

BETON CU PULBERI REACTIVE ARMATE CU FIBRE DIN OȚEL

Ofelia CORBU

Șef laborator, doctor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Laboratorul Central, e-mail: Ofelia.Corbu@staff.utcluj.ro, ofecorbu@yahoo.com

Henriette SZILÁGYI

CSIII, doctor, INCĐ URBAN-INCERC Sucursala Cluj-Napoca, e-mail: henriette.szilagyi@incerc-cluj.ro

Dumitru MOLDOVAN

Asistent univ., doctor, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul Structuri, e-mail: Dumitru.Moldovan@dst.utcluj.ro

Maria POP

Doctorand, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, Departamentul Structuri, e-mail: Maria.Pop@dst.utcluj.ro

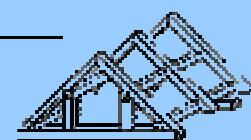
Abstract. Ultra High Strength and Performance Concrete development is a relatively new industry. The last 150 years have shown that despite of a constant increasing resistance for the concrete, the practical applications were often behind to these innovations in materials science. This appears to be due to increased costs as the resistance increases per unit volume and a caution restraint to use new materials in practical applications. This paper is intended to be as an encouragement to present a practical structural applications of Ultra High Performance Concrete (BUIP) or reactive powder concrete (BPR), first developed in Romania, by using locally available materials, including waste reusing and thereby making an ecological green concrete. This concrete has a viscous consistency but a slump flow similar to the self compacting concrete (SCC), and compressive strength values exceed 150 MPa (150 ÷ 200 MPa).

Key words: Ultra high strength and performance concrete, green concrete, local materials, structural applications.

1. Istoric

Primele programe de cercetare care au introdus terminologia de "Beton de Ultra Înaltă Performanță" au fost inițiate în 1985. Definiția adoptată face apel la criteriul "rezistenței la

compresiune" și impune o limită inferioară de cel puțin 150 MPa (Schmidt și Fehling, 2005). Pentru acele BUIP care utilizează în compoziție constituenți cu dimensiuni granulare foarte mici (pulberi) și au prin urmare



rezistențe mai mari, se referă termenul de "Beton cu Pulberi Reactive" (BPR).

În Franța, compania Lafarge în colaborare cu producătorul de compuși chimici Rhodia (www.Rhodia.com) și cu divizia de construcții a corporației Bouygues (www.bouygues.fr), au dezvoltat un BUIP comercializat sub numele Ductal®. Acesta încorporează fibre metalice sau organice și ajută la îmbunătățirea ductilității materialului. Testele au demonstrat că rezistența la copresiune crește de circa 6 - 8 ori (circa 230 MPa fără armătură tradițională) față de un Beton Convențional (BC), în timp ce rezistența la încovoiere are valori de circa 30 - 60 MPa.

O provocare pentru orice practician este să utilizeze noi materiale și tehnologii emergente în lipsa unei consacrări exprese la nivel de normă incidentă. Pentru a răspunde acestei provocări, câteva grupuri au inițiat în ultimii ani îndrumări tranzitorii pentru acest nou material. Următoarea listă, organizată pe țări, prezintă aceste resurse de îndrumare pentru ingineri:

Franța – în martie 1999, la solicitarea Comisiei Științifice și Tehnice a Asociației Inginerilor Civili din Franța, a debutat conceperea unui cod interimar pentru structuri din BUIP, publicat în franceză și engleză în ian. 2002 (AFGC/SETRA Working Group, 2002).

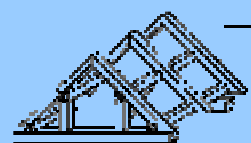
Australia – Universitatea New South Wales, Australia, a publicat "Cod de proiectare pentru grinzi precomprimate realizate din BPR" în concordanță cu metodologia și spiritul normei naționale Cod Australian AS3600-1994 (Gowripalan și Gilbert,

2000). Această lucrare prezintă exemple de proiectare și îndrumări pentru a obține rezistențe specifice la compresiune, încovoiere, forță tăietoare și torsiune, precum și verificarea deschiderii fisurilor, limitarea săgeții, rezistență la foc, rezistență la oboseală, pierderi de tensiune din precomprimare și ancoraje aferente.

Japonia – în sept. 2004, Societatea Japoneză a Inginerilor Civili a publicat "Recomandări pentru Proiectarea și Construcția Structurilor cu BUIP – pre-normă." (Japan Society of Civil Engineers, September 2006). Acest document include printre altele și tehnologii de execuție și exemple de poduri realizate în țară.

Statele Unite – în 2002 Federal Highway Administration (FHWA) a inițiat un proiect de cercetare în colaborare cu Massachusetts Institute of Technology (MIT) pentru optimizarea podurilor pentru autostrăzi prin utilizarea BUIP. În urma acestei colaborări s-a publicat raportul CEE Report R03-01, "Modele pentru optimizarea grinzilor de pod realizate cu BUIP la autostrăzi." (U.S. Dept. of Transportation - Federal Highways Administration, August, 2006). Acest raport prezintă strategia de proiectare a unui material casant-plastic cu o armare compozită elasto-plastică cu fibre. Perioada de început pentru BUIP disponibil comercial este marcată de aplicații structurale cu un aspect arhitectonic deosebit, pentru a trezii interesul se exemplifică o parte dintre aceste realizări, care sunt posibile numai datorită proprietăților fizico-mecanice intrinseci ale materialului.

Prima pasarelă din BUIP armat cu fibre de oțel a fost cea din Sherbrook,



realizată din Ductal®Lafarge în 1997 în Canada, Quebec peste râul Magog sub forma unui arc cu o rază de 326 m, destinată traficului pietonal și cu biciclete (Blais și Couture, 1999). Legătură între orașul Seoul, Korea, și insula Sunyudo din fluviul Han, pasarela Seonyu, terminată în 2002, este prima structură de acest tip realizată în întregime din Ductal® (Behloul și Lee, 2003).

Prima aplicație cu Ductal® în Japan o reprezintă pasarela Sakata-Mirai, cu o deschidere de 50 m și o secțiune transversală de tip grindă cu pereți subțiri cu goluri (Tanaka *et al.*, 2003).

Prima utilizare a Ductal® în New Zealand este pasarela Papatoetoe, cu o lungime totală de 175 m alcătuită din zece deschideri simplu rezemate, majoritatea de 20 m. Fiecare deschidere este alcătuită dintr-un element pi prefabricat cu goluri în inimă (Rebentrost și Wight, 2009).

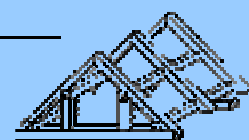
O structură excepțională, demnă de Cartea Recordurilor, **Viaductul Millau** se întinde mult deasupra văii Tarn în Franța. Acest exemplu de inginerie extremă a necesitat o barieră îndrăznească pe măsură, (Abdelrazig, 2008), proiectată sub forma unei pânze subțiri răsucită. Execuția a fost realizată de Eiffage utilizând **Ceracem®**. Proiectarea s-a bazat pe conceptul de segmente succesive și profită la maxim de adaptabilitatea BUIP la cofraje cu forme complexe. Acoperișul de 98 m este divizat în 53 de segmente asamblate prin postcomprimare longitudinală în faza finală cu ajutorul a 28 de cabluri.

Prima aplicație cu Ductal® in Canada este Stația de Tranzit Rapid (STR)

Shawnessy în Calgary, Alberta. Obiectivul primar al construirii unei învelitori care să acopere platformele stației a fost protejarea călătorilor de vremea nefavorabilă precum și de a reda un aspect estetic potrivit zonei rezidențiale din apropiere. Soluția utilizată depășește cu mult acest obiectiv și împinge limitele învelitorilor subțiri din beton prefabricat spre extrem, prin utilizarea noii generații de BUIP (Vicenzino *et al.*, 2005).

O aplicație impresionantă cu Ductal® este acoperișul Vilei Navarra din France (Lafarge Press Kit, May 2008), ascunsă printre dealurile din zona de coastă înaltă a Var-ului francez un dreptunghi de 40 m lungime și 10 m lățime, cu un singur nivel care este dublat de un heleșteu artificial care se pierede în peisajul înconjurător. Dorința de discreție este rezultatul ideii de a limita impactul asupra mediului natural. Romain Riccotti a ajuns la soluția finală în urma unui proces laborios de elaborare care a luat în considerare factori precum: ușurința de a transporta elementele prefabricate la șantier, greutatea fiecărui segment, modificări impuse de capriciile vremii, rezistența la vânt sau modificări de volum determinate de specificul climatic local. Aceste extreme sunt exemplificate de suprafața neizolată a acoperișului, neprelucrată după extragerea din cofraje pentru a beneficia de calitatea unei suprafețe finite și a unei impermeabilități specifice panourilor din Ductal®, (Lafarge, 2011).

Aplicații nestructurale/ arhitecturale ale BUIP sunt prezente sub formă de panouri fonoizolante la **stația de metrou din Monaco, Lafarge North America** (Lafarge, 2011).



Panourile subțiri și ușoare au o serie de perforații pentru a obține proprietățile dorite necombustibile, aceste panouri sunt rezistente la impact și creează un mediu estetic plăcut, luminos, pentru pasageri. Asemenea panouri s-au utilizat de-a lungul unei șosele în **Châtellerault, Franța**, datorită rezistenței ridicate la poluarea generată de traficul auto precum și datorită rezistenței la substanțele degivrante, (Lafarge, 2011).

BUIP a fost utilizat pentru panouri de fațadă la **Centru de Cercetare Rhodia din Aubervilliers, Franța**, (Lafarge, 2011). De asemenea, poate fi utilizat sub formă de panouri decorative (dantelărie) deoarece suprafața finită poate fi modelată să aibă diferite texturi care pot fi utilizate ca atare sau pictate.

Tabelul 1. Clasificarea betoanelor

Tip	Rezistența la compresiune la 28 zile, $f_{c,28}$ [MPa]
Beton Convenționale (BC)	20 - 50
Beton de Înaltă Performanță (BIP)	50 - 100
Beton de Ultra Înaltă Performanță (BUIP)	100 - 150
Beton Excepțional (BE)	> 150

BUIP se poate modela și sub formă de sculpturi, spre ex. **Copacul Martel din Boulogne-Billancourt, Franța, Lafarge North America** (Lafarge, 2011), care are unele elemente de structură cu o grosime de numai 6 cm. Se poate realiza de asemenea **mobilier urban** precum cele **opt stații de autobuz din Tucson, Arizona, Statele Unite**, care protejează pasagerii de căldura excesivă și dogoarea Soarelui (Lafarge,

2011). Culoarea albă și înglobarea de fibre organice au condus la cea mai bună variantă dintr-o suită de șapte posibilități. Alte variante de mobilier urban includ bănci și ghivece pentru flori (Lafarge, 2011). Se pot crea și elemente de **mobilier interior** mase, scaune, chiuvete, etc. sau chiar seifuri, Lafarge.

Pentru a facilita utilizarea criteriului rezistenței la compresiune, determinată la 28 de zile pe epruvete cilindrice cu un diametru de [100 mm] și o înălțime de [300 mm], pentru delimitarea diferitelor tipuri de BUP, s-a propus următoarea clasificare (Pliskin, 1994).

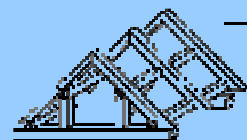
2. Program experimental

2.1. Experiența autohtonă

În România, cea mai înaltă clasă structurală utilizată este C50/60 cu o rezistență medie determinată pe epruvete cubice de circa 70-75 N/mm². Deși norma națională NE 012-2007 (Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare În Construcții și Economia Construcțiilor, 2007) permite utilizarea unor clase până la C100/115 care au o rezistență medie de 125-130 N/mm², clase mai mari de C50/60 sunt rare, practic necunoscute în execuție.

Primul program de cercetare a debutat la Departamentul de Structuri Civile din cadrul Facultății de Construcții din Timișoara sub îndrumarea prof. dr. ing. Iosif Buchman (Buchman, 1999). S-au obținut amestecuri cu o rezistență la 28 de zile de circa 140-213 N/mm² prin utilizarea unor agregate de râu (16mm) comune betonului convențional (BC).

Spre deosebire de acest studiu, o cercetare mai recentă (Program IDEI



PNII, 2007-2010) sub îndrumarea prof. dr. ing. Cornelia Măgureanu, (Măgureanu *et al.*, 2008a, 2008b; Corbu *et al.*, 2010a, 2010b; Măgureanu și Corbu, 2010) care a condus la obiectivul unei teze de doctorat finalizată în 2011 de către autorul principal din prezenta lucrare (Corbu O., 2011), care și-a propus să utilizeze pentru proiectarea amestecurilor nisip fin cuarțos (considerat un reziduu de către producător) ca principal agregat. Aceste amestecuri pot prin urmare să fie considerate BPR (conform definițiilor acceptate).

2.2. Principii de bază

Decizia de înlocuire a agregatelor de râu cu nisip cuarțos se bazează pe transferul eforturilor interne prin pasta de ciment și agregate. În cazul unor sorturi mai mari de agregate, componenta cea mai slabă a matricei vor fi întotdeauna agregatele (vezi Fig. 1, Walraven, 2002). Pentru a obține rezistența la compresiune de ordinul a 200 MPa este imperios necesar să se utilizeze sorturi mai mici. Creșteri sunt posibile și prin schimbarea stării de eforturi interne (spre ex. Confinare ca în cazul pasarelei Sherbrooke realizată din BPR), soluție care poate conduce la rezistențe de circa 350 MPa. Utilizarea unor pulberi metalice ca înlocuitor al nisipului cuarțos conduce la rezistențe cu totul deosebite de ordinul a 800 MPa, în combinație cu o metodă de tratare termică și presare în timpul întăririi betonului (Aïtcin, 2000).

BC și BIP suferă amândouă de o neconstistență între proprietățile constituenților din matrice, în special sub aspectul modulului de elasticitate

diferit al pastei de ciment și al agregatelor (vezi Fig. 1). Acest inconvenient este eliminat în cazul BUIP prin utilizarea unor constituenți cu modul de elasticitate similar, (Gao *et al.*, 2006). O zonă slabă de tranziție există la interfața pastă-agregate în cazul BC, respectiv BIP (Dowd și Dauriac, 1996).

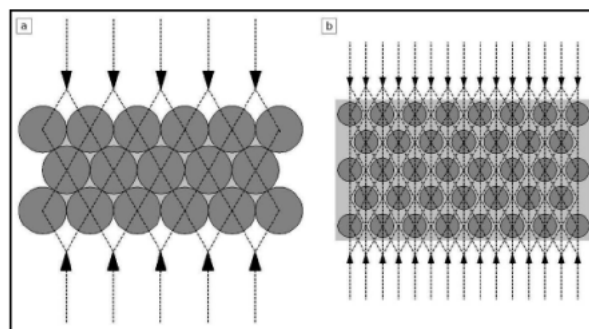
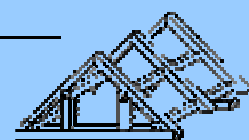


Fig. 1. Schema transferului eforturilor interne prin a) BC comparativ cu b) BUIP (Walraven, 2002)

În cazul BC, agregatele formează incluziuni sub forma unui schelet rigid. La aplicarea unei forțe de compresiune, la interfața pastă agregate apar eforturi de forfecare și de întindere care sunt aproximativ proporționale cu cel mai mare diametru de agregat. În BUIP, agregatele sunt incluziuni de diametre mult mai mici într-o matrice continuă.

Prin urmare, forța aplicată se transmite prin toată matricea și nu printr-un schelet rigid de agregate, ceea ce conduce la reducerea eforturilor care se dezvoltă la interfața pastă-agregate. Transmiterea uniformă atât prin agregate cât și prin matricea în care acestea sunt înglobate, conduce în cazul BUIP la o distribuție de eforturi interne mult mai uniformă, ceea ce reduce potențialul de forfecare și dezvoltare a unor fisuri din întindere la nivelul



interfeței agregate-pastă (Richard și Cheyrezy, 1995).

În BC, scheletul rigid împiedică o parte din contracția pastei de ciment, ceea ce conduce la creșterea porozității. În BUIP, agregatele nu împiedică acest fenomen deoarece au libertate de mișcare mult mai mare unele în raport cu altele, tocmai datorită diametrului mai mic (Richard și Cheyrezy, 1995).

Conform teoriei grosimii maxime a pastei de ciment, eliminarea completă a agregatelor grosiere și fine nu este în întregime benefică deoarece pe măsură ce grosimea crește rezistența la compresiune scade. Acest fenomen pare a se datora unui efect de confinare locală dezvoltat de agregatele înglobate în matrice (De Larrard și Sedran, 1994). Prin urmare, agregatele pe sorturi mici sunt menținute în matricea unui BUIP pentru a obține cea mai mare rezistență la compresiune posibilă.

2.3. Cerințe tehnice

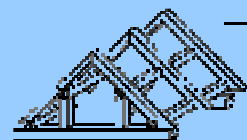
Prezentul studiu și-a propus ca obiectiv principal obținerea unor amestecuri cu rezistența la compresiune de la 150 la 200 MPa. Conform principiului compactității maxime dat de distribuția apoloniană (fiecare sort de particule pătrunde în golurile sortului imediat mai mare) precum și pe baza principiilor de bază pentru BUIP (Lee și Chisholm, 2005), rețetele preliminare din 1-a etapă (fără fibre dar cu diferite proporții de ciment și aditiv) au fost îmbunătățite în a 2-a etapă (prin creșterea cantității aditivului precum și prin introducerea de fibre). A 3-a etapă a fost considerată necesară în vederea perfecționării amestecurilor obținute (Tabelul 2).

2.3.1. Caracteristici în stare proaspătă

În Tabelul 3 se prezintă proprietățile în stare proaspătă pentru toate amestecurile în timp ce procedurile de testare a tasării și răspândirii sunt prezentate în Fig. 2.

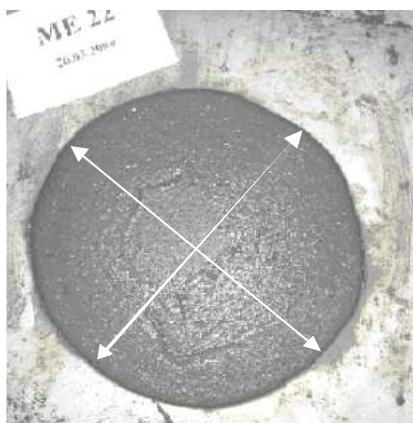
Tabelul 2. Rețete studiate (sub formă de proporții din cantitatea de ciment)

Constituenți	ME 22 a 2-a etapă	OE 23 Fibre lungi de oțel a 2-a și a 3-a etapă	OE 23 Fibre scurte de oțel a 3-a etapă	OE 23 Fibre hibride de oțel a 3-a etapă
RAPID CEM I 52.5R [kg/m ³]	1	1	1	1
Silice Ultrafină Grade 940 U [kg/m ³]	0.26	0.26	0.26	0.26
Nisip cuarțos 0/0.3 mm [kg/m ³]	0.28	0.25	0.25	0.25
Nisip cuarțos 0/0.63 mm [kg/m ³]	0.23	0.20	0.20	0.20
Nisip cuarțos 0.4/1.2 mm [kg/m ³]	0.18	0.15	0.15	0.15
Fibre de oțel [kg/m ³]	-	0.19	0.19	0.19
Superplastifiant ACE 440	0.06	0.065	0.65	0.065
Apă	0.16	0.16	0.16	0.16





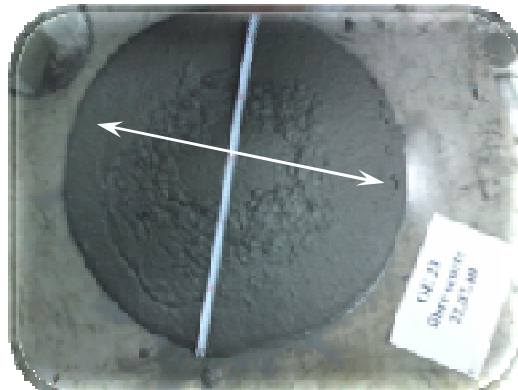
(a) ME 22, curgere prin pâlnia V



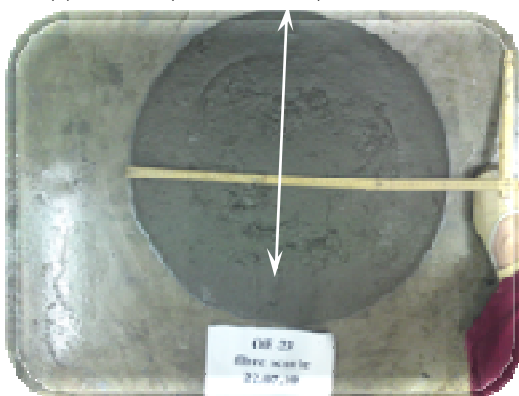
(b) ME 22, S₅ > 265 mm, F₄ - 560 mm



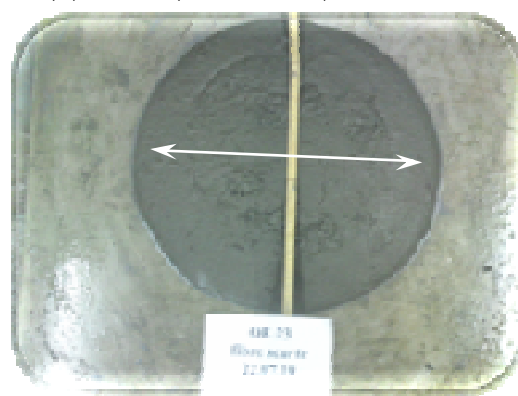
(c) OE 23 (fibre scurte) S₅ - 270 mm



(d) OE 23 (fibre scurte) F₃ - 565 mm



(e) OE 23 (fibre scurte) S₅ - 515 mm



(f) OE 23 (fibre scurte) după 60 min S₅ - 515 mm

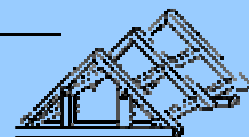
Fig. 2. Testarea proprietăților în stare proaspătă (a-b, 1-a etapă; c-f, a 3-a etapă)

2.3.2. Caracteristici în stare înțărită

Tabelul 3 prezintă rezistențele la compresiune (media a 6 valori consecutive pe epruvete cubice de 71 mm) pentru diferite condiții de tratare termică. Se menționează faptul că toate epruvetele au fost sigilate de mediul extern prin pensulare cu un polimer hidrofug tip Baumit BA2.

Se constată că pentru primul set de condiții de tratare termică (90°C și UR

80÷90%) comparativ cu condițiile standard (Apă 20±2°C), cea mai mare diferență în privința rezistenței la compresiune se obține la vârsta de 6 zile. Pentru primul set de condiții apare o scădere a rezistenței la compresiune după această vârstă, până la cea de 28 de zile. Prin contrast, al doilea set de condiții conduce la o creștere continuă a rezistenței la compresiune deși mai redusă valoric (vezi Fig. 3).



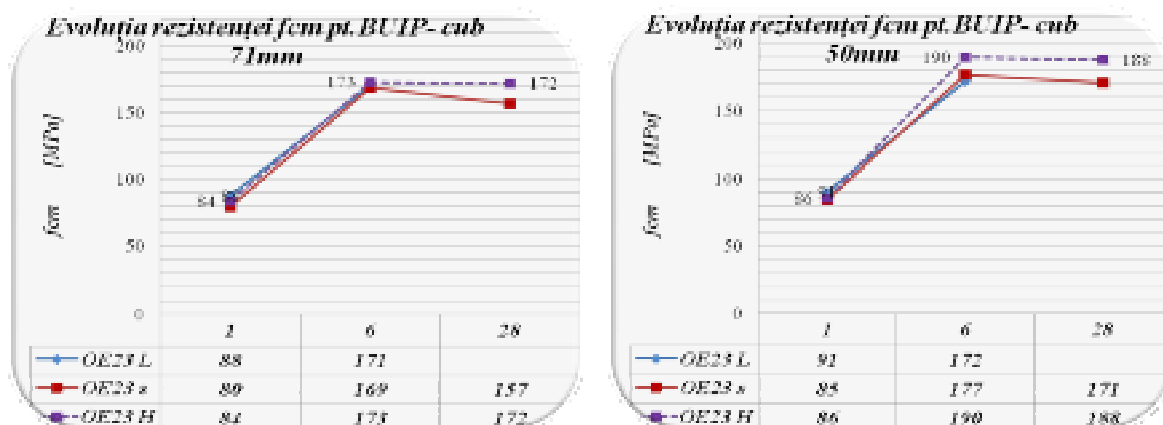


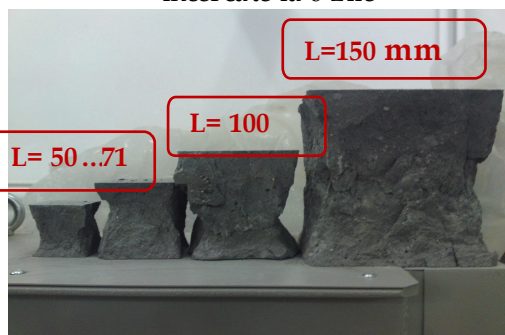
Fig. 3. Dezvoltarea rezistenței la compresiune în timp în funcție de tipul de fibre utilizat (stânga - cuburi de 71 mm, dreapta - cuburi de 50 mm)



Cuburi de 50 și 71 mm (beton simplu) încercate la 6 zile



Cuburi de 50 și 100 mm (armate cu fibre) încercat la vârsta de 6 zile



Cuburi de 50, 71, 100 și 150 mm (beton simplu) încercate la 1 zi



Cub de 100 mm (armat cu fibre) încercat la vârsta de 6 zile

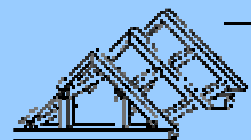
Fig. 4. Epruvete după testarea la compresiune uniaxială (Corbu et al., 2011)

Indiferent de tratamentul termic realizat, adăugarea de fibre în amestec are efecte pozitive.

În a 2-a etapă, două amestecuri au întrunit proprietățile dorite: ME 22 (fără fibre) ales ca rețetă martor și OE 23 (fibre lungi cu cârlige) ales pentru dezvoltare într-o a 3-a etapă, caracterizată de prelungirea timpului de malaxare precum și de utilizarea

unor variații în armarea dispersă: fibre lungi cu cârlige (ca și în a 2-a etapă), fibre scurte și fibre hibride (proporții masice egale de fibre lungi și scurte).

Datele din Tabelul 3, împreună cu Tabelul 4, (Corbu et al., 2011), justifică afirmația conform căreia amestecurile dezvoltate în acest studiu sunt similare cu BUIP disponibile comercial (Ductal® sau Ceracem®).



Tabelul 3. Caracteristici în stare proaspătă și întărită – selecție (cuburi de 71 mm)

Caracteristica	90°C și UR 80÷90 %				
	a 2-a etapă		a 3-a etapă prelungirea timpului de malaxare		
	ME 22 fără fibre	OE 23 fibre de oțel lungi	OE 23 fibre de oțel lungi	OE 23 fibre de oțel scurte	OE 23 fibre de oțel hibride
A/C	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23
A/L	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Tasare [mm]	265	247	270	270	260
Răspândire [mm] - 10 min.	560	428	560	565	545
Răspândire [mm] - 60 min.	-	-	508	515	500
Temperatură [°C]	26.7	29.5	32.5	32.28	35.3
Aer Oclus [%]	4.60	4.56	4.50	4.35	4.40
Densitate efectivă [kg/m ³]	2260	2400	2395	2437	2413
Densitate Calculată [kg/m ³]	2289	2410	2410	2410	2410
f _{cmv} 1 zi [MPa]	65	78	88	80	84
f _{cmv} 6 zile [MPa]	131	105	171	170	173
f _{cmv} 28 zile [MPa]	125	129	-	157	172

Tabelul 4. Tratament termic - dezvoltarea rezistenței la compresiune în timp

Rețetă	Condiții	A/C	A/L	f _{cm} -1 zi [MPa]	f _{cm} -6 zile [MPa]	f _{cm} ⁽¹⁾ /f _{cm} ⁽²⁾	f _{cm} -28 zile [MPa]	f _{cm} ⁽¹⁾ /f _{cm} ⁽²⁾
Fără fibre								
ME 20	90°C, UR 80÷90% (1)	0.20	0.16	-	148	2.77	140	1.33
	Apă 20+2°C (2)	0.20	0.16	-	53.5		105	
ME 21	90°C, UR 80÷90% (1)	0.20	0.16	74.4	152	1.95	145	1.45
	Apă 20+2°C (2)	0.20	0.16	74.4	78,1		100	
ME 22	90°C, UR 80÷90% (1)	0.22	0.18	65.1	131	1.53	132	1.31
	Apă 20+2°C (2)	0.22	0.18	65.1	85.4		101	
Fibre lungi din oțel								
OE 20	90°C, UR 80÷90% (1)	0.24	0.16	77	167	1.55	156	1.10
	Apă 20+2°C (2)	0.24	0.16	77	108		142	
OE 22	90°C, UR 80÷90% (1)	0.20	0.16	87	199	1.73	201	1.23
	Apă 20+2°C (2)	0.20	0.16	87	115		163	
OE 23	90°C, UR 80÷90% (1)	0.23	0.18	78	172	1.64	173	1.34
	Apă 20+2°C (2)	0.23	0.18	78	105		129	
OE 24	90°C, UR 80÷90% (1)	0.23	0.18	131	168	1.40	172	1.25
	Apă 20+2°C (2)	0.23	0.18	131	120		137	

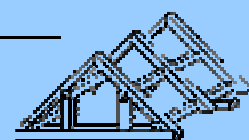




Fig. 5. Aspectul betonului prelevat în forme de plastic (Corbu, 2011)

Prin urmare, avantaje similare pot fi obținute prin utilizarea acestora, precum:

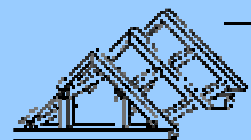
- Reducerea armăturii pasive;
- Compactare fără segregare;
- Secțiuni mai zvelte sau deschideri mai mari pentru aceeași încărcare;
- Rezistențe ridicate în primele zile (productivitate mărită prin reutilizarea mai rapidă a cofrajelor);
- Rigiditate mai mare pentru elementele structurale;
- Costuri reduse de întreținere pe durata de viață a structurii;
- Înlocuirea completă a armăturii transversale (etrieri);
- Redarea fidelă a amprentei cofrajului (vezi Fig. 5).
-

3. Concluzii

BUIP reprezintă o soluție excelentă pentru structuri care trebuie să satisfacă o combinație de mai multe cerințe precum rezistențe la compresiune inițiale și mari, costuri

reduse pentru execuție și pe durata de exploatare, durabilitate ridicată, ductilitate sporită, secțiuni zvelte, etc. Aceste proprietăți inerente sunt rezultatul îmbunătățirii proprietăților matricei, prin reducerea raportului apă/liant, prin utilizarea unor constituenți cu proprietăți puzzolanice precum praful de silice, a unor agregate pe sorturi mici cu o curbă granulometrică proiectată să determine cel mai mare grad de compactitate posibil, prin introducerea suplimentară a unor fibre scurte lungi sau hibride (combinații de fibre scurte cu fibre lungi) la care se adaugă un tratament termic adecvat, uzual sub formă de păstrare în atmosferă cu aburi (Richard și Cheyrezy, 1995).

Rețetele prezentate în acest studiu sunt utilizabile pentru numeroase aplicații, structurale, nestructurale sau chiar arhitectonice. Ne bazăm în această afirmație pe similitudinea dintre



caracteristicile realizate, care sunt similare unor BUIP disponibile comercial.

Mai mult, o caracteristică deosebită a rețetelor obținute este utilizarea unor materiale disponibile local, unele fiind considerate chiar deșeuri. Prin urmare, este posibilă reutilizarea unor materiale care astfel sunt valorificate și transformate în produse cu valoare economică ridicată care dau formă și consistență unor realizări constructive deosebite, cu respectarea principiului de bază al sustenabilității.

Mulțumiri

Acest rezultat a fost posibil cu sprijinul financiar al CNC SIS prin proiectul PN II - IDEI - ID 1053/2007. Un sprijin extins sub formă de materiale a fost furnizat de Lafarge România, la care s-a adăugat și BASF România. Mulțumim pentru sprijinul acordat.

BIBLIOGRAFIE

Abdelrazig B. (2008), *Properties & Applications of CeraCem Ultra High Performance Self Compacting Concrete*, ICCBT 2008.

AFGC/SETRA Working Group (2002), *Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concrete - Interim Recommendations*, Report, Association Française de Génie Civil, Paris, France, 2002.

Aïtcin P., Delagrave Y., Beck R. (2000), *A 100-m High Prefabricated Concrete Pole: Why not?* Proceedings of the IEEE International Conference on Transmission și Distribution, Construction, și Live Line Maintenance, pag. 365-374.

Behloul M., Lee K. (2003), *Ductal® Seonuy footbridge*, *Structural Concrete* **4(4)**:195-201.

Blais P., Couture M. (1999), *Precast, Prestressed Pedestrian Bridge - World's First Reactive Powder Concrete Structure*, *PCI Journal* **Sept-Oct.**, pag. 60-71.

Buchman I. (1999), *Betoane de ultra înaltă performanțe*, Universitatea Tehnică Timișoara, ISBN 973-9400-55-8.

Corbu O. (2011), *Betoane Performante*, teză de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Cluj-Napoca.

Corbu O., Măgureanu C., Oneț T., Szilágyi H. (2010), *Energy savings in the case of Ultra High Performance Concrete*, Proc. of Modern Science și Energy 2010, Cluj-Napoca.

Corbu O., Măgureanu C., Szilágyi H. (2010) *Performance Concrete*, Proc. of Contel 2010, Sibiu.

Corbu O., Moldovan D., Măgureanu C., Szilágyi H. (2011), *Ultra-High Strength Performance Concrete Properties*, Proc. of fib Symposium Prague, ISBN 978-80-87158-29-6.

De Larrard F., Sedran T. (1994), *Optimization of ultra-high-performance concrete by using a packing model*, *Cement and Concrete Research*, **24(6)**:997-1009.

Dowd W. M., Dauriac C. E. (1996), *Reactive Powder Concrete*, *Construction Specifier* **4(12)**:47-52.

Ductal® (2011), *A Revolutionary New Material for New Solutions*, www.lafarge.com, accesat la 4.04.2011.

Gao R., Liu Z. M., Zhang L. Q., Stroeven P. (2006), *Static Properties of Reactive Powder Concrete Beams*. *Key Engineering Materials* **302-303**:521-527.

Gowripalan N., Gilbert R. I. (2000), *Design Guidelines for Ductal® Prestressed Concrete Beams*, Design Guide, School of Civil and Environmental Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia.

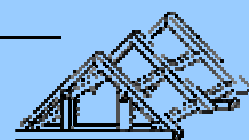
Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare În Construcții și Economia Construcțiilor (2007), *Cod de Practică pentru Executarea Lucrărilor din Beton, Beton Armat Și Beton Precomprimat, Partea 1: Producerea Betonului, Indicativ NE 012-1: 2007*.

Japan Society of Civil Engineers (2006), *Recommendations for Design and Construction of Ultra High Strength Concrete Structures - Draft*.

Lafarge Press Kit (2008), *A world first for the Villa Navara by Rudy Ricciotti, A 40 m-long Ductal® roof with a 7.80 m cantilever*.

Lee N., Chisholm D. (2005), *Reactive Powder Concrete, Study Report SR 146*, Ltd. Judgeford, New Zealand.

Magureanu C., Negrutiu C., Corbu O., Șoșa I. (2008), *Powder Concrete Mixtures*, Proc. of Constructions 2008, Cluj-Napoca.



- Măgureanu C., Corbu O. (2010), *Ultrahigh Performance Concrete Properties of Fresh Composition*, Proc. of 3rd Advanced Composite Materials Engineering 2010, Brasov.
- Măgureanu C., Hegheș B., Corbu O., Szilágyi H., Șoșa I. (2008), *Behaviour of high și Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete*, 8th HSC/HPC Symposium, Tokyo.
- Pliskin L. (1994), *Beton a hautes performances: aspects reglementaires*, Paris.
- Program IDEI PNII (2007-2010), *Betonul de ultraînaltă rezistență - ecologiemediului*, cod CNCSIS 1053.
- Rebentrost M., Wight G. (2009), *UHPC Perspective from a Specialist Construction Company*, UHPFRC 2009 - November 17th & 18th - Marseille, France.
- Richard P., Cheyrezy M. (1995), *Composition of Reactive Powder Concrete*, Cement and Concrete Research **25** (7):1501-1511.
- Schmidt M., Fehling E., (2005), *Entwicklung Dauerhaftigkeit und Berechnung Ultra-Hochfester Betone (UHPC)*. Forschungsbericht DFG FE 497/1-1. Structural Materials și Engineering Series, No. 1. Kassel University Press, ISBN 3-89958-108-3.
- Tanaka T., Hiroyuki M., Yoshihide S., Tadashi K. (2003), *Application Technology of Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete for A 50M Span SAKATA MIRAI Footbridge*, *Our World in Concrete Structures*, August 2003, Singapore, pag. 131-138.
- U.S. Dept. of Transportation - Federal Highways Administration (August, 2006), *Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete Prestressed I-Girders* (Publication No. FHWA-HRT-06-103).
- Vicenzino E, Culham G, Perry V. H., Zakariassen D, Chow T. S. (2005), *First Use of UHPFRC in Thin Precast Concrete Roof Shell for Canadian LRT Station*, PCI Journal **Sept.-Oct.**, pp. 50-67.
- Walraven J. (2002), *From Design of Structures to Design of Materials*. Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction, Proc. of the International Conference, University of Dundee, Scotland, UK, 9-11 Sept., pag. 805-818.

Primit: 20 aprilie 2012 • **Acceptat în forma finală:** 6 iunie 2012

