

Studii de durabilitate — beton armat cu fibră de carbon (CFRC), cu bare sau plase

Armare inovatoare cu plasă din carbon

Studii de durabilitate

Beton armat cu fibră de carbon (CFRC), cu bare sau plase

1. Prezentare generală a durabilității CFRC

Betonul armat cu fibră de carbon (CFRC), care utilizează bare de armătură sau plase, oferă o rezistență la coroziune net superioară celei a oțelului, permițând potențial atingerea unei durate de viață de peste 100 de ani în medii agresive (mediu marin, mediu alcalin etc.).

Durabilitatea depinde în principal de:

- interfața fibră–matrice;
- factorii de mediu (alcalinitate, umiditate, temperatură, UV);
- solicitările mecanice (fluaj, oboseală).

Principalele mecanisme de degradare

Hidroliză și plastifiere: Umiditatea difuzează în matrice (de exemplu, vinilestereică sau epoxidică), reducând T_g (temperatura de tranziție vitrosă) și rigiditatea.

Atac alcalin: pH-ul ridicat al apei din porii betonului (~12–13) poate degrada fibrele dacă matricea protectoare este deteriorată.

Efecte sinergice: Combinațiile de acțiuni (de exemplu, umiditate + încărcare mecanică) accelerează degradarea mai mult decât efectele considerate separat.

Durabilitatea este în general modelată prin cinetica Arrhenius: viteza de degradare se dublează aproximativ la fiecare creștere de 10°C, ceea ce permite extrapolarea rezultatelor încercărilor accelerate.

În condiții reale, degradarea este adesea mai lentă decât cea estimată în laborator, datorită efectului protector al acoperirii cu beton.

2. Date privind performanța pe termen lung

Datele pe termen lung (>10 ani) sunt încă limitate, dar numărul lor crește; provin în principal din inspecții în teren și programe de monitorizare.

HITEXBAU – 2026 | Pagina 1 din 4

Armare inovatoare cu plasă din carbon

Aplicații reale (10–20 de ani de expunere)

În America de Nord, barele GFRP/CFRP utilizate în poduri (de exemplu, podul Val-Alain, Canada, 2007) nu au prezentat nicio degradare semnificativă după mai mult de 10 ani:

- Păstrarea a >84% din rezistența la tracțiune în beton umed, la temperatura ambiantă (20–40°C)
- Fără coroziune
- Pierdere minimă a aderenței

În mediul marin (de exemplu, Burj Al Arab, Dubai, 2015), armăturile CFRP și-au păstrat integritatea, cu o durată de viață estimată de 100 de ani și fără deteriorări asociate clorurilor.

Durată de viață estimată

Conform modelelor Arrhenius:

- Barele CFRP păstrează 80–90% din rezistența la tracțiune după 50 până la 100 de ani, la 20°C.
- Plasele utilizate în pardoseli industriale au o durabilitate estimată de 30 până la 50 de ani, cu fisurare minimă.

Rezistența la rupere prin fluaj

- Barele CFRP pot susține 70–85% din rezistența lor ultimă timp de 50 de ani.
- Datele de la poduri canadiene arată o creștere a deformației de <5% după 10 ani sub încărcări de exploatare.

Verificare critică

Majoritatea datelor se referă la GFRP (mai puțin rezistent decât CFRP).

Studiile specifice CFRP pe termen foarte lung sunt încă rare, însă modelele prevăd performanțe superioare datorită inerției chimice a carbonului.

3. Încercări de îmbătrânire accelerată

Încercările accelerate simulează mai multe decenii în câteva luni, prin creșterea temperaturii, a pH-ului sau a încărcării.

Protocoale uzuale:

- Imersie în soluție alcalină (pH 12–13)
- Temperaturi de 40 până la 60°C
- Standarde ASTM D7705 sau ISO 10406-1

HITEXBAU – 2026 | Pagina 2 din 4

Armare inovatoare cu plasă din carbon

Expunere alcalină

Încercările efectuate pe bare GFRP (matrice vinilesterică), în soluție cu pH 13,5, la 20–60°C, timp de 240 de zile, arată:

- Pierdere a rezistenței la tracțiune: 0 până la 42% (valoare maximă la 60°C, în imersie directă)
- Rezistență de aderență păstrată la 90–120%
- Tg stabilă (~100°C)
- Fără hidroliză semnificativă a matricei

Extrapolare Arrhenius:

- Pierdere de 40% în ~2,5 ani la 20°C, în imersie alcalină directă
 - Dar, în condiții realiste (armătură înglobată în beton), pierdere de <10%
- Betonul joacă un rol protector determinant.

Efectul combinat al umidității și temperaturii

Recomandările ACI indică:

- Pierdere de rezistență de 0 până la 20% după 1000–3000 de ore în soluție salină/alcalină, la 40–60°C.

- Fluaj: diminuarea rezistenței cu 5 până la 8% pentru fiecare decadă logaritmică.
- Cerință recomandată: >75% rezistență reziduală după 1000 h la 60°C (pH 12,7).

Oboseală + îmbătrânire

- 10⁶ cicluri la 40% din rezistența ultimă, în mediu alcalin: pierdere de 0 până la 10% pentru CFRP.
- În combinație cu umiditatea: reducere care poate ajunge la 20%.

Încercările tind să supraestimeze degradarea (imersie directă comparativ cu condițiile reale).

Cu factori de accelerare realiști ($\times 10$ la 40°C), rezistența păstrată la 50 de ani depășește în general 80% pentru barele și plasele CFRP.

4. Rezultate ale expunerii la condiții de mediu

Încercările acoperă: mediu alcalin, umiditate, UV, sare, temperatură — factori deosebit de critici pentru poduri și structuri marine.

HITEXBAU – 2026 | Pagina 3 din 4

Armare inovatoare cu plasă din carbon

Mediu alcalin

- Pierdere de 0 până la 10% după 1–2 ani simulați.
- Nicio degradare observată după 10 ani în beton real.

Umiditate / UV / sare

- Păstrarea a 80 până la 100% după 3000 de ore de expunere la UV + umiditate.
- Mediu salin: pierdere de 0 până la 15%.
- Încercări de igienă: absența dezvoltării microbiene (adecvat pentru medii hidraulice).

Temperatură / incendiu

- $T_g > 100^\circ\text{C} \rightarrow$ stabilitate până la 80°C în exploatare.
- În caz de incendiu: se păstrează 50 până la 65% din rezistență la 300–500°C (cu ancorare corectă).

Expunere reală

În medii agresive (poduri expuse la săruri de dezgheț, silozuri, ecrane antifonice):

- Fără fisurare sau coroziune după 5–10 ani.
- Reducerea volumului de beton $\rightarrow$ reducerea emisiilor de CO₂ $\rightarrow$ îmbunătățirea durabilității globale.

5. Recomandări și lacune

Factori de proiectare

- Utilizarea unui coeficient de mediu CE = 0,9 pentru CFRP expus.
- Preferarea matricelor vinilesterice pentru rezistența la mediu alcalin.

Direcții de îmbunătățire

- Dezvoltarea unor încercări hibride (îmbătrânire + încărcare mecanică).

- Integrarea unor sisteme de monitorizare în timp real (fibre optice).
- Acumularea de date din teren pe 20–30 de ani, pentru rafinarea modelelor predictive.

Analiză realistă

Perspectivile sunt foarte favorabile pentru aplicațiile marine și infrastructură.

Totuși, validarea completă la scara a 100 de ani va necesita mai multe date din teren, colectate pe parcursul mai multor decenii.

HITEXBAU – 2026 | Pagina 4 din 4