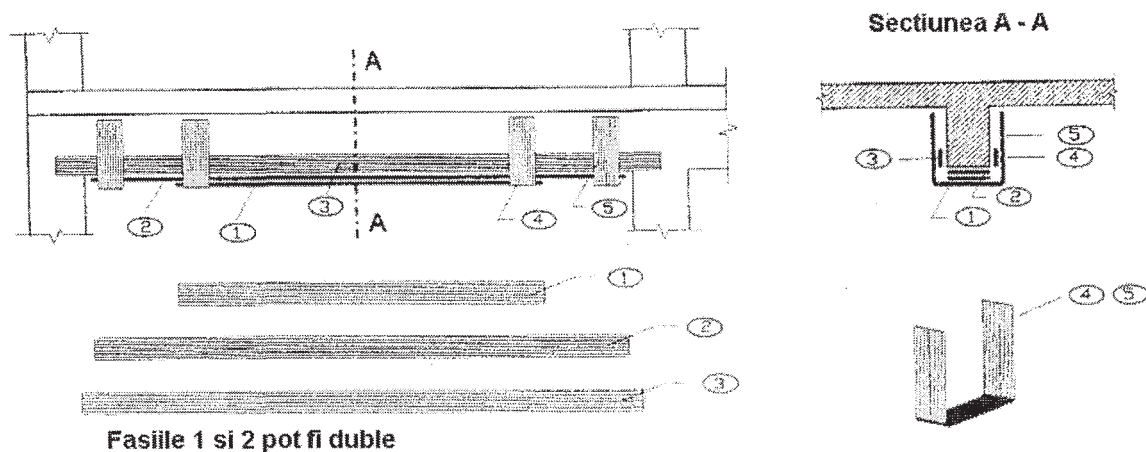


Figura 7.1: Dispunerea PAF pentru consolidarea la încovoiere

(2) Distanța maximă  $s_{f,max}$  între fâșiile din PAF pe direcție transversală, nu trebuie să depășească valorile :

$$\begin{aligned} s_{f,max} &\leq 0.2 l && (l = \text{deschiderea elementului}) \\ &\leq 5 h && (h = \text{înălțimea secțiunii elementului}) \\ &\leq 0.4 l_c && (l_c = \text{lungimea consolei}) \end{aligned} \quad (7.1)$$

(3) Distanța minimă până la marginea grinzii trebuie să fie egală cu acoperirea de beton a armăturii de oțel (interne).

(4) Nu se recomandă înnădirea PAF. În cazul când aceasta nu poate fi evitată, înnădirea se va face numai în zone unde efortul în PAF nu depășește 60% din efortul maxim admisibil. Lungimea de înnădire se va calcula ca în cazul verificării ancorării la capăt (vezi cap. 4), înlocuind  $f_{ctm}$  cu efortul maxim de aderență al adezivului  $f_a$  (de regulă 10 MPa).

(5) Raza de îndoire a fâșiilor laminate în formă de L sau U va fi precizată de fabricant în specificația tehnică a produsului. Pentru aplicarea țesăturilor se recomandă rotunjirea colțurilor elementului de beton, cu o rază de 30 mm, dacă nu este specificat altfel în specificația tehnică a produsului.

(6) Dacă trebuie aplicate mai multe benzi (lamele), se recomandă juxtapunerea și nu suprapunerea lor. Nu se vor suprapune mai mult decât 3 fâșii laminate sau 5 straturi de țesătură. În orice caz se vor respecta specificațiile fabricantului.

(7) Dacă se aplică mai multe straturi de PAF suprapuse, secțiunile lor de întrerupere se vor decala cu cel puțin 150mm.

(8) În cazul în care consolidarea se aplică în câmpul grinzilor simplu rezemate, distanța maximă până la capătul grinzii nu va depăși 50 mm.

(9) PAF lipite peste reazemele intermediare ale grinzilor sau plăcilor se vor ancora în zona comprimată (vezi fig. 7.2).

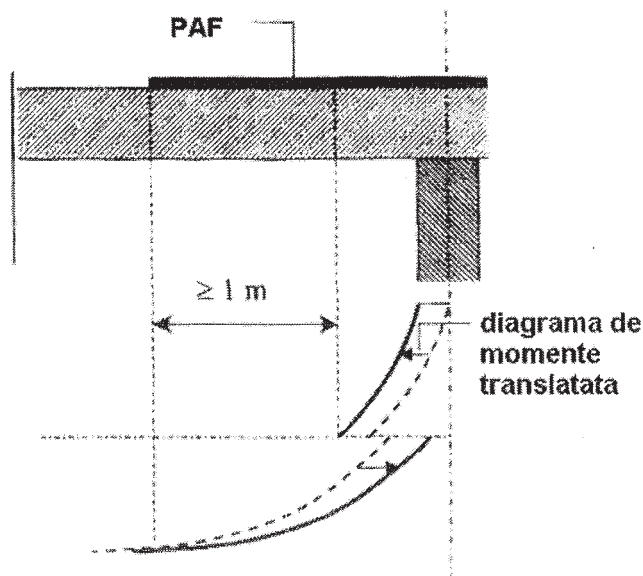


Figura 7.2 – Ancorarea PAF peste reazemele intermediare

(10) Se recomandă îmbunătățirea ancorării PAF prin prevederea de “etrieri” din PAF, lipiți de armătura PAF longitudinală și de beton (fig. 7.1). Acești “etrieri” de ancorare nu vor fi luați în calcul la verificarea de forță tăietoare.

## 7.2 CONSOLIDAREA LA FORȚĂ TĂIETOARE

(1) Consolidarea la forță tăietoare se poate face cu fâșii laminate în formă de L sau țesături continue (fig. 7.3).

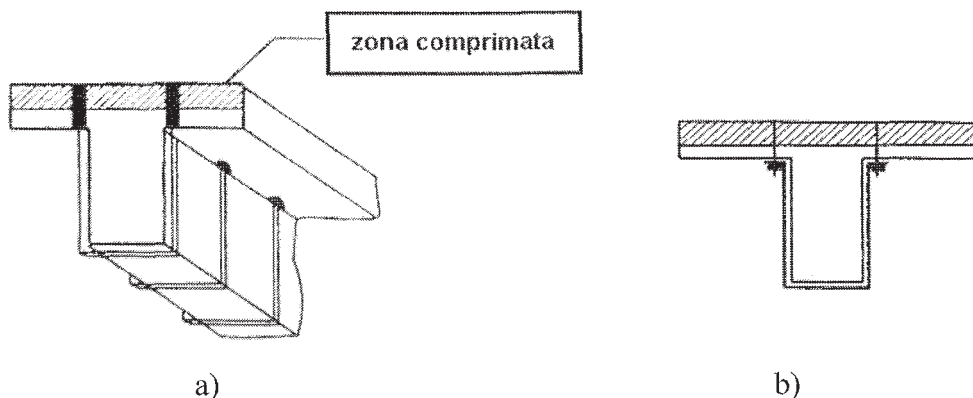


Figura 7.3 – Ancorarea PAF în zona comprimată: a) prin lipire în șlițuri ancorate în placă b) prindere cu ancore metalice

(2) Se recomandă, ori de câte ori este posibil, înfășurarea completă a secțiunii de beton (fig. 5.1b, cazul D). Nu se recomandă utilizarea armăturii din PAF lipit numai pe fețele laterale (fig. 5.1a, cazul A), deoarece ancorarea este deficitară atât la partea inferioară cât și la partea superioară.

(3) În cele mai multe cazuri, aplicarea armăturii din PAF se poate face pe trei laturi. În aceste cazuri se recomandă ancorarea PAF în zona comprimată a elementului (fig. 7.3).

(4) Când armătura din PAF nu pot fi ancorată suficient în zona comprimată, se va ține seama în mod indirect în calcul prin reducerea fictivă a brațului de pârghie al eforturilor interne (fig. 7.4).

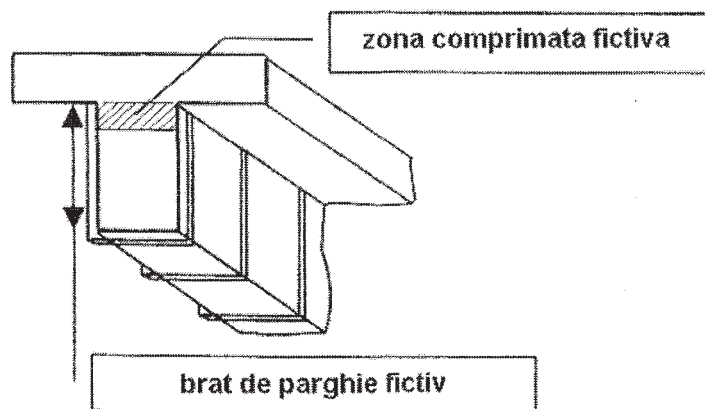


Figura 7.4 – Reducerea fictivă a brațului de pârghie la încovoiere când PAF este ancorat în zona întinsă

### 7.3 CONFINAREA BETONULUI COMPRIMAT

(1) Elementele de beton comprimate pot fi confinate cu manșoane din PAF cu fibrele dispuse transversal sau cu fibre continue înfășurate în spirală pe elementul de beton.

(2) În cazul stâlpilor de beton cu secțiunea dreptunghiulară efectul de confinare se îmbunătățește dacă manșonul din PAF este fixat pe laturile stâlpului cu ancore sau conexpanduri. Calculul miezului efectiv confinat se va face ca în cazul stâlpilor de beton armat cu etrieri cu mai multe ramuri legați de bare longitudinale intermediare.

Pentru fixarea cu ancore sau conexpanduri sunt necesare verificări experimentale.

(3) Întreruperea manșonului se realizează la cel puțin 30mm și cel mult 50mm de nod.

(4) Zona confinată va depăși cu cel puțin 50% lungimea articulației plastice calculată conform relației (6.9) de la paragraful 6.4, prevederea (2).

### 7.4 PROBLEME LEGATE DE UMIDITATE

(1) La aplicarea PAF pe elemente de beton, în special când întreaga suprafață este acoperită, se va verifica transferul de vapor, pentru a evita acumularea de umiditate sub adeziv.

(2) În cazul elementelor situate la interior, în medii cu umiditate scăzută, sau la exterior, dacă elementul este protejat și umiditatea redusă, se permite acoperirea completă.

(3) În cazul elementelor situate în medii cu umiditate foarte ridicată și/sau în contact direct cu apa, nu este permisă acoperirea completă.

(4) În cazul elementelor situate în mediu umed (de exemplu elemente situate la exterior și neprotejate, dar nu în contact direct cu apa), sunt necesare studii speciale.

### 7.5 ANCORAJE SPECIALE

(1) Pentru îmbunătățirea ancorării armăturilor din PAF pot fi folosite ancoraje speciale, dacă acestea au fost încercate experimental și au fost agrementate de un laborator abilitat.

## 8. EXECUTAREA ȘI CONTROLUL LUCRĂRILOR DE CONSOLIDARE CU MATERIALE COMPOZITE TIP PAF

### 8.1 COMPETENȚA EXECUTANTULUI

Executantul lucrărilor de consolidare cu sisteme PAF trebuie să facă dovada:

- competenței și dotării în ceea ce privește procedeele de instalare a sistemului de consolidare pe baza pregătirii cu reprezentării firmei de la care se procură sistemul
- competenței și dotării în ceea ce privește tehnicile de pregătire a suprafeței
- existenței procedurilor de control a lucrărilor executate.

### 8.2 TEHNOLOGII DE EXECUȚIE

(1) Aplicarea sistemelor de consolidare cu materiale compozite tip PAF se poate face manual sau mecanizat. Prezentul capitol cuprinde regulile de bază ce trebuie respectate în cazul aplicării manuale a sistemului ce reprezintă tehnologia de bază și cea mai răspândită.

(2) În aplicarea acestei tehnologii intervin trei elemente de bază:

- i. Stratul de bază  
Trebuie să îndeplinească cel puțin condițiile legate de rezistență, carbonatare, defecte, fisuri, degradări ale betonului sau armăturilor (inclusiv coroziune) contaminare cu ioni de clor sau sulfați etc. precizate la pct.8.3.1.
- ii. Adezivul/Rășina  
Trebuie să îndeplinească toate cerințele prevăzute în reglementările specifice (specificații tehnice, standard de produs)
- iii. Armătura de tip PAF  
Trebuie să respecte cerințele specifice formulate în prezentul normativ, fișele tehnice și agrementele tehnice corespunzătoare.

(3) Executarea lucrărilor depinde de tipul de produs utilizat, și anume:

- Produse compozite "prefabricate" sau "pre-tratate" sub formă de benzi sau laminate  
Acele produse sunt compozite la care forma, rezistența și rigiditatea sunt finale (aceleași în momentul livrării și aplicării). Se prezintă sub formă de benzi și laminate cu grosimi de 1,0-1,5 mm, similare cu platbandele metalice.

Pentru aceste tipuri de produse adezivul realizează numai aderența între bandă și stratul suport.

- Produse compozite aplicate umed sau tratate in-situ sub formă de pânze sau țesături  
Acele tipuri de materiale se prezintă fie sub formă de "fibre uscate", fără rășini, fie impregnate cu o cantitate mică de rășină. Chiar și în acest caz cantitatea de rășină nu este suficientă pentru polimerizare.

Pentru aceste tipuri de pânze sau țesături aplicarea adezivului este necesară atât pentru realizarea aderenței cât și pentru impregnarea materialului.

(4) Aspecte tipice privind aplicarea acestor sisteme sunt prezentate în tabelul 8.1.



Tabelul 8.1

	Instalarea produselor	
	PRE-TRATATE (PREFABRICATE)	TRATATE IN –SITU (APLICARE UMEDĂ)
Forma produsului	benzi sau laminate	pânze sau țesături
Grosimea	1,0...1,5 mm	0,1...0,5 mm
Aplicarea	prin lipire cu adeziv	prin impregnare cu rășină
	în cazul în care nu au o formă specială din fabricare, se aplică numai pe suprafețe plane	pot fi aplicate pe orice suprafață cu condiția evitării frângerilor (este necesară rotunjirea colțurilor înainte de aplicare)
	de regulă într-un singur strat; pot fi aplicate și în mai multe straturi	de obicei în mai multe straturi
	de regulă nu necesită aplicarea unui material de nivelare a suprafeței	de regulă este necesară aplicarea unui material de nivelare pentru a evita apariția zonelor fără aderență (datorate denivelărilor)
	simplă, garantează practic aplicarea în condiții de calitate foarte bună	necesită un control de calitate riguros produsele fiind foarte flexibile la utilizare
Control de calitate (pentru prevenirea aplicării greșite sau utilizării forței de muncă necalificate, pierderea legăturii între PAF și stratul suport, deteriorarea integrității sistemului etc.)		

### 8.3 CONDIȚII PRELIMINARE

#### 8.3.1 Prevederi generale

(1) Executarea lucrărilor și a controlului calității se face conform schemei prezentate în figura 8.1.

Suplimentar pot fi luate în considerare prevederi stabilite de producătorii sistemului PAF dacă au la bază cercetări experimentale.

(2) Înainte de aplicarea sistemului de consolidare cu PAF pe elementele din beton armat și/sau precomprimat se va verifica dacă (verificări preliminare):

- Rezistența minimă la întindere a betonului (determinată prin metoda smulgerii de suprafață) este  $1,5 \text{ N/mm}^2$
- S-a realizat repararea și protecția armăturii din oțel (în cazul în care oțelul era corodat sau se declanșase coroziunea).
- S-a realizat repararea zonelor degradate (zone cu segregări, beton carbonatat etc.). În cazurile în care betonul este degradat sau deteriorat pe o adâncime care nu mai permite reparații locale, trebuie luată în considerare soluția rebetonării.
- S-a realizat injectarea fisurilor. Orice fisură cu deschiderea mai mare de 0,2 mm va fi injectată cu rășină epoxidică.
- S-a realizat verificarea conținutului de cloruri. Se consideră că o concentrație de cloruri mai mare de 0,3% din greutatea cimentului este periculoasă pentru armătură
- Sunt îndeplinite condițiile de temperatură și umiditate.

#### 8.3.2 Pregătirea suprafețelor

##### 8.3.2.1 Stratul suport de beton

(1) În vederea realizării unei bune aderențe cu adezivul este necesară pregătirea corespunzătoare a stratului suport. Se vor parcurge următoarele etape:

- Asperizarea stratului suport și înlăturarea laptelui de ciment și a oricăror alte substanțe care pot afecta aderența (substanțe uleioase, vegetale, produse de coroziune etc).

Metoda cea mai uzuală este pulverizarea sub presiune (sablare cu nisip, grit, apă etc).

În cazul anumitor sisteme de consolidare este necesară aplicarea unor materiale de nivelare (deuniformizare) după sablare. În cazul utilizării apei sub presiune aplicarea materialelor se va face după uscarea betonului.

Indiferent de metoda aleasă aceasta nu trebuie să conducă la deteriorarea betonului.

**ii.** Verificarea aspectului suprafeței betonului (compactă, fără imperfecțiuni majore – zone segregate, fisuri, pete de rugină apărute ca urmare a coroziunii pieselor metalice sau armăturii înglobate ș.a-).

**iii.** Verificarea condițiilor privind planeitatea (uniformitatea) suprafețelor suport.

Cerințele referitoare la planeitatea betonului depind de sistemul de consolidare. Astfel, benzile sau laminatele (produse care au deja rigiditate finală înaintea aplicării pe suport) sunt puse în operă prin aplicarea unui adeziv tixotrop de vâscozitate ridicată și sunt mai puțin sensibile la neplaneități. Pânzele și țesăturile sunt foarte flexibile și urmăresc orice neplaneitate (neuniformitate).

În tabelul 8.2 se prezintă valorile admise ale neuniformității suprafeței suport a betonului.

Tabelul 8.2

Tip de PAF	suprafața betonului	
	neuniformitate	
	Neuniformitate admisă la o bază de 2,00 m (mm)	Neuniformitate admisă la o bază de 0,3 m (mm)
Benzi sau laminate cu grosimea > 1 mm	10	4
Benzi sau laminate cu grosimea < 1 mm	6	2
Pânze sau țesături tratate in-situ	4	2

**iv.** Utilizarea materialelor speciale de uniformizare (dacă este cazul; utilizarea acestor materiale este impusă în general de limitarea neuniformităților suprafeței suport)

Produsele utilizate pentru reparare trebuie să îndeplinească cerințele privind materialele speciale de reparare a betonului. Aplicarea produselor se va face în concordanță cu specificațiile prevăzute în agremente tehnice și în fișele produselor.

Produsele de uniformizare sunt, în cazul produselor tratate in-situ parte integrantă a sistemului de consolidare cu armături din PAF.

**v.** Curățarea suprafeței betonului de praf prin vacuumare sau cu ajutorul aerului comprimat.

**vi.** Verificarea stării suprafeței suport din punct de vedere al umidității și temperaturii

De regulă suprafața suport trebuie să fie uscată. Umiditatea admisibilă a suprafeței este precizată de producătorul armăturilor tip PAF. În cazul în care se utilizează un adeziv care poate fi aplicat pe suprafețe umede acesta va îndeplini cerințele de la pct. 8.4.1.

Sistemele de consolidare cu armătură din PAF nu se aplică pe suprafețe ude.

Temperatura suprafeței stratului suport va depăși punctul de rouă (care depinde de asemenea de umiditate) cu 5°C. În caz contrar sunt necesare mijloace artificiale de încălzire și deumidifiere.

**vii. Marcarea zonelor de aplicare a armăturii din PAF**

Zonele în care se vor aplica materialele compozite vor fi marcate pe suprafața betonului. În cazul unor aplicații mai complicate materialele compozite pot fi aplicate temporar pe beton. Pentru aplicarea pânzelor și țesăturilor este necesară rotunjirea colțurilor la o rază care se specifică prin proiect. În cazul în care se prevăd ancoraje mecanice vor fi luate toate măsurile necesare pentru montarea acestora.

**viii. Aplicarea unei amorse (dacă este cazul)**

În cazul în care se utilizează o amorsă, condițiile de aplicare vor fi precizate de producător. O amorsă se poate utiliza și înainte de aplicarea unui produs de reparare/uniformizare a suprafeței betonului.

**8.3.2.2 Materialele de tip PAF utilizate ca armare exterioară**

**8.3.2.2.1 Benzi sau laminate**

(1) Benzile și laminatele având lățimile specificate vor fi tăiate la lungimile indicate în proiect, la locul de punere în operă (în cazul în care nu sunt livrate direct la lungimile necesare).

(2) Înainte de aplicare se verifică starea produselor pentru depistarea deteriorărilor ce au putut surveni în timpul transportului, manipulării sau tăierii. Benzile/laminele nu trebuie să prezinte deformări- denivelări, ondulații etc.

Criteriile de acceptare a defectelor trebuie specificate pentru fiecare tip de produs, de către producător.

(3) Suprafața produselor va fi verificată pentru a evita aplicarea produselor cu pete de ulei, praf, agenți de dezghețare etc.

În cazul în care produsele se livrează cu folii de protecție, aceasta se înlătură imediat înainte de aplicare, evitându-se atingerea suprafeței cu mâna.

În situațiile în care produsele necesită o tratare/curățare specială înainte de aplicare, se vor utiliza metodele și uneltele de curățare indicate de producător.

Benzile/laminele trebuie manipulate cu mânuși curate și în condiții uscate.

**8.3.2.2.2 Țesături sau pânze**

(1) Țesăturile și pânzele se taie la dimensiunile specificate în desenele de execuție, la locul de punere în operă.

(2) Se va verifica starea produselor (existența deteriorărilor -ondulații, nealinieri ale fibrelor, deformări- rezultate din transport, manipulare sau tăieri necorespunzătoare etc), inclusiv a stării de curățenie a suprafeței acestora

(3) Înainte de aplicare se vor executa toate operațiile premergătoare specificate de producător

(4) După tăiere, țesătura trebuie să rămână plană până la punerea în operă. Este interzisă plierea țesăturii după tăiere.

Criteriile de acceptare a defectelor trebuie specificate pentru fiecare tip de produs, de către producător.

**8.3.3 Punerea în operă a materialelor de tip PAF**

**8.3.3.1 Benzi sau laminate**

(1) Imediat după amestecare adezivul se aplică pe beton (într-un start subțire) și pe materialul compozit (recomandabil într-un strat piramidal pe lățimea benzii; acest mod de aplicare reduce riscul formării golurilor în momentul presării).

(2) Se poziționează banda/laminatul pe suprafața betonului și se aplică o presiune cu ajutorul unei role pentru a realiza contactul intim cu betonul. Presiunea se aplică de la centru spre exterior (pentru a nu se forma goluri). Adezivul în exces este înlăturat de la marginile benzii/laminatului.

(3) Se verifică ca suprafața de aderență/lipire să fie uniformă de-a lungul benzii/laminatului și să corespundă unei grosimi a adezivului de cca 1,5-2 mm.

În cazurile în care se face dovada, prin rezultate experimentale, că se poate aplica adezivul pe o singură suprafață (beton sau bandă/laminat) acest procedeu poate fi utilizat.

(4) La intersecții, schimbarea grosimii adezivului trebuie efectuată în mod gradat astfel încât să fie îndeplinite cerințele tabelului 8.2.

(5) În mod normal nu sunt necesare dispozitive speciale de presare în timpul întăririi/tratării.

### **8.3.3.2 Pânze și țesături**

(1) În cazul în care acest lucru se specifică în documentația de execuție, se vor aplica pe suprafața betonului amorsa și materialul special de uniformizare (chit). Această operațiune se va face în conformitate cu prevederile din acordurile tehnice corespunzătoare și fișele de produs puse la dispoziție de producător.

(2) Peste materialul de uniformizare (chit) se aplică rășina de vâscozitate redusă (cu grosimea specificată de producători), apoi pânza sau țesătura, prin presare manuală, astfel încât să nu se formeze goluri. Impregnarea și presarea ulterioară a pânzei/țesăturii, sunt efectuate prin aplicarea adezivului deasupra acestora (după înlăturarea foliei protectoare, dacă a fost prevăzută) cu ajutorul unei role.

(3) Alternativ, pânzele sau țesăturile pot fi impregnate la fața locului într-un proces separat, manual sau cu o mașină de impregnare. Produsele impregnate se aplică pe elementul ce urmează a fi consolidat după pregătirea suprafeței și aplicarea amorsei, a materialului de uniformizare și a stratului de adeziv, în conformitate cu prevederile documentației de execuție.

(4) În cazul în care există posibilitatea utilizării echipamentelor pentru impregnarea pânzelor sau țesăturilor cu rășină, precum și operatori calificați pentru această operație, punerea în operă se poate realiza automatizat. Acest tip de aplicare asigură o impregnare controlată cu rășină și o grosime uniformă.

(5) În cazul în care nu există alte specificații, dovedite prin determinări experimentale, numărul maxim de straturi și grosimea totală nu vor depăși valorile specificate la cap.7 (Prevederi constructive).

(6) În mod normal nu sunt necesare dispozitive speciale de presare ale țesăturilor/pânzelor după aplicare până la întărire.

### **8.3.4 Finisare**

(1) Finisarea suprafețelor poate fi necesară pentru protejarea sistemului din considerente estetice.

(2) Protejarea sistemului se poate face prin peliculizare, vopsire, montare de panouri protecție etc. Tipurile de materiale și soluții utilizate trebuie să fie în concordanță cu acordurile tehnice și fișele de produs puse la dispoziție de producător.

(3) În cazul protecției la foc, protecției împotriva razelor ultraviolete etc. aplicarea și refacerea straturilor de finisare este esențială pentru integritatea de lungă durată a structurii consolidate.

(4) Verificarea compatibilității între materialul compozit de tip PAF și materialele de finisare este absolut necesară. În cazul în care aplicarea finisării implică încălzirea suprafețelor, creșterea temperaturii nu trebuie să conducă la deteriorarea integrității aderenței.

## **8.4 CONTROLUL DE CALITATE**

(1) Prevederile privind controlul calității din prezentul normativ se referă numai la materialele din cadrul sistemului PAF și la aplicarea acestora. Specificațiile privind tehnicile de reparare a betonului și de protecție anticorosivă a armăturii constituie obiectivul unor reglementări specifice.

### **8.4.1 Controlul de calitate al materialelor**

#### **8.4.1.1 Considerații generale**

(1) Valorile caracteristicilor materialelor trebuie puse la dispoziție de către producători, care au și obligația efectuării încercărilor/determinărilor în laboratoare autorizate, independente, în concordanță cu metodele de determinare standardizate sau cel puțin recunoscute de un organism de autorizare/acreditare (să fie incluse în domeniul de autorizare/acreditare al laboratorului). Totodată, producătorii trebuie să facă dovada existenței unui control eficient în timpul producerii materialelor. Suplimentar, se vor efectua încercări în timpul executării lucrărilor de consolidare în conformitate cu punctul 8.4.3.



(2) Produsele se livrează în condițiile stabilite la 8.4.3.1.

(3) Toate materialele trebuie produse sub incidența unui sistem de certificare autorizat/acreditat (1<sup>+</sup> pentru rășină și 2<sup>+</sup> pentru produsele PAF).

(4) Toate tipurile de fibre, rășini, materiale compozite și alte tipuri de materiale trebuie să fie conforme cu standardele de produs sau agrementele tehnice.

#### **8.4.2 Calificarea operatorilor**

(1) Aplicarea sistemelor de consolidare cu PAF precum și a reparațiilor la elementele/structura suport trebuie să fie efectuate de către operatori calificați și cu experiență.

(2) Șeful echipei de operatori și coordonatorul lucrărilor trebuie să fie calificați și instruiți cu privire la aplicarea sistemelor și tehnicilor de consolidare și trebuie să supravegheze, pe toată durata de execuție, efectuarea lucrărilor.

### **8.4.3 Controlul de calitate al executării**

#### **8.4.3.1 Condiții de livrare**

(1) Produsele vor fi livrate însoțite de documente, care vor cuprinde următoarele informații:

- date generale (cum ar fi: denumirea, tipul și utilizarea produsului, componentele sistemului, numele și adresa producătorului, numărul lotului și data expirării)

- certificate de calitate cuprinzând date privind proprietățile materialului determinate în conformitate cu metodele standardizate;

- informații privind manipularea, transportul și depozitarea (cum ar fi timpii de punere în operă a adezivului și materialului compozit, termenele de garanție, proporțiile de amestecare, cerințele pentru amestec, condițiile de depozitare, condiții și prevederi de aplicare, agenții de curățare, timpul între aplicarea amorsei și a materialelor de reparație/nivelare etc.);

- date privind siguranța operatorilor (cum ar fi toxicitate, inflamabilitate, impactul asupra mediului etc).

(2) Părțile componente ale adezivului vor fi livrate separat, predozate.

(3) Se va evita deteriorarea materialelor compozite în timpul transportului și manipulării.

(4) Tăierea materialului compozit la dimensiunile din proiect poate fi efectuată la locul de punere în operă, dacă această operațiune este efectuată în concordanță cu specificațiile producătorului, fără a produce nici o degradare materialului.

#### **8.4.3.2 Controlul calității materialelor livrate**

(1) Din materialele livrate trebuie prelevate eșantioane reprezentative. Numărul de determinări se va stabili în funcție de importanța lucrării (suprafața totală care se va consolida, dificultățile de realizare etc.). Se vor efectua cel puțin 3 determinări de întindere pentru materialul tip PAF și 6 determinări de compresiune pentru adeziv (în concordanță cu punctele 8.4.1.2 și 8.4.1.3).

#### **8.4.3.3 Controlul calității condițiilor de aplicare**

(1) Este obligatorie verificarea stării stratului suport de beton înainte și după aplicarea tehnicilor de reparație. Rezistența minimă la întindere a betonului trebuie să fie 1,5 N/mm<sup>2</sup>.

(2) Uniformitatea suprafeței betonului reparat (planeitatea) se va verifica în funcție de valorile precizate în tabelul 8.2.

(3) Se vor verifica umiditatea și temperatura aerului și betonului pentru a evalua condițiile de mediu ("uscă" sau "umed") pentru aplicarea adezivului.

#### **8.4.3.4 Controlul de calitate în timpul executării**

(1) În timpul aplicării sistemului de consolidare și a finisajelor trebuie efectuate verificări pentru asigurarea unei calități corespunzătoare a consolidării, și anume:

- controlul calității pentru verificarea respectării procedurilor de execuție cu aplicarea PAF pe direcția corespunzătoare și cu folosirea cantităților de materiale indicate în proiect;

- verificarea uniformității suprafeței materialului compozit și a grosimii adezivului după aplicarea PAF;

- verificarea calității aderenței conform prevederilor de la 8.4.3.5 .

#### 8.4.3.5 Controlul calității aderenței după executarea lucrărilor

(1) Controlul aderenței la zona de interfață este obligatoriu.

(2) Controlul de calitate a aderenței se efectuează prin metode nedistructive și parțial distructive (încercarea de smulgere). Determinările nedistructive sunt recomandate pentru controlul zonelor critice ale consolidărilor unde contribuția PAF este fundamentală, și în general, în toate situațiile în care suprafața consolidată este mică (în raport cu suprafața deteriorată în cazul aplicării metodelor parțial distructive). Pentru a efectua un control de calitate eficient în timpul executării pot fi prevăzute zone la care sistemul de consolidare se aplică numai în scopul verificării calității executării. Aceste zone vor fi executate împreună cu consolidările efective și în aceleași condiții cu acestea.

- Una din metodele parțial distructive constă în forarea parțială de carote care să cuprindă straturile de materiale tip PAF și 5 mm beton. Se lipește un disc și după întărire este solicitat la smulgere (întindere directă).

O altă metodă poate fi aplicată dacă o bandă/laminat a fost lipit la margine lăsând în consolă o porțiune suficient de lungă pentru a fi prinsă într-un dispozitiv. Produsul se va supune astfel la întindere până la producerea ruperii la nivelul interfeței adeziv-beton.

O altă metodă de testare prevede lipirea unui disc inelar pe suprafața produsului tip PAF aplicat pe beton și carotarea parțială la exteriorul și interiorul acestui disc, 5mm în beton. După întărire, discul este supus la torsiune.

- Determinări nedistructive

Pentru verificarea existenței unor goluri de dimensiuni mari în adeziv pot fi utilizate mai multe metode.

Golurile pot fi detectate prin ciocănirea suprafeței cu un dispozitiv cilindric din oțel cu diametru de 5 mm cu un cap rotunjit.

Mai pot fi utilizate metode moderne cum ar fi metode ultrasonice de ecou, termografia, metode dinamice etc.

(3) Dacă se constată prezența unor goluri importante, materialele PAF se desprind și se înlocuiesc. În cazuri speciale, cu acordul proiectantului, se pot injecta golurile. În aceste cazuri trebuie să se ia în considerare posibilele efecte negative datorate presiunii injectării etc.

#### 8.4.3.6 Înregistrări

La aplicarea sistemului PAF, se vor înregistra:

- data și ora instalării
- date privind temperatura și umiditatea
- metodele aplicate pentru pregătirea suprafeței
- observații privind aspectul suprafeței betonului (starea de curățenie)
- tipul echipamentului de încălzire locală (dacă se utilizează)
- deschiderea fisurilor neinjectate
- date de identificare a produselor PAF și adezivului (nume produs și producător, eventual nr. șarjă, locul amplasării pe structură)
- conformitatea cu procedurile de instalare
- rezultatul încercării de aderență, modul de cedare și locul încercării.

#### 8.4.4 Inspecția în timpul duratei de serviciu și mentenanța

(1) Este obligatorie elaborarea unui plan de inspecție și mentenanță pentru structurile consolidate cu acest sistem.

(2) Planul va conține prevederi referitoare la:

- intervalele la care se efectuează inspectarea obișnuită și inspectarea extinsă
- inspecția vizuală a sistemului și modul de înregistrare a constatărilor
- încercări necesare pentru verificarea integrității sistemului
- evaluarea sistemului pe baza datelor obținute prin inspectare
- acțiuni corective în cazul constatării deteriorărilor sistemului sau materialelor de protecție.



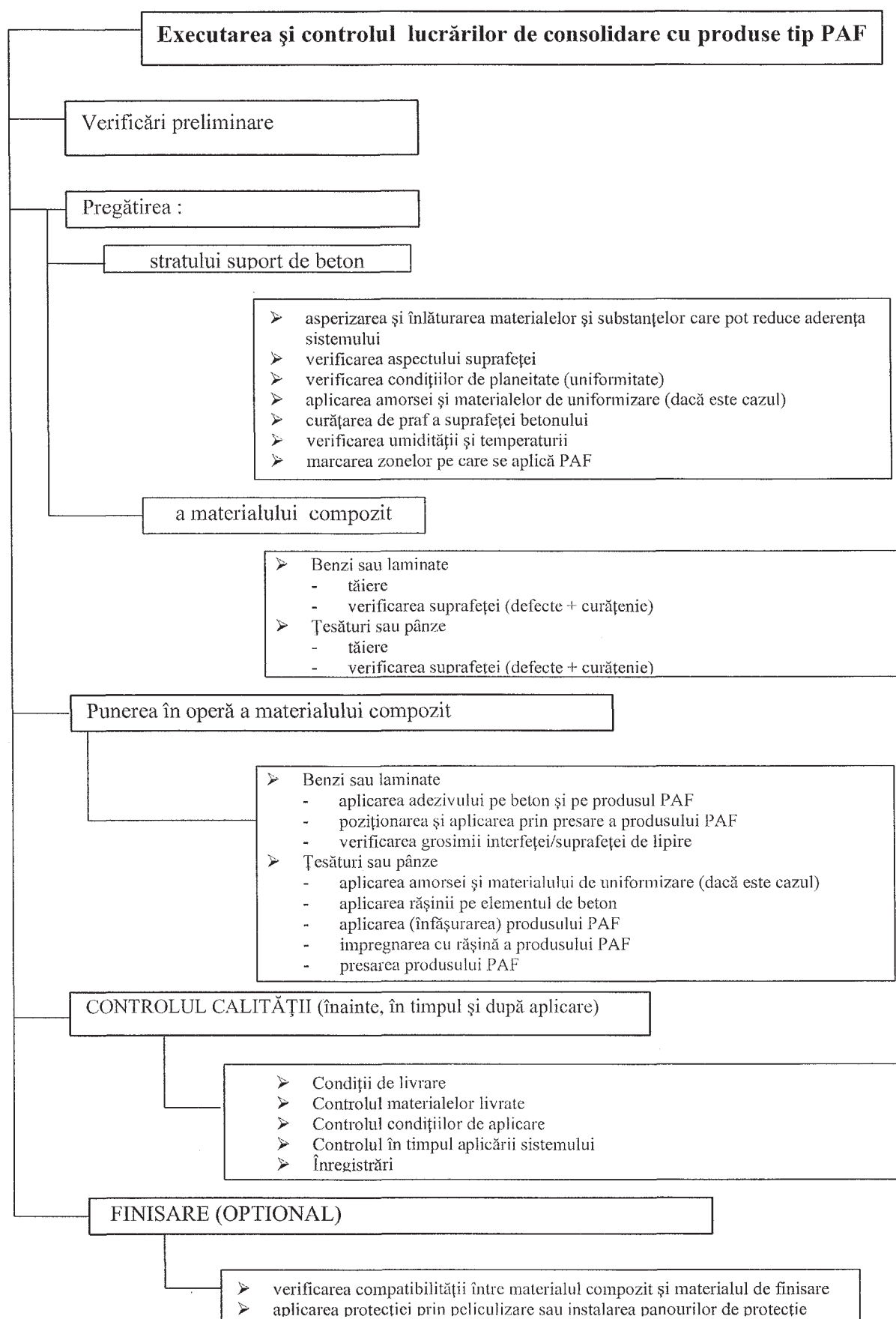


Fig. 8.1 Schema generală: Executarea și controlul lucrărilor de consolidare cu produse tip PAF

## ASPECTE PRIVIND MATERIALELE COMPOZITE TIP PAF

### 1. Materiale constituyente

#### 1.1 Grupe de fibre

- Fibrele continue de sticlă utilizate la armarea materialelor compozite sunt de trei tipuri: fibre tip E , tip S și tip AR (rezistente la alkali). Fibrele de tip E conțin cantități importante de acid boric și aluminat, prezentând astfel dezavatajul rezistențelor scăzute la alkali. Fibrele de tip S sunt mai rezistente și mai rigide decât cele de tip E, dar și ele au o rezistență scăzută la alkali. Fibrele de tip AR conțin o cantitate considerabilă de zirconiu ceea ce le conferă o bună rezistență la alkali. Fibrele de sticlă sunt cele mai avantajoase d.p.d.v al raportului între cost și rezistență specifică.
- Fibrele aramidice prezintă o structură anisotropică ce le conferă rezistențe și modul de elasticitate mari pe direcția fibrelor. Diametrul acestor fibre este de aproximativ 12  $\mu\text{m}$ . Aceste fibre au o comportare elastică la întindere, însă la compresiune au o comportare neliniară. Sunt rezistente la oboseală și curgere lentă.
- Fibrele de carbon sunt forme filamentare ale carbonului, obținute prin tehnologii la temperaturi ridicate, din celuloză regenerată, gudroane de cărbune sau rezidii petroliere sau din poliacrilonitril. Domeniul diametrelor se întinde între 5 și 18  $\mu\text{m}$ .

Există două tipuri de fibre de carbon:

- cu modul de elasticitate ridicat (tip I);
- cu rezistențe mari (tip II).

#### 1.2 Matricea

Rășinile termorigide prezintă o vâscozitate ridicată și nu se pot combina cu fibrele continue.

Atât în rășinile termoplastice cât și cele termorigide se pot adăuga materiale de umplere (filere), a îmbunătăți proprietățile mecanice și rezistența la foc și pentru a le reduce costul. Astfel de substanțe sunt: carbonatul de calciu, caolinul (argila), sulfatul de calciu, etc. În compoziția matricei de polimeri mai intră și diverși aditivi: inhibitori de ultraviolete, catalizatori, antioxidanți, etc.

Formele comerciale cele mai răspândite ale matricelor de polimeri termorigide utilizate la realizarea produselor de armare pentru beton sunt: rășinile poliesterice și rășinile epoxidice.

##### Rășini poliesterice

Cea mai utilizată rășină de acest tip este poliesterul nesaturat. Dintre formele comerciale ale acestui tip de rășină sunt de amintit: ortophthalic poliester, isophthalic poliester, vinilester, bisphenol A fumarates, etc.

##### Rășini epoxidice

Rășinile epoxidice sunt de circa două ori mai scumpe decât cele poliesterice, dar față de care prezintă următoarele avantaje:

- un domeniu mai larg de proprietăți fizice ce pot fi obținute, datorate diversității materialelor constituyente;
- la procesare nu se produc monomeri volatili;
- rezistență la solvenți și produse chimice;
- bună adeziune la fibre.

Dezavantajele utilizării rășinilor epoxidice sunt:

- costul matricei este mai mare;
- trebuie atent procesate pentru a asigura rezistența la umezeală;
- timpul de tratare (procesare) este mai lung;
- unii întăritori necesită atenție la manipulare putând ataca pielea.

Tehnologia de realizare a PAF trebuie să aibă în vedere caracteristicile materialelor constituyente, în primul rând al polimerilor pentru matrice. Caracteristicile care influențează metoda de fabricare sunt: vâscozitatea, punctul de înmuiere, condițiile de tratare a polimerului.

O vâscozitate scăzută a rășinii care permite o mai bună procesare a materialului compozit este necesară pentru acoperirea completă a fibrelor și o bună legătură între fibre, având ca urmare obținerea unui trafer optim de solicitări și deci proprietăți mecanice superioare.

În ce privește structura matricei, pentru a se evita în procesul de realizare subțierea și ruperea acestora este necesar ca în zonele solicitate să se găsească o cantitate suficientă de fibre. De asemenea se pot utiliza filere cu o anumită formă (raport mare lungime/grosime).

## 2. Proprietăți ale fibrelor

Datele prezentate în continuare se referă la fibre; în cele mai multe cazuri proprietățile acestora sunt modificate de rășină sau adeziv.

Rezistența la compresiune : Rezistența la compresiune a fibrelor de carbon și sticlă este aproape egală cu rezistența lor la întindere; cea a fibrelor de aramidă este în mod semnificativ mai mică.

Rigiditate : Modulul de elasticitate al fibrelor de carbon este similar cu, sau mult mai ridicat decât cel al oțelului. Rigiditatea fibrelor de aramidă este mai scăzută, iar cea a fibrelor de sticlă mult mai scăzută.

Rezistența la impact: Performanța fibrelor la impact este dependentă în principal de capacitatea de absorbție de energie. Fibrele care au atât o rezistență cât și un modul de elasticitate mare ( $R_s > 3500 \text{ N/mm}^2$ ; alungirea  $> 2\%$ ) sunt cele mai potrivite pentru aplicațiile la care este necesară o rezistență mare la impact. Anumite tipuri de fibre de carbon, aramidă și sticlă pot îndeplini aceste cerințe.

Rezistența la oboseală: Fibrele de carbon au o rezistență la oboseală mai ridicată decât a oțelului, iar cele de fibre de sticlă au o rezistență la oboseală mai scăzută decât cea a oțelului la solicitări reduse.

Rezistența la curgere lentă: Fibrele de sticlă și carbon au o bună comportare la curgere lentă. Conform unor studii făcute pe bare CAFS de înaltă calitate, deformația specifică din curgerea lentă este de cca. 3% din deformația elastică inițială.

Rezistența chimică: Fibrele de carbon și aramidă sunt rezistente la cele mai multe forme de atac chimic. Majoritatea fibrelor de sticlă pot fi deteriorate de mediile alcaline (pH. mai mare decât 11) dar nu de acizi. Aramidele absorb mai multă apă decât celelalte două tipuri de fibre ceea ce poate conduce la apariția problemelor de interfață între rășină și fibre.

În prezența sărurilor poate apărea ruperea tuturor tipurilor de fibre.

Rezistența la razele ultraviolete: Fibrele din carbon sau sticlă nu sunt afectate de razele ultraviolete. La fibrele din aramidă se înregistrează o reducere a rezistenței și modificarea culorii sub impactul acestora. În cazul înglobării lor în rășină aceste degradări apar numai în stratul de suprafață, fără a avea un efect global asupra proprietăților mecanice. Directa expunere la soare poate deteriora toate rășinile; o peliculă protectoare este în mod normal recomandată în aceste cazuri.

Conductivitatea electrică : Fibrele din aramidă sau sticlă nu sunt bune conducătoare de electricitate și deci pot fi utilizate în apropierea liniilor de tensiune, liniilor feroviare etc.

Fibrele de carbon sunt bune conducătoare de electricitate. Unele standarde naționale permit utilizarea lor în lucrările din domeniul energetic, dacă sunt izolate de orice armătură și piesă metalică. În general prezența rășinii este suficientă pentru aceasta. Se recomandă o grijă deosebită la manipulare și tăierea CAF în apropierea echipamentelor electrice. În plus, în cazul utilizării în apropierea liniilor de tensiune trebuie luate o serie de măsuri suplimentare pentru a se asigura că, în cazul dezlipirii adezivului, compozitul nu intră în contact cu sursa electrică.

Foc : Fibrele de sticlă își mențin rezistența până în punctul de curgere (peste  $1000^\circ\text{C}$ ); fibre de carbon oxidează în jur de  $650^\circ\text{C}$ . Fibrele de aramidă suportă combustia. În compozite, comportarea rășinii va determina performanța; cele mai multe generează fum toxic.

Sănătate și siguranță : Toate fibrele prezintă un risc neglijabil pentru de sănătatea oamenilor. La tăiere și manipularea produselor se vor lua măsuri de protecție întrucât particule foarte fine de material pot irita pielea, ochii și mucoasele.

Aspecte privind mediul: Fibrele de Aramid, sticlă și carbon nu sunt toxice și sunt inerte; nu sunt considerate periculoase ca reziduri. Pot fi utilizate și la structuri de înmagazinare, neconținând nici o substanță nocivă.

Durata de viață proiectată: În mod obișnuit 30 de ani cu instituirea unei inspecții și întrețineri permanente.

## CONTROLUL DE CALITATE AL LUCRĂRILOR DE CONSOLIDARE CU PAF

### 1. Prevederi generale

- Toate materialele trebuie produse sub incidența unui sistem de calitate autorizat
- Toate tipurile de fibre, rășini, materiale compozite și alte tipuri de materiale trebuie să fie conforme cu standardele sau agrementele tehnice corespunzătoare.
- Trebuie asigurată trasabilitatea tuturor materialelor ; toate materialele utilizate trebuie să fie certificate (sistem de certificare 1+ pentru rășină și 2+ pentru produsele compozite tip PAF)
- Examinarea vizuală a tuturor componentelor trebuie completată cu încercări desfășurate pe produse.
- Toate testele realizate pe materiale trebuie desfășurate în laboratoare autorizate și/sau acreditate
- Toate metodele de încercare utilizate trebuie să fie standardizate sau cel puțin recunoscute de un organism de autorizare/acreditare (să fie incluse în domeniul de autorizare/acreditare al laboratorului).
- Frecvența încercărilor trebuie este stabilită în planul de calitate în funcție de extinderea și complexitatea lucrării .

### 2. Cerințe pentru lucrul pe șantier

- Toate lucrările trebuie desfășurate în conformitate cu documentele sistemului de calitate certificat

- Toate materialele utilizate trebuie să fie însoțite la achiziționare de certificate de calitate
- Toate materialele trebuie depozitate și utilizate în conformitate cu instrucțiunile producătorilor
- Trebuie menținute înregistrări exacte ale materialelor utilizate (de exemplu bonuri de livrare; numere de șarjă) și, când este cazul, înregistrări ale condițiilor atmosferice (de exemplu: temperatură, umiditate relativă).

- Orice încercare solicitată de client trebuie desfășurată în laboratoare autorizate, în conformitate cu standarde naționale sau cu proceduri care fac parte din sistemul calității laboratorului autorizat.

#### Benzi sau laminate

- Se vor verifica existența documentelor de livrare și corespondența între calitatea certificată prin documente și cea prevăzută prin proiect sau specificații tehnice
- Este necesară verificarea vizuală a plăcilor pentru depistarea eventualelor deteriorări.
- La lipire, se va verifica uniformitatea/integritatea aplicării prin ciocănire ușoară sau alte metode.

#### Pânze, țesături

- Se vor verifica existența documentelor de livrare și corespondența între calitatea certificată prin documente și cea prevăzută prin proiect sau specificații tehnice.

- Este necesară verificarea vizuală a produselor pentru asigurarea uniformității și conformității
- Când este stipulat în contract, probele pentru încercare se fabrică în paralel cu produsele finite.

#### Adeziv

- Se vor verifica existența documentelor de livrare și corespondența între calitatea certificată prin documente și cea prevăzută prin proiect sau specificații tehnice
- Se va verifica termenul de garanție.

## ASPECTE SPECIALE PRIVIND EFECTELE MEDIULUI ȘI DURABILITATEA SISTEMULUI PAF

### 1. Generalități

La proiectarea consolidării structurilor cu sisteme PAF trebuie acordată o atenție specială problemelor legate de durabilitate, având în vedere particularitățile materialelor componente ale sistemului de consolidare.

Componenta critică a sistemului de consolidare este interfața material PAF – beton. Eficiența sistemului depinde în mod direct de proprietățile adezivului, modul de aplicare și comportarea în timp a acestuia.

Calitatea aderenței este condiționată de starea betonului existent în startul suport, pregătirea suprafeței. Trebuie acordată o atenție deosebită durabilității atât materialului PAF cât și întregului sistem de consolidare.

### 2 Temperatura de tranziție (de devitrifiere), $T_g$

Temperatura de tranziție ( $T_g$ ) este temperatura peste care performanțele materialelor tip PAF scad în mod dramatic. Energia termică care apare în cazul depășirii temperaturii  $T_g$  permite o deplasare a lanțurilor rășinii și astfel o sporire a flexibilității, având drept consecință o reducere a capacității de aderență care conduce de obicei la încărcarea neuniformă a fibrelor (care nu mai sunt înglobate uniform în rășină) și la ruperea prematură a acestora. Astfel capacitatea portantă a PAF poate fi redusă cu 30% - 40%.

Pentru a evita pierderea prematură a aderenței între PAF și beton, temperatura maximă de serviciu (de exploatare) trebuie să fie inferioară temperaturii de tranziție. Temperatura de tranziție poate varia în timp funcție de diferite condiții de mediu (temperatura, umiditate etc). Absorbția de umiditate în rășină conduce la scăderea nivelului temperaturii  $T_g$ .

La proiectare trebuie luate în considerare combinații de acțiuni incluzând și efectele temperaturii în conformitate cu reglementările de proiectare în vigoare.

În cazul în care elementul consolidat este supus unei temperaturi ridicate trebuie utilizat un adeziv având valoarea temperaturii  $T_g$  ridicată. Pentru creșterea temperaturii de tranziție pot fi utilizate două metode: utilizarea unei rășini având o valoare a temperaturii  $T_g$  ridicată sau aplicarea unei tratări ulterioare a rășinii pentru mărirea valorii temperaturii  $T_g$ .

### 3 Proiectarea și protecția la foc

#### 3.1 Elemente consolidate, fără protecție la foc

În cazul sistemelor neprotejate la foc, efectul consolidării se pierde rapid în caz de incendiu, în primul rând datorită înmuierii adezivului. Rezistența la foc a elementelor consolidate poate fi evaluată prin analiza secțiunilor de beton neconsolidate, la nivelul încărcărilor ce au fost luate în considerare pentru elementul consolidat. Se vor aplica regulile prevăzute în reglementările în vigoare privind proiectarea la foc a structurilor din beton.

Rezistența la foc poate fi evaluată atât la nivel de element (funcție de grosimea elementului, adâncimea de acoperire cu beton a armăturii) cât și la nivelul structurii.

#### 3.2 Elemente consolidate, protejate la foc

În cazul în care sistemele de consolidare sunt protejate la foc, trebuie utilizate metode speciale de calcul. Analiza prin calcul trebuie să cuprindă analiza termică (prin care se determină distribuția temperaturilor în element) și analiza mecanică, care va lua în considerare influența temperaturilor asupra proprietăților materialelor.

Dimensionarea protecției va avea la bază limitarea creșterii temperaturii în adeziv (cel mai “slab” element din acest punct de vedere) pentru o anumită durată de timp. Această valoare a temperaturii depinde de tipul adezivului utilizat dar este în general cuprinsă între 50°C și 100°C.

### 4 Umiditatea

#### 4.1 Efectul absorbției apei în materialul de tip PAF

În cazul materialelor de tip PAF, matricea (rășina) este elementul care absoarbe apă. Cantitatea de apă absorbită depinde de tipul rășinii și temperatura apei. Efectele imediate ale absorbției apei sunt



reducerea temperaturii de tranziție ( $T_g$ ) și rigidizarea rășinii. Ambele efecte sunt parțial reversibile pentru rășinile epoxidice în cazul uscării. În cazul poliesterilor și vinilesterilor schimbările pot fi reversibile sau nu, depinzând de durata și temperatura expunerii. Pentru adezivii structurali se admite o absorbție de apă de maximum 3% (raportat la greutate).

În cazul utilizării compozitelor cu fibre de sticlă pătrunderea umidității la interfața dintre rășină și matrice poate conduce la distrugerea agenților de legătură sau poate provoca scăderea rezistenței în timp a fibrelor prin “spălarea” (flotarea) sodiului sau a altor ioni metalici. Umezeala poate pătrunde în compozit datorită:

- acțiunii capilare de-a lungul axei longitudinale a fibrelor sau la interfața rășină-fibre.
- transferului prin fisurile sau golurile din structură;
- difuzia prin matrice.

Fibrele de aramidă absorb apă “din umiditate” până la 13% (raportat la greutate) cu efecte defavorabile asupra rezistenței la întindere și asupra legăturii la interfața rășină-fibre.

Fibrele de carbon sunt relativ inerte la apă astfel încât la materialele compozite pe bază de fibre de carbon umiditatea afectează numai matricea.

#### 4.2 Durabilitatea sistemului de consolidare PAF-beton

Determinarea stării structurii existente (betonului și armăturii) înainte de aplicarea sistemului de consolidare este deosebit de importantă pentru asigurarea aderenței și comportarea corespunzătoare în timp a sistemului. Repararea și protecția betonului se vor efectua înainte de aplicarea sistemului de consolidare, împiedicând astfel pătrunderea apei și/sau a diferitelor substanțe chimice în beton și deci deteriorarea betonului și distrugerea locală a aderenței.

Presiunea internă a porilor este o altă problemă majoră legată de proprietățile de barieră împotriva pătrunderii umidității în beton, a materialelor de tip PAF. Astfel sistemele de consolidare cu PAF au ca efect secundar etanșeizarea betonului. Pentru a permite umidității să pătrundă în elementele din beton armat consolidate cu PAF trebuie să existe zone extinse pe care nu s-a aplicat sistemul.

În cazul aplicațiilor la interior sau în zonele cu climat blând, efectul de barieră de vapori a betonului compact este minimal. Etanșarea (capsularea) elementului de beton armat cu PAF poate chiar conduce la creșterea durabilității datorită protecției suplimentare în medii agresive. În cazul încapsulării totale a elementelor din beton poros există un risc crescut de degradare în cazul expunerii în climat extrem și/sau umidității ridicate.

Aplicarea PAF la elemente structurale la care există riscul contactului integral cu apă nu se va face prin încapsularea totală a betonului.

Un beton compact având o pregătire corespunzătoare a suprafeței și o corectă aplicare a PAF poate conduce la reducerea riscului de comportare necorespunzătoare în timp a elementelor și structurilor din beton armat.

### 5 Efectele temperaturii

#### 5.1 Îngheț-dezgheț

Aplicarea sistemului de consolidare cu PAF pe elemente/structuri din beton armat, fisurate, implică existența zonelor de aderență scăzută la interfața între beton și PAF. Expansiunea datorată acțiunii de îngheț-dezgheț ce se produce în aceste zone poate produce delaminarea PAF la interfața PAF-beton. Efectul ciclurilor de îngheț-dezgheț asupra elementelor/structurilor consolidate trebuie luat în considerare.

Cercetările efectuate pe plan internațional au indicat că cele mai importante probleme pot apare în cazul betoanelor poroase, de calitate necorespunzătoare, nerezistente la îngheț-dezgheț.

În cazul stâlpilor confinați s-a constatat că degradarea datorată acțiunii de îngheț-dezgheț este mai importantă în zonele neconfinate.

#### 5.2 Aderența la temperaturi ridicate și scăzute

Datorită particularităților sistemului de consolidare cu materiale PAF, acestea formează cu betonul un “element compozit”, comportarea și integritatea sistemului depind nu numai de proprietățile materialelor individuale ci și de proprietățile interfețelor bandă-adeziv, adeziv-beton.

În general pentru temperaturi ridicate comportarea este dictată de proprietățile adezivului în timp ce pentru temperaturi joase de proprietățile rășinii matrice.

### 6 Expunerea la raze ultraviolete

#### 6.1 Considerații generale

În cazul expunerii Materialele la raze UV materialele polimerice se degradează. Razele de tip UV-A (cu lungimi de undă între 315 nm și 400 nm) și de tip UV-B (cu lungimi de undă între 280 nm și



315 nm) care pot cauza disocierea legăturilor chimice. Transformările ce pot avea loc în materialele compozite datorită razelor solare sunt printre primele și posibilele manifestări critice datorate expunerii în mediul exterior.

Lumina soarelui și în special razele ultraviolete pot conduce la o reducere a transmisibilității luminii și la schimbarea culorii compozitului. De asemenea se pot produce schimbări în proprietățile mecanice ale compozitelor. Deși schimbarea culorii este deseori percepută ca o indicație a reducerii rezistenței, în realitate este numai o condiție de suprafață și de obicei nu indică schimbări în integritatea structurală sau degradări fizice.

Schimbările de culoare și reducerea transmisibilității luminii afectează matricea (rășina) nu și fibrele. Fibrele de sticlă și carbon nu sunt practic afectate de razele ultraviolete. Fibrele de aramidă sunt mai afectate de razele ultraviolete dar nu într-o măsură foarte mare din cauza "producerii" unei pelicule autoprotectoare sub acțiunea razelor UV.

În general proprietățile mecanice ale compozitelor sunt puțin influențate de expunerea la razele ultraviolete. Gradul de deteriorare depinde de tipul rășinii și fibrelor precum și de orientarea acestora.

- Tipul de rășină

Rășinile poliesterice sunt în general mai susceptibile la degradări datorate razelor ultraviolete decât rășinile epoxidice deși s-au constatat reduceri similare ale rezistențelor. Reducerea de rezistență se datorează susceptibilității matricei la fisurare. Aceasta poate conduce și la alte probleme legate de mediu cum ar fi creșterea absorbției umidității și/sau atacul chimic.

- Orientarea fibrelor

Orientarea fibrelor în compozit este foarte importantă (vezi și tabelul A1.3 din anexa 1). Astfel în cazul în care proprietățile fibrelor sunt dominante, de exemplu în cazul solicitării de întindere sau încovoiere a compozitului, influența razelor ultraviolete asupra acestuia este nesemnificativă. În cazul în care proprietățile matricei (rășini) sunt dominante, de exemplu la solicitarea de forță tăietoare, compozitul este afectat de razele ultraviolete datorită reducerii rezistenței rășinii.

## 6.2 Protecție

Specificațiile privind aplicarea sistemelor PAF trebuie să conțină cerințele privind peliculizarea materialelor compozite pentru protecția împotriva razelor ultraviolete. În general protecțiile sunt vopsele acrilice sau poliuretaneice. Condițiile de aplicare vor fi specificate de producători.

## 7 Alcalinitate/Aciditate

Performanțele sistemelor de consolidare cu materiale compozite tip PAF expuse în medii acide sau alcaline depind atât de matrice cât și de fibre. Fibrele de carbon sunt rezistente la alcalii și acizi în timp ce fibrele de sticlă se pot degrada în aceste medii.

O aplicare corespunzătoare a matricei va izola și proteja fibrele și va amâna deteriorarea. În orice caz structurile din beton armat amplasate în medii cu alcalinitate ridicată și umiditate ridicată vor fi consolidate utilizând fibre de carbon.

## 8. Curgere lentă, eforturi de rupere și eforturi din coroziune

Betonul armat prezintă deformații sub încărcare constantă. Materialele compozite cu fibre de carbon nu prezintă fenomenul de curgere lentă, cele cu fibre de sticlă au curgerea lentă neglijabilă, numai la materialele compozite cu fibre de aramidă curgerea lentă nu mai poate fi neglijată.

Comportarea în ceea ce privește deformațiile de lungă durată ale elementelor consolidate cu materiale compozite cu fibre de carbon sau sticlă este dictată de curgerea lentă a betonului.

În cazul consolidării cu fibre de aramidă deformațiile în timp cresc considerabil datorită faptului că fenomenul de curgere lentă afectează atât betonul cât și materialul compozit.

Trebuie menționat că acest fenomen nu reprezintă decât în rare cazuri un factor care controlează dimensionarea consolidării cu materiale compozite, cu excepția cazurilor în care elementele din beton armat consolidate sunt relativ noi astfel încât se așteaptă ca betonul să dezvolte încă deformații substanțiale (ceea ce nu este valabil în cazul construcțiilor din beton vechi).

Un alt aspect important este cel legat de slaba comportare a materialelor compozite cu fibre de sticlă supuse la sarcini de lungă durată. Fibrele de sticlă prezintă ruperi premature la aceste tipuri de încărcări, ruperea producându-se la cca. 20% din forța de rupere la întindere.

Ruperea la coroziune intervine când atmosfera sau mediul sunt de natură corozivă. Acest fenomen legat de timp, nivelul de eforturi, natura mediului, tipul de matrice și fibre. Ruperea se consideră prematură când materialul compozit cedează sub valorile rezistenței ultime.

Fibrele de carbon nu sunt afectate de eforturile din coroziune până la niveluri ale eforturilor de 80% din capacitatea totală. Fibrele de sticlă și cele aramidice sunt sensibile la coroziune sub efort. Calitatea rășinii are un efect semnificativ în ceea ce privește timpul după care intervine cedarea și nivelele de eforturi de lungă durată.

Ordinea vulnerabilității eforturilor de rupere (de lungă durată) și a eforturilor din coroziune este următoarea:

- sticlă-poliester
- aramidă-vinilester;
- carbon-epoxi.

În cazurile în care nivelul încărcărilor de lungă durată este important este indicată utilizarea compozitelor cu fibre de carbon.

### 9. Oboseala

În general materialele compozite cu fibre de carbon prezintă o rezistență la oboseală mai bună decât a oțelului. Cercetările au indicat că factorul dominant în comportarea la oboseală a grinzilor consolidate cu PAF îl reprezintă oboseala armăturilor existente din oțel. Se recomandă ca principalul criteriu de proiectare la oboseală a grinzilor din beton armat consolidate cu materiale compozite cu fibre de carbon să îl constituie limitarea nivelului eforturilor în armături la nivelul permis în cazul grinzii neconsolidate.

### 10. Impact

Cunoștințele cu privire la comportarea elementelor din beton armat consolidate cu materiale compozite sunt relativ reduse.

Cercetările experimentale au scos în evidență în general o bună comportare la impact a elementelor din beton armat consolidate cu materiale compozite cu fibre de carbon, chiar dacă nu absorb aceeași cantitate de energie ca aceleași tipuri de elemente consolidate cu plăci din oțel.

Ca măsură suplimentară de îmbunătățire a rezistenței la impact pentru a evita pierderea prematură a aderenței materialelor compozite cu fibre de carbon se recomandă prevederea de sisteme speciale de ancorare la capete.

### 11 Efectul fulgerelor, coroziunea galvanică.

Materialele compozite cu fibre din sticlă și aramidă sunt izolatoare. Materialele compozite cu fibre de carbon sunt bune conducătoare de electricitate dar cu o rezistivitate relativ mare ceea ce conduce la încălzirea acestora în cazul în care curentul trece prin acestea.

Studiile au indicat că acțiunea fulgerelor are două efecte principale asupra materialelor compozite cu fibre de carbon, neprotejate: primul, materialul compozit devine atât de fierbinte încât rășina vaporizează, al doilea, proprietățile structurale ale materialului sunt afectate după răcirea carbonului.

Rezistența la întindere nu este afectată substanțial dar rezistența interlaminară și rezistența la compresiune pot fi distruse. În cazul acesta este necesară protejarea cu materiale din aluminiu.

În cele mai multe din consolidările cu acest tip de sisteme compozite nu sunt afectate direct de acțiunea fulgerelor pentru că elementele sunt poziționate în interiorul construcțiilor. În cazul utilizării materialelor la confinarea stâlpilor de poduri, este necesară protecția acestora în mod similar elementelor metalice. Pentru a evita potențiala coroziune galvanică a oțelului beton, fibrele de carbon nu trebuie să vină în contact direct cu oțelul.

**PROPRIETĂȚI ALE UNOR PRODUSE COMPOZITE****Tabelul A.4.1: Proprietăți ale benzilor (lamelilor) din materiale compozite tip PAF**

Numele produsului	Rezistența (N/mm <sup>2</sup> )	Modulul de elasticitate (kN/mm <sup>2</sup> )	Grosime (mm)	Lățime (mm)
Plăci din fibre de carbon	1400	360	până la 30	până la 1400
	1450	300	1,4	50
	1600	280	1,2 ; 1,4	50 ; 80 ; 120
	2100	140	până la 30	până la 1400
	2200-2500	165	1,2 ; 1,4 ; 2,1	
	2200-2500	210	1,2 ; 1,4 ; 2,1	50 ; 80 ; 100 ; 120 ; 150 ; 200
	>2200	150	1,2 ; 1,4	50 ; 80 ; 90 ; 100 ; 120
	>2200	200	1,4	50 ; 80 ; 100 ; 120 ; 150 ; 200
	2800	150	1,2 ; 1,4	50 ; 80 ; 120
	2900	210	1,4	60 ; 90 ; 100
	3050	165	1,2 ; 1,4	50 ; 60 ; 80 ; 90 ; 100 ; 120 ; 150
	3200	200	1,2 ; 1,4	50 ; 80 ; 120

**Tabelul A.4.2: Proprietăți ale țesăturilor din materiale compozite**

Numele produsului	Tipul fibrei	Rezistența (N/mm <sup>2</sup> )	Modulul de elasticitate (kN/mm <sup>2</sup> )	Greutatea pe unitate de arie (g/m <sup>2</sup> )	Grosime (mm)	Lățime (mm)
Țesături din fibre de	carbon	1417	120	300	0,167	153,3
		1700	65	350	0,135	680
		1900	640	300	0,143	250, 330, 500
		2900	120	290, 420	0,2 ; 0,29	300
		3400	230	200	0,111-0,167	250, 330 ; 500
		3500	230	230	-	610
		3550	235	300	0,111	500
		3900	240	200	0,165	300
		4090	230	200	0,117	100,250,500,1000
		4220	235	300	-	100,250,500,1000
		4900	230	150;300;900		300, 500, 1500
	sticlă	1100	42	432	0,167	150, 300
		1550	74	915	0,118	500
		2250	70	840	-	1270
		2650	640	400	0,235	300
		3400	230	200	0,111-0,167	250, 300, 500
	aramidă	1086	61	240	0,167	150, 300
		2100	120	280, 420	0,193;0,286	100, 300, 500
		2800	115	200, 300	-	340
		2900	390	300	0,165	250, 330, 500