

Beton u novom stoljeću

Jovo Beslać

Ključne riječi

prateći problemi, razvoj, trajnost, beton visoke kvalitete, samougradivi beton, lakoagregatni beton, zeleni beton, sanacijski materijali

Key words

related problems, development, durability, high strength concrete, self-placing concrete, lightweight aggregate concrete, green concrete, repair materials

Mots clés

problèmes courants, développement, durée de vie, béton de haute qualité, béton auto-plaçant, béton à granulats légers, béton vert, matériaux de réparation

Ключевые слова:

бетон высокого качества, развитие, долговечность, самовстраивающийся бетон, легкоагрегатный бетон, зелёный бетон

Schlüsselworte:

begleitende Probleme, Entwicklung, Dauerhaftigkeit, Beton hoher Güte, Selbststeinbaubeton, Leichtzuschlagbeton, Grünbeton, Sanierungsmaterialie

J. Beslać

Beton u novom stoljeću

Upozorava se na osnovne probleme današnje primjene betona u građenju, naznačuju osnovna područja istraživanja u svrhu uklanjanja tih problema i upućuje na očekivane pravce razvoja i prilagođavanja potrebama novoga stoljeća. Očekuje se utvrđivanje postupaka pouzdanog proračuna trajnosti armiranobetonskih konstrukcija, uvođenje u veću primjenu trajnijeg betona visoke i vrlo visoke kvalitete te sređivanje i normiranje područja sanacija i zaštite armiranobetonskih konstrukcija.

J. Beslać

Concrete in new century

The author draws our attention to principal problems currently encountered during use of concrete in construction industry and points to some basic areas of research aimed at eliminating such problems, while also outlining expected development trends and measures to be undertaken to meet the needs of the new century. In this respect, procedures for reliable calculation of durability of reinforced-concrete structures are to be defined, a greater use will be made of more durable high strength concrete and ultra high strength concrete, and more order and higher level of standardization is expected in the field of repair and protection of reinforced-concrete structures.

J. Beslać

Le béton dans le nouveau siècle

L'article signale les principaux problèmes rencontrés dans l'emploi actuel du béton pour la construction, précise les domaines essentiels de recherches qui devraient permettre de résoudre ces problèmes et indique les directions prévisionnelles du développement et de l'adaptation aux besoins du nouveau siècle. On prévoit le développement des procédés d'un calcul fiable de la durée de vie des constructions en béton armé, l'emploi plus général des bétons de haute et de très haute qualité présentant une durée de vie plus élevée, ainsi que la mise en ordre et la normalisation des zones de réparations et de protection des constructions en béton armé.

Й. Беслач

Бетон в новом столетии

В работе предупреждается об основных проблемах сегодняшнего применения бетона в строительстве, назначаются основные области исследований с целью устранения тех проблем и направляется на ожидаемые пути развития и приспособления к потребностям нового столетия. Ожидается утверждение способов надёжного расчёта долговечности железобетонных конструкций, введение в большее применение более долговечного бетона высокого и очень высокого качества, а также упорядочение и нормирование сферы санаций и защиты железобетонных конструкций.

J. Beslać

Beton im neuen Jahrhundert

Es wird auf die Grundprobleme der heutigen Anwendung des Betons im Bauwesen aufmerksam gemacht, die grundlegenden Forschungsgebiete werden angeführt mit Ziel der Elimination dieser Probleme und auf die erwarteten Entwicklungsrichtungen und Anpassung an die Bedürfnisse des neuen Jahrhunderts hingewiesen. Man erwartet die Festlegung von zuverlässigen Berechnungsverfahren der Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen, Einführung umfangreicherer Anwendung von dauerhafteren Betonen hoher und sehr hoher Güte, sowie Regelung und Normung des Bereichs der Sanierung und des Schutzes von Stahlbetonkonstruktionen.

Pregledni rad

Subject review

Ouvrage de synthèse

Обзорная работа

Übersichtsarbeit

Autor: Prof. dr. sc. Jovo Beslać, dipl. ing. građ., Institut građevinarstva Hrvatske, J. Rakuše 1, Zagreb

1 Uvod

Beton je građevni materijal današnjeg stupnja razvoja društva. Gotovo stoljeće i pol, koliko se primjenjuje, pokrivaio je oko 70% potreba u građenju. Postao je infrastrukturna i urbana osnova suvremenog života. Međutim, pri prijelazu u novo stoljeće i u novo tisućljeće, kao i mnoge druge tekovine ove civilizacije, opterećen je brojnim dvojabama i nedoumicama. Materijal koji se gotovo do jučer proizvodio i primjenjivao na posve obrtnički način i u kojem se gotovo stotinu godina nije ništa bitnije istraživalo ni mijenjalo, postao je zbog ovih dvojbi i nedoumica područje najintenzivnijih istraživanja i promjena.

Danas se o betonu svake godine održava po nekoliko svjetskih i velik broj regionalnih i nacionalnih znanstvenih skupova s brojnim sudionicima i tiskanim referatima. Međutim, i pored svih tih istraživanja i napora spomenute dvojbe i nedoumice, koje ga prate u primjeni i u praksi mnogo koštaju, još se ne uspijeva ukloniti.

U ovome se članku pokušava opisati današnje stanje betona u građenju, istaknuti prateće probleme u primjeni, naznačiti osnovna područja istraživanja i unapređivanja i sagledati očekivane pravce razvoja u novom stoljeću, u kojima mu se adekvatna zamjena još uvijek ne vidi.

2 Beton danas

Mnogo je opravdanih razloga koji pojašnjavaju dominantnu ulogu betona u građenju. Neki su od njih [1]:

- niska početna cijena
- široka dostupnost sastavnih komponenata
- superiornost nad drugim materijalima u prijenosu tlačnog napreznja
- mogućnost iskorištavanja i niske i visoke tehnologije primjene
- podobnost ugradnje čelične armature za preuzimanje vlačnog tereta
- podobnost prevođenja u materijal visoke vlačne nosivosti sustavom prednapinjanja koje sprječava pojavu pukotina
- arhitektonska atraktivnost koju osigurava plastična i lako oblikovna priroda betona u svježem stanju.

Uz te prednosti prati ga, međutim, i već spomenuti niz otvorenih dvojbi pa i vrlo ozbiljnih problema u primjeni i eksploataciji. Jedno od osnovnih jest pitanje sve složenijeg oblikovanja, proračuna i dimenzioniranja, koje prema najnovijim normama teško razumijevaju i prate i vodeći stručnjaci. Ta materija, koja je sve donedavno u propisima razvijenih zemalja svijeta bila uređena dokumentima s najviše 150 do 200 stranica, narasla je u novim europ-

skim normama, formiranim uglavnom prema CEB-FIP-ovu "Model Codeu" iz 1990. godine, na više od 1.500 stranica. Doda li se tomu i prava poplava stručnih i znanstvenih članaka, zbornika, monografija i drugih dokumenata iz područja te problematike, nije čudno što je posljednji predsjednik FIP-a na posljednjem kongresu (pred integraciju s CEB-om) javno upozorio [2]:

"Inženjeri moraju čuvati svoj vlastiti jezik, različit od jezika arhitekata i znanstvenika".

Vjerojatno je to bio i jedan od razloga odustajanja azijskih članica *fib-a* od preuzimanja europskih norma, što se očekivalo, i odluke da se izrade azijske norme.

Zbog tih problema a i stoga što ni u tako opsežnoj građi još nema čak ni koncepta postupaka proračuna trajnosti betonskih, posebno armiranobetonskih konstrukcija i sam je *fib* već osnovao inicijalnu radnu grupu za pripremu početnih ideja za novi *fib-ov* Model Code [3].

Drugi i pouzdano najveći današnji problem betonskih, posebno armiranobetonskih konstrukcija u primjeni i eksploataciji jest njihova upravo spomenuta nedovoljna trajnost.

Beton sam po sebi u neagresivnim uvjetima eksploatacije jest ne samo trajan, gotovo vječan, nego sa starošću postaje sve čvršći i bolji. Vrlo dugo (više od stotinu godina) takvo je uvjerenje u praksi bilo pogrešno (u svim uvjetima eksploatacije), što i jest uzročnik njegovih današnjih još uvijek neriješenih problema i prebrzog dotrajanja u sve brojnijim i ruralnim i urbanim agresivnim uvjetima eksploatacije, kakva je, npr., kloridno agresivna okolina mora i prometnih objekata koji se zimi održavaju posipanjem sa solima.

Možda najkarakterističniji primjer tih problema, koji je vrijedno ovdje spomenuti, jest slučaj donedavna najdužeg mosta u Europi, Eland Bridgea u Švedskoj, koji spaja otok Eland s matičnim kopnom. Most dužine 6.072 m je za ukupnu cijenu od 10 milijuna američkih dolara završen i pušten u promet 1972. godine [4]. Projektiran je i izveden s parametrima kvalitete, koje su utvrdili i odobrili tadašnji najstručniji autoriteti švedskog društva i države. Međutim, već početkom 1980-ih je na sandučastim monolitnim stupovima primijećeno ljuštenje zaštitnog sloja i korozija armature u zoni plime i oseke i u zoni zapljuskivanja valovima, pa čak i nekoliko metara pod morem. Nakon vrlo ozbiljnih i opsežnih studija i brojnih ispitivanja od 1990. do 1994. godine sanirano je (izrdom novog samonosivog plašta) 112 stupova za ukupnu cijenu od 48 milijuna američkih dolara [5].

Nije čudno što su se slične stvari u isto vrijeme dogodile i nama pri gradnji naših jadranskih mostova, od kojih je paški most već saniran (luk prije deset godina a nadlučna konstrukcija prethodne godine), a izuzetno složena i skupa sanacija i zaštita Krčkog mosta je upravo u toku.

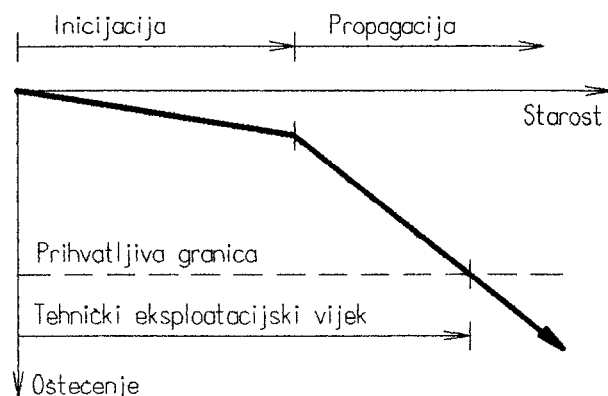
Na sanaciju takvih građevina danas npr. Velika Britanija i Njemačka troše godišnje po 10 milijardi američkih dolara i razvijeni svijet općenito oko 4% nacionalnog dohotka [6].

3 Beton u novom stoljeću

3.1 Trajnost betonskih konstrukcija

Nedovoljna eksploatacijska trajnost temeljni je problem betonskih konstrukcija, koji će ubrzano morati biti riješen. Danas se to smatra i temeljnim izazovom inženjerima ne samo za iduće stoljeće nego i za tisućljeće pa su mnoge stručne i znanstvene snage u brojnim svjetskim, regionalnim i državnim institucijama i organizacijama "upregnite" u njegovo rješavanje.

CEB je još 1978. godine formirao radnu grupu "Trajnost" sa sedam članova iz različitih Europskih zemalja čiji je rad rezultirao CEB-ovim priručnikom za trajne betonske konstrukcije, publiciranim prvi put 1992. godine, a ponovno 1997. godine. Prema njemu je eksploatacijski vijek betonske konstrukcije određen njezinim ponašanjem u vremenu dostizanja granice prihvatljivosti (slika 1.). Smatra se da bi to trebalo biti osnova projektiranja trajnosti, ali još nije doraden do usuglašene praktične primjene i unosa u sadašnje norme.



Slika 1. Eksploatacijski vijek određen svojstvom u vremenu dok se ne dosegne granica prihvatljivosti [7]

Dvanaest europskih partnera je 1995. godine pokrenulo projekt racionalnog pristupa projektiranju eksploatacijskog vijeka betonskih konstrukcija na probabilističkom principu, jer su i opterećenja (uključivo i djelovanja okoline) i odgovori konstrukcije probabilističke prirode. Predložen je *Europskoj komisiji* u Brite-Euram četvrtom okvirnom programu kao *Dura-Crete projekt*. Završen je 1999. godine i publiciran kao Projektni priručnik. U njemu su skupljena i kombinirana iskustva izvođača, vlasnika građevina, istraživača, dobavljača građevinskih proizvoda, konstruktora, specijalista trajnosti i drugih te je primjena toga probabilističkog pristupa projektiranju

eksploatacijskog vijeka betonskih konstrukcija prema ponašanju u eksploataciji ilustrirana i specifičnim primjerima [8].

Europska komisija danas projektom *DuraNet* financira međunarodnu mrežu izmjene informacija i širenja iskustava akceptiranih u *Dura-Crete* pristupu.

Ima u ovom području i drugih inicijativa. Poznati EUREKA krovni projekt EURO CARE je rješavanje ovih problema usvojio kao svoj strateški cilj i prihvatio metodologiju CIB-a i RILEM-a a ISO, CIB i RILEM su 1991. godine inicirali suradnju s EU i CEN-om.

U Berlinu je u lipnju 1999. u organizaciji CEN/TC104 i *DuraNet* projekta održan prvi od tri programirana seminara projektiranja trajnosti na kojem su sumirani dosegnuti rezultati i utvrđeni budući zadaci. Prezentiran je među ostalim i ISO/TC59 i RILEM/CIB pristup rješavanju problema trajnosti betonskih konstrukcija.

Program budućih nastojanja koncentrirana se na daljnje prikupljanje i analiziranje iskustvenih podataka i na usvajanje egzaktnih postupaka ispitivanja i utvrđivanja stanja i svojstava dotrajavanja betonskih konstrukcija i na utvrđivanje projektantskih kriterija ocjenjivanja stanja. U RILEM-u je npr. samo za utvrđivanje i usvajanje relevantnog postupka ispitivanja prodora klorida u beton osnovana radna grupa od oko 50 svjetskih stručnjaka i eksperata iz toga područja. Slične radne grupe rade i na drugim postupcima (u drugim svjetskim ili europskim organizacijama), npr. za ispitivanje dubine karbonatizacije, otpornosti na smrzavanje i sl.

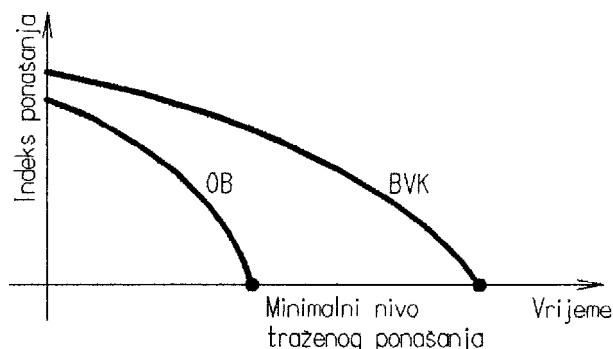
Problem projektiranja trajnosti betonskih konstrukcija je, dakle, tek u fazi intenzivnih istraživanja i usuglašavanja stajališta i postupaka. Određeni već definirani i preporučeni postupci i programi još su u fazi eksperimentalne primjene. Međutim, bez dovoljno kvalitetnog rješenja ovog problema, nema pravog razvoja građenja betonom u započetom stoljeću, a kamoli tisućljeću.

3.2 Beton visoke i vrlo visoke kvalitete

Beton visoke i vrlo visoke kvalitete zapravo je beton visoke čvrstoće i visoke nepropusnosti pa time i visoke trajnosti i u osnovi bi trebao riješiti najveći dio prethodno razmatranih problema nedovoljne trajnosti betonskih konstrukcija u običnom betonu, uzrokovane njegovom relativno visokom makro i mikro poroznošću, čiji pretežni dio, posebno onaj najopasniji kapilarni, nastaje evaporacijom slobodne vode, tj. dijela vode iznad kemijske potrebe hidratacije cementa koja se dodaje radi osiguranja dovoljne ugradivosti betona.

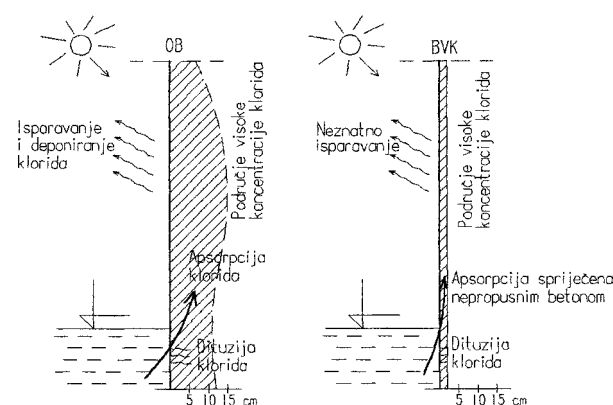
Prije dvadesetak godina pojavio se beton visokih čvrstoća (iznad 60 MPa) u izvedbi tlačno jako opterećenih vertikalnih visokih građevina. Dobiva se u osnovi sa dva sinergijski djelujuća postupka. Jedan je dodatak kemijskih

sredstava (tzv. superplastifikatora), koji reduciraju dodavanje vode, odnosno osiguravaju dovoljnu pa i visoku ugradljivost betona i uz znatno reduciranu količinu vode. Drugi je dodatak vrlo finih reaktivnih silicijskih praškastih materijala finoće 50 do 100 puta veće od finoće cementa (veličine čestica od čak 0,1 do 800 mikrona), koji popunjavaju najfinije mikropore u cementnom mortu, reagiraju s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ koji se u znatnoj količini kao slaba faza oslobađa pri hidrataciji cementa i prevodeći ga u čvrstu fazu povećavaju i gustoću i čvrstoću cementnog kamena te homogeniziraju i povećavaju i čvrstoću veze cementnog kamena i zrna agregata. Time se prema najnovijim spoznajama i uz uobičajene dimenzije zaštitnog sloja betona iznad armature trajnost betonskih konstrukcija s uobičajenih 30 do 40 godina produžuje na oko 75 godina (slika 2.), uz određene dodatne mjere zaštite i više od 100 godina. Inače bi debljina tog zaštitnog sloja u običnom betonu u agresivnoj okolini morala biti 7 do 10 cm.



Slika 2. Očekivani vijek trajanja betonskih konstrukcija u običnom betonu i u betonu visoke kvalitete (OB i BVK) [9]

Ponašanje običnog betona (OB) i beton visoke kvalitete (BVK) u eksploataciji prikazano je na slici 3.



Slika 3. Shematski prikaz ponašanja običnog betona (OB) i betona visoke kvalitete (BVK) u okolini mora [10]

U Europi su o betonu visoke kvalitete održana već četiri međunarodna simpozija (posljednji u Parizu 1996. godine), a o njemu pisalo se i u nas [11].

Betoni visoke kvalitete (klase oko 100 MPa) sa dva navedena dodatka dobivaju se uobičajenim sastavnim materijalima i uobičajenom tehnologijom pripreme, dakako uz pažljiviji i precizniji izbor sastava i precizniju proizvodnju. čak se ni količina cementa bitnije ne mijenja, samo je v/c faktor značajno niži (tablica 1.).

Tablica 1. Uobičajeni sastavi običnog betona i betona visoke kvalitete [11]

Komponente	Klasa betona	
	C30	C80
cement	300	450
Si prašina	-	45
pijesak	770	650
šljunak	1080	1040
superplastifikator	-	5,0
voda/vezivo	0,62	0,26
dvadesetosmodnevna tlačna čvrstoća	35	90

Međutim, za beton vrlo visoke kvalitete (klase 200 MPa i više) nužna je gotovo dvostruko veća količina cementa i samo sitni agregat (pijesak). Pritom i cement treba biti mineralošskog sastava prilagođenog visokim čvrstoćama (60% C_3S , 22% C_2S , 4% C_3A i 7% C_4AF), a pri očvršćivanju je nužan i dodatni unos energije termičkom obradom. U tablici 2. dani su sastavi takvih betona - prvi uobičajeni bez čeličnih vlakana [11] i drugi konkretni s dodatkom čeličnih vlakana za povećanje žilavosti [13]. Od betona ovoga drugoga sastava izveden je 1997. godine pješćki most preko rijeke Magog u Sherbrookeu u Kanadi.

Tablica 2. Sastavi betona vrlo visoke kvalitete

Komponente	u $[\text{kg}/\text{m}^3]$	
	Bez čeličnih vlakana [11]	Sa čeličnim vlaknima [13]
cement	933	705
Si prašina	233	230
drobljeni kvarc	-	210
pijesak	1026	1010
superplastifikator	16,8	37,5
čelična vlakna	-	190
voda/vezivo	0,18	0,21

Duktilni beton ovog drugog sastava vrlo visoke čvrstoće je normalno ugrađivan, 24 sata normalno njegovan i nakon toga 48 sati grijan zasićenom parom temperature 90°C . Već nakon 3 dana imao je tlačnu čvrstoću od 200 MPa (vlačnu 30 MPa i Yuongov ME 50 GPa). S njime se mogu projektirati i izvoditi prednapete konstrukcije bez klasične (meke) armature.

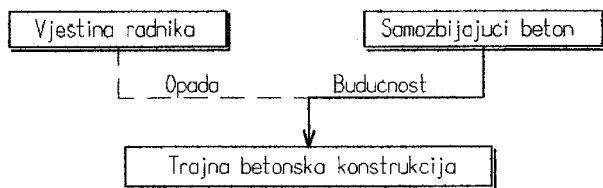
3.3 Samougradivi beton

Jedan od krupnijih nedostataka današnjeg betona (i običnog i visoke kvalitete) jest preveliko sudjelovanje fizičke radne snage pri njegovoj ugradnji koja osim što je skupa i u razvijenom svijetu deficitarna unosi u ugrađeni beton brojne pogreške i ugrožava mu kvalitetu, prvenstveno trajnost. Da bi to reducirali na manju mjeru Japanci su prije nešto više od deset godina počeli istraživati i primjenjivati samokompaktirajući ili samougradivi beton (*self compacting concrete*). Dobiva se dodatkom posebnih superplastifikatora (nove generacije) koji omogućuju zapunjavanje kalupa i oplata samo vlastitom težinom betona, uz istovremeno oslobađanje zarobljenog zraka bez vibriranja. Neki proizvođači kemijskih dodataka betonu koriste se kombinacijom superplastificirajućih dodataka kojom postižu optimalnu ravnotežu pokretljivosti i kohezivnosti smjese, nužnu za pouzdano popunjavanje kalupa bez segregacije, pa takav beton zovu i reodinamičkim betonom.

Osim te optimalne kombinacije i dovoljne količine superplastificirajućih dodataka, za uspješnu samougradnju potrebna je:

- ograničena količina šljunka u sastavu (do 50% čvrstog volumena),
- optimalna količina pijeska u mortu (oko 40%),
- niski v/c faktor.

U Japanu se danas npr. od približno 200 milijuna m³ betona, koliko se na godinu proizvede i ugradi, ugrađuje oko 200 tisuća m³ samougradivog betona [14]. Već je publicirano i nekoliko preporuka i priručnika za primjenu. Tamo vjeruju da će trajne i pouzdane betonske konstrukcije s malim održavanjem imati tek kad ovaj beton od "specijalnog" preraste u normalni (slika 4.).



Slika 4. Shematski prikaz razloga za potrebu samougradivog betona [14]

Ubrzo nakon Japana počeo se istraživati i uvoditi u praksu u: Kanadi, Švedskoj, Nizozemskoj, Tajlandu, Tajvanu i dr.

Cijena takvog betona ne razlikuje se od običnog betona iste klase jer se povećani troškovi sastava pokrivaju smanjenim troškovima ugradnje. Pouzdanija kvaliteta ugrađenog betona i manji troškovi održavanja čisti su i ne mali profit.

3.4 Lakoagregatni beton visoke kvalitete

Obični je beton težak građevni materijal, čija vlastita težina je kod mnogih konstrukcija i najveće opterećenje. Već od njegove najranije primjene pokušava ga se supstituirati tzv. laganim betonom, koji se dobivao i još uvijek se dobiva na tri osnovna, ali različita, načina:

- jednozrnatim betonom, kojeg često zovu i betonom otvorene strukture, a dobiva se upotrebom samo jedne ili dvije srednje frakcije agregata (bez frakcije pijeska), čija zrna zatvaraju velik unutarnji prazni prostor
- porobetonom (plinobetonom i pjenobetonom), koji se proizvodi dodavanjem određenih kemijskih tvari koje reagirajući s nekim tvarima iz sastava cemenata oslobađaju plin i formiraju u strukturi betona pore plina ili se u svježi beton ubrizgava već gotova pjena s dovoljnom količinom zarobljenog zraka
- lakoagregatnim beton, koji je po svojoj prirodi najbliži običnom betonu, a dobiva se upotrebom vrlo poroznog pa stoga i laganog agregata.

Ovaj treći, koji je jedini moguć kao beton visoke kvalitete, za naredno je stoljeće i tisućljeće vjerojatno i jest najinteresantniji, ponajviše zahvaljujući određenim modifikacijama koje su se pojavile i razvile posljednjih godina.

Jedna od njih je lakoagregatni beton visoke kvalitete koji se u Norveškoj već godinama primjenjuje pri izvedbi dijelova naftnih platformi, a koji ima optimalne odnose između čvrstoće, gustoće (vlastite težine) i svojstava potrebnih poboljšanim betonskim konstrukcijama u morskoj sredini. Na norveškoj TROLL GBS platformi je npr. zamjenom dijela običnog pretežno granitnog agregata laganim agregatom od ekspandirane gline (oko 250 kg/m³) dobiven beton karakteristične tlačne čvrstoće 75 MPa i gustoće 2.250 kg/m³ [15]. Frakcije laganog agregata (4-8 i 8-16 mm) sa satnim upijanjem vode 7 do 8% prije doziranja su zasićivane vodom.

Problem visokog upijanja vode poroznog laganog agregata od ekspandirane gline, koji mu pri transportu i ugradnji pravi značajne probleme, riješen je u Njemačkoj [16], gdje je patentiran posebni postupak čvrste i vodonepropusne obrade površine zrna takvog agregata koja ga i očvršćava i sprečavanjem upijanja vode osigurava nesmetan transport i ugradnju. Dobiven je beton gustoće ispod 2.000 kg/m³ a tlačne čvrstoće iznad 90 MPa i kao pilot-projekt s njim je već izveden prenapeti betonski most.

Posebna i u nas formulirana vrsta lakoagregatnog betona (ali ne visoke kvalitete) jest tzv. EPS beton, tj. beton s dijelom agregata od granula ekspandiranog polistirena, kod kojega se količinom tih vrlo laganih granula može

gustoća betona varirati po želji i kombinirati potreban odnos gustoće i čvrstoće, ovisno o tome traži li se termoizolacijski beton ili kombinirano termoizolacijski i konstrukcijski. Zbog relativno visoke cijene za sada se primjenjuje jedino kod plivajućih ili spregnutih podnih podloga. Prednost mu je što pogodnim sastavom istovremeno djeluje i konstrukcijski i termoizolacijski, a dodatkom još i mikroarmature (polipropilenskih vlakana npr.) kao MEPS ne traži u betonskim podlogama klasično armiranje.

Jedna grupa stručnjaka je nedavno u Splitu takvim betonom patentirala posebnu vrstu armiranog betona, koji je s čeličnim profilima samo u vlažnoj zoni obloženim MEPS-om znatno jeftiniji od obično armiranog betona. Već je u njemu kod Splita izvedena i prva eksperimentalna građevina. Nositelji patentnog prava ga najavljuju kao "revoluciju" u armiranom betonu [17].

3.5 Zeleni beton

Zeleni, što će reći ekološki, beton (*Green Concrete*) najnoviji je *trend* ili najnovija potreba u proizvodnji i primjeni betona. Ime mu dolazi od želje da pridonese očuvanju i unapređivanju zdrave okoline.

Sam po sebi beton je ekološki čist materijal. Dobro oblikovane i kvalitetno izvedene betonske konstrukcije dobro se uklapaju u okolinu - i urbanu i ruralnu. Međutim, u proizvodnji cementa kao njegova glavnog sastavnog materijala pa i samog betona ima problema. Osnovni je oslobađanje velikih količina CO₂, jednog od opasnih stakleničkih plinova, u cementnoj industriji, što već danas jest značajan problem, a u prvom kvartalu ovoga stoljeća, kad se očekuje građevinski *bum* u mnogoljudnim zemljama Kini i Indiji, bit će i znatno veći. One već danas proizvode više od 500 milijuna tona cementa na godinu, što će se u tom razdoblju više nego udvostručiti.

Razvijene zemlje su svjetskoj ekološkoj konferenciji u Kyotu, održanoj prije nekoliko godina, preuzele obvezu da će do 2012. godine količinu emisije CO₂ smanjiti za 21% u odnosu na one u 1990. godini. Da to neće ići tako lako pokazao je neuspjeh konferencije o klimatskim promjenama održane nedavno u Haagu, gdje su se razvijene zemlje razile a da se nisu složile u procjeni te opasnosti pa ni u mjerama koje treba poduzeti.

Mjere u području zelenog betona svode se na potrošnju minimalno potrebne količine cementa u betonu i količine betona minimalno potrebnog za održavanje potrebne razine izgradnje. Postiže se to optimalnim doziranje cementa i zamjenom dijela cementa različitim hidrauličkim dodacima koji se inače u industriji javljaju kao otpadni, dakle ekološki štetni, materijali (leteći pepeo, silicijska prašina, zgura visokih peći i sl.). Valja ovdje napomenuti

tu da smo mi jedna od rijetkih zemalja, koja to prakticira već desetljećima, vjerojatno ne samo iz ekonomskih razloga.

U Danskoj su npr. za zadovoljenje obveza preuzetih u Kyotu nedavno pokrenuli opsežan i relativno skup projekt zelenog betona (vrijedan 2,8 milijuna eura) u koji su uključeni svi relevantni učesnici u proizvodnji i primjeni betona (vlasnici betonskih građevina, projektanti, proizvođači sastavnih materijala, proizvođači betona, normizacijske institucije, istraživački instituti, fakulteti i dr.). U Danskoj cementna industrija emitira 2% ukupne industrijske emisije CO₂. Očekuju da će mjerama iz ovog projekta realizirati 0,5 do 1,0 % svoje obveze iz Kyota [18].

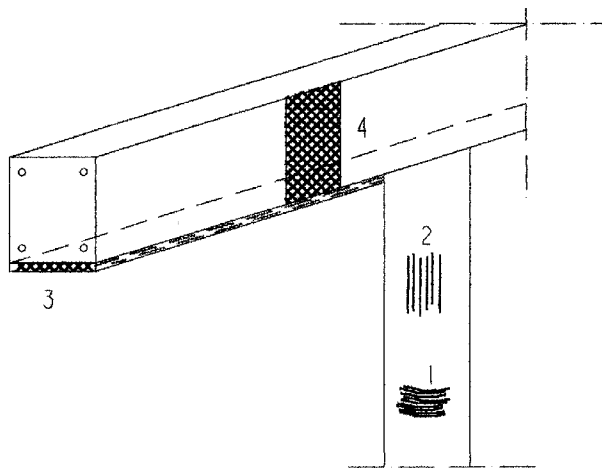
3.6 Sanacije i zaštite betonskih konstrukcija

Sanacije i zaštite uglavnom prerano dotrajalih betonskih konstrukcija, naravno, nisu perspektiva betona u ovom stoljeću, ali trenutno jesu najaktualnije područje rada i vjerojatno će to još dugo biti.

Kad se, kako je to u prethodnom poglavlju već naglašeno, ta potreba prije nekoliko desetljeća prvi puta uočila, tržište je vrlo brzo preplavljeno različitim materijalima, sustavima i tehnologijama sanacije i zaštite, koje su gotovo sve nudile efikasna i jeftina rješenja. Međutim, vrlo brzo se uvidjelo da to baš i nije tako. Rješenja su bila i još uvijek su teško dostupna i vrlo skupa, ponekad čak i jedva moguća.

Budući da nije bilo ni iskustva ni specificiranih uvjeta, praksa se počela snalaziti komparativnim ispitivanjem materijala i sustava zaštite s tržišta u konkretnim uvjetima. Prvi su bili Amerikanci. Njihovo društvo armijskih inženjera je već krajem sedamdesetih i početkom osamdesetih godina ispitalo više od 20 različitih tržišnih sustava zaštite betona od istodobnog djelovanja smrzavanja i soli za odmrzavanje, a nedavno su objavili rezultate ispitivanja čak 80 različitih sustava sanacije zaštite betona hidrotehničkih građevina od djelovanja kavitacije i abrazije [19], kanadani u istu svrhu 60 sustava [20] i sl. U Norveškoj je prije nekoliko godina pri sanaciji i zaštiti jednog mosta s kopna na jedan otok pokrenut opsežni projekt istraživanja optimalnih mogućnosti rješavanja ovih problema sa željom definiranja optimalnog domaćeg sustava i tehnologije njegove primjene [21]. Na tome je nekoliko godina radila radna grupa od 50 stručnjaka raznih specijalnosti. Urađeno je nekoliko doktorskih i magistarskih radnji, objavljena jedna monografija, dva priručnika te velik broj drugih radova. Sanacija i zaštita armiranobetonske konstrukcije toga mosta stajala je 10 milijuna norveških kruna, a istraživački projekt 25 milijuna norveških kruna. Japanski je građevinski institut za rješavanje ovih problema osnovao posebni odbor.

Struka je danas preopterećena golemim brojem objavljenih znanstvenih i stručnih radova iz ovih područja, s vrlo različitim, često i kontradiktornim, rezultatima i zaključcima. Posljednji *trend* je analiza tih rezultata i usuglašavanje stajališta te specificiranje i normiranje sustava, svojstava i postupaka. CEN/TC104 npr. u ovom području materijala za sanaciju i zaštitu betonskih konstrukcija priprema čak oko 60 norma.



Slika 5. Grafički prikaz različitih mogućnosti ojačanja betonskih konstrukcija trakama visoke čvrstoće: 1 - spiralno ojačanje, 2 - uzdužno ojačanje na savijanje i udar, 3 - plošno ojačanje na savijanje i deformiranje, 4 - posmično i sidreno ojačanje

Tri su osnovne grupe tih materijala:

- cementni
- polimer-cementni

LITERATURA

- [1] White, R. N.: *Design and Construction of Concrete Structures in the 21st Century*, Proceedings of the Second International Conference on "Concrete under Severe Conditions", Volume One, EN & FN SPON; London, 1998., pp 27.-44.
- [2] Verlogeux, M.: *President's Message*, FIP Notes, 1998/2, pp 2.-3.
- [3] *Summary report from Steering Committee meeting in Prague*, Journal of the fib "Structural Concrete", Volume 1, Number 1, March 2000., pp 56.-58.
- [4] Ingvarsson, H.: *What to Learn from the Eland Bridge Repair?*, Structural Engineering International, 2/95., pp 88.-89.
- [5] Bolin, J., Lindbladgh, L.; Nilson, P. A.: *The management of the Eland Bridge - A Challenge to the Bridge Owner*, Proceedings of the International Conference o "Repair of Concrete Structure, From Theory to Practice in a Marine Environment, Svolvaer, Norway., 1997., pp 69.-79.
- [6] Davis, S., Filkin, P., Jones, G.: *Managing corrosion on the internet*, Concrete Engineering International, Volume 4, Number 5, July/August, 2000., pp 64.-65.
- [7] Rostam, S.: *CEB Design Guide and the DuraCrete Design Manual, DuraNet/CEN TC 104 Workshop "Design of Durable Concrete Structures"*, Berlin, 1999., pp 38.-45.
- [8] Rostam, S.: *Durability, fib Bulletin 3: Structural Concrete, Txtbook on behaviour, design and performance*, Volume 3, 2000, pp 1-54.
- [9] Cabrera, J. G.: *Design and Production of High Performance Durable Concrete*, Proceedings of the International Conference on "Infrastructure Regeneration and Rehabilitation Improving the Quality of Life through Better construction", Sheffield, 1999., pp 1.-44.
- [10] Patterson, K., Sandberg, P.: *Chloride Treshold Levels Corrosion Rates and Service Life for Cracked High-Performance Concrete*, Proceedings of the Fourth CANMET/ACI International Conference on "Durability of Concrete, Sydney, 1997, ACI SP-170, Volume 1, pp 451.-472.
- [11] Beslač, J.: *Beton visoke kakvoće*, Građevinski godišnjak '96, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb, 1996., pp 235.-277.
- [12] Andrade, C., Saniuan, M. A., Roux, N.: *Durability and Life-Expectancy of Ultra-High strength Concrete*, Supplementary Papers of Fourth CANMET/ACI International Conference on "Durability of Concrete", Sydney, 1997., pp 695.-708.

- [13] Aitcin, P. C., Lachemi, M., Adeline, R., Richard, P.: *The Sherbrooke Reactive Powder Concrete Footbridge*, Structural Engineering International, Volume 8, Number 2, May 1998., pp 140.-144.
- [14] Okamura, H., Ozawa, K., Ouchi, M.: *Self-compacting concrete*, Structural Concrete Journal of the fib, Volume 1, Number 1, March 2000., pp 3.-17.
- [15] Sandvik, M., Semplass, S.: *Modified Normal Density Concrete for the Troll GBS Platform*, Proceedings of the Fourth International Symposium on "Utilization of High Strength / High Performance Concrete", Volume 3, Paris, 1996, pp 1271-1280.
- [16] Muller, H. S., Linsel, S.: *New Materials and Technologies for the Protection of High-Performance Light Weight Concrete*, Proceedings of the fib Symposium o "Structural Concrete - The Bridge Between People", Prague, 1999., pp 691.-696.
- [17] Mihanović, A., Rak, Z.: *Potpuno armirane lako-betonske konstrukcije*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split, 1995.
- [18] Glavind, M., Muncha-Peterson, C.: *"Green" concrete in Denmark*, Structural Concrete journal of the fib, Volume 1, Number 1, March 2000., pp 19.-25.
- [19] McDonald, J. E.: *Evaluation of Materials for Repair of Erosion Damage in Hydrolic Structures*, Proceedings of the Fifth CANMET/ACI International Conference on "Durability of Concrete", Barcelona, 2000., SP-192, pp 887.-898.
- [20] Mirza, J., Abesque, C., Berube, M. A.: *Concrete Sealers for Application on Hydrolic Structures*, Supplementary Papers of the Fourth CANMET/ACI International Conference on "Durability of Concrete", Sydney, 1997., pp 633.-655.
- [21] Blakenwoll, A.: *History of the Gimsoystraumen Bridge Repair Project*, Proceedings of the International Conference "Repair of Concrete Structures from Theory to Practice in a marine Environment", Svolvær, Norway, 1997., pp 1-7.
- [22] Pinzelli, R.: *Fibre reinforced polymer (FRP) laminates can be successfully applied to the upgrading or repair of reinforced concrete Structures*, Concrete Engineering International, Volume 4, Number 5, July/August, 2000., pp 55.-58.