

Visokovredni betoni na osnovi domačih materialov

High Performance Concrete Based on Local Raw Materials

J. Šelih¹, Gradbeni inštitut ZRMK, Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1996-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-11-22

Trajnost in trdnost betona sta ključna parametra, ki vplivata na obnašanje betonskega elementa oziroma zgradbe med celotno dobo uporabe. Če želimo določiti raven trajnosti za posamezen primer, moramo poznati okolje, ki mu bo beton izpostavljen med uporabo. Prav tako je pomembno, da identificiramo tiste lastnosti konvencionalnega betona, ki negativno vplivajo na nivo trajnosti materiala. Da te nezaželene pojave odstranimo, moramo uporabiti visokovredne (specialne) betone, ki se od konvencionalnih razlikujejo po tem, da pri njihovi pripravi dodajamo dodatke in uvajamo posebne postopke ter s tem dosežemo izboljšanje trajnosti. V članku so na kratko opisane lastnosti betona z ekspanzivnim dodatkom, s polimerami ter mikroarmiranega in visokotrdnega betona.

Ključne besede: doba uporabnosti, trajnost gradbenega materiala, visokovredni betoni, visokotrdni betoni

Durability and strength are the key parameters influencing the development of the concrete element behaviour over its entire service life. If the durability level for a particular case of the concrete application is to be known, the environment to which concrete has to be subjected has to be defined. It is also important to identify the conventional concrete properties that have an adverse effect upon the material durability. To improve these properties, high performance concrete (HPC) has to be employed. In the production of HPC concrete, special procedures are introduced in the technology of concrete, and certain additives are added in order to improve concrete durability. In this paper, expansive concrete, polymer concrete, fibre-reinforced concrete and high strength concrete are discussed.

Key words: service life, durability of building materials, high performance concrete, high strength concrete

1 Uvod

Z razvojem graditeljstva se pojavljajo potrebe po novih materialih, ki morajo zadoščati zahtevam, ki jih konvencionalni betoni in malte ne dosegajo. Gre predvsem za zahteve po visoki trdnosti, zaradi rastoče agresivnosti okolja, ki je posledica onesnaževanja, pa tudi po visoki odpornosti proti propadanju. Hkrati zahtevajo nove tehnologije gradnje spremenjene, strožje pogoje za vgradljivost betona. Z uporabo visokovrednih (specialnih) betonov lahko dosežemo bistveno večjo ekonomičnost grajenja, saj se lahko zmanjša poraba potrebnega materiala (vhodnih surovin), čas gradnje pa se lahko občutno zmanjša.

Obnašanje poljubne betonske konstrukcije oziroma posameznega elementa med dobo uporabnosti (angleško *service life*) ocenjujemo na podlagi več meril¹, in sicer:

- trajnost
- uporabnost in
- videz.

Mero za zadovoljivost obnašanja, ki jo postavimo na temelju navedenih meril, imenujemo "performanca" (angleško *performance*). Zadovoljivost obnašanja lahko zvišamo, če izboljšamo lastnosti uporabljenih materialov, elemente arhitektonske in konstrukcijske zasnove, izvedbene in nadzorne postopke, postopke vzdrževanja ali preventivno vzdrževanje. Čas med koncem gradnje in trenutkom, ko zdrsne "performanca" betonske konstrukcije oz. elementa pod zahtevan minimalni nivo, in merilom za uporabo ni več zadoščeno, imenujemo *doba uporabnosti*

objekta. Koncept dobe uporabnosti je shematsko prikazan na **sliki 1**.

Na vse bolj konkurenčnem tržišču postaja vedno bolj pomembno, da zmoremo napovedati uporabnostno dobo betonskega elementa na podlagi danih oziroma izbranih materialov in postopkov že v fazi projektiranja; ali pa, v obratni smeri, da smo sposobni izbrati materiale in postopke izdelave tako, da zagotovimo željeno dolžino uporabnostne dobe. Pri tem moramo poznati namembnost elementa ter okolje, ki mu bo izpostavljen².

V primeru, da se agresivnost okolja spremeni, ali da so izbrani materiali podvrženi hitrejšemu propadanju, se hitrost upadanja "performanca" s časom, ki je prikazana na **sliki 1** z naklonom krivulje, poveča, kar vodi k dejanski uporabnostni dobi, krajši od načrtovane. Da bi



Slika 1: Shematski prikaz koncepta dobe uporabnosti: načrtovano in dejansko spreminjanje "performanca"

Figure 1: Schematic presentation of the service life concept: actual and designed performance changes

¹ Doc. dr. Jana ŠELIH, dipl.inž.gradb.
Gradbeni inštitut ZRMK
1000 Ljubljana, Dimičeva 12

dosegli načrtovano, moramo izvesti ustrezna popravila, ki dvignejo nivo "performance" na višjo raven (slika 1). Takšni posegi seveda vplivajo na višino stroškov vzdrževanja objekta med njegovo dobo uporabnosti. Z višjim začetnim nivojem zagotovimo, da je nivo "performance" na koncu projektirane dobe uporabnosti višji od njegove zahtevane minimalne ravni tudi v primeru, ko je padec "performance" hitrejši od načrtovanega.

Trajnost je merilo, ki izmed treh zgoraj navedenih najbolj vpliva na nivo "performance". Povečana trajnost konstrukcije oz. posameznega elementa, ki je posledica večje odpornosti izbranega gradbenega materiala, lahko zato odločilno vpliva tako na podaljšanje dobe uporabnosti objekta, kot tudi na znižanje stroškov vzdrževanja med tem časom. Da bi lahko zagotovili zadosten nivo trajnosti, moramo poznati vzroke za njeno zmanjšanje.

Procesi propadanja materiala - betona se lahko razvijejo le ob interakciji materiala, vgrajenega v element, in okolja. Tip, jakost in nastanek takšnih interakcij so odvisni od lastnosti materiala, še zlasti njegove prepustnosti, izbrane oblike elementa, lege ojačitev ter tipa in intenzitete agresivnosti okolja. Trajnost betona lahko tako presojamo le za znano okolje z znano stopnjo agresivnosti. Po svetu je v uporabi več klasifikacij agresivnosti okolja^{3,4}, ki pa vse temeljijo na podobnih osnovah. Agresivnost okolja določajo v grobem trije parametri: prisotnost vlage, prisotnost agresivne substance v vlagi in temperatura.

2 Nezaželene lastnosti konvencionalnih betonov in njihovo izboljšanje

Na konvencionalnih betonih, ki se navadno uporabljajo v gradbeni praksi, pogosto opazimo znake propadanja mnogo pred koncem projektirane uporabnosti dobe objekta. Za to obstaja več vzrokov. Ti betoni so močno podvrženi krčenju tako v svežem kot v otrdelem stanju, kar vodi k pojavi razpok. Material postane zato mnogo bolj prepusten, kar omogoči lažje prodiranje agresivnih substanc iz okolja skozi pore betona v njegovo notranjost. Odpornost betona proti različnim procesom propadanja se zato zmanjša.

Večja prepustnost betona omogoči tudi dostop vode ter kisika, ki sta potrebna za nastop korozije, do armature v betonu. Pospešena korozija armature, ki se lahko tako pojavi tudi ob zmerni agresivnosti okolja, vodi k zmanjšanju konstrukcijske varnosti objekta, saj se armaturni preseki zmanjšujejo, končni produkti korozije pa povzročijo zaradi svojega povečanega specifičnega volumna dodatne razpoke betonske matrice okrog armature. Poleg konstrukcijske varnosti se zmanjša torej tudi funkcionalnost konstrukcije. K prezgodnjemu pojavi razpok v konstrukciji in s tem povezani zmanjšani odpornosti betona vodi tudi njegova *krhkost*. Zmanjšana odpornost proti propadu (*degradaciji*) se pojavlja tudi zaradi kemijske in fizikalne sestave betona kot kompozitnega materiala in njegovih komponent.

Če so zahteve na določenem objektu drugačne od standardnih, moramo pri gradnji uporabiti *visokovredne (specialne) betone*, kjer posamezne nezaželene lastnosti konvencionalnega betona izboljšamo oz. odpravimo z različnimi dodatki.

Zaradi razmerja med ceno materiala in stroški prevoza se za beton navadno uporablja lokalni kameni agregat, z izjemo redkih primerov, ko je lokalni agregat petrografsko in granulometrijsko popolnoma neprimeren za uporabo v betonu. Rezultate tujih raziskav in izkušnje, pridobljene drugod, lahko zato pri razvoju visokovrednih betonov uporabimo le kot smernice, ne moremo pa izvesti direktnega prenosa tujega znanja v naše razmere.

Neskrčljivost betona dosežemo z zamenjavo navadnega z ekspanzivnim cementom oziroma z dodajanjem *ekspanzivnega dodatka* navadnemu betonu. Hidratacijski produkti ekspanzivnega cementa rahlo povečujejo svoj volumen med strjevanjem betona in s tem preprečujejo nastajanje notranjih napetosti ter z njimi povezanih razpok, ki nastajajo zaradi krčenja pri sušenju. S tem dosežemo občutno povečanje neprepustnosti betona, kar je še posebej pomembno v primerih, ko je objekt izpostavljen izjemno agresivnemu okolju (npr. industrijski bazeni), in je neprepustnost eden od pogojev za zaščito okolja.

Dodatek polimerov izboljša več lastnosti betona. Polimerna plast, ki se ustvari na površini por v betonu ob primerni negi, tvori kontinuirno mrežo, zato se poveča odpornost betona proti več procesom propadanja, kot so sulfatna in kisliinska odpornost. Prav tako se poveča vodotesnost materiala, ki ponovno poveča njegovo odpornost, in natezna, upogibna ter strižna trdnost. Polimere lahko dodajamo betonu v različnih oblikah. V polimernih betonih je edino vezivo izbrani polimer, ki tako v celoti nadomesti cement. V betonih, modificiranih s polimeri, nadomestimo s polimeri le del veziva, značilno 5 do 25%. Če že otdeli beton polimeriziramo z monomerom, ki na mestu polimerizira, govorimo o polimerno impregniranih betonih⁵. Polimere oz. monomere lahko dodajamo betonski mešanici v obliki disperzije, vodotopnih polimerov, tekočih smol in monomerov.

Če želimo betonu povečati upogibno trdnost, odpornost proti udarcem, žilavost, odpornost proti utrujanju, obrabo in razpokanje, dodamo betonu vlakna, ki so lahko jeklena, plastična, steklena ali celulozna. Poleg naštetih izboljšanih lastnosti vpliva dodatek vlaken tudi na zmanjšanje krčenja betona, kar zmanjša možnost pojavi razpok. Če želimo doseči kakovosten mikroarmirani betonski kompozit, moramo uporabiti kakovosten cementni kamen, saj lahko le tako zagotovimo dobro sprijemljivost vlaken s cementnim kamnom. Pozornost je potrebno posvetiti tudi porazdeljevanju vlaken v sveži betonski mešanici. Če se vlakna sprimejo v kepe, se mehanizem, ki izboljšuje lastnosti mikroarmiranega betona, ne vzpostavi. Med vmešavanjem vlaken v svež beton je zato potrebno paziti, da so vlakna čim bolj enakomerno porazdeljena, morebitne kepe vlaken pa moramo razbiti pred vmešavanjem. Tipična količina jeklenih vlaken, ki

jo dodajamo betonskim mešanici, je med 0,25 in 0,75%, za polipropilenska vlakna pa je to območje med 0,1 in 0,4% celotnega volumna betona⁶.

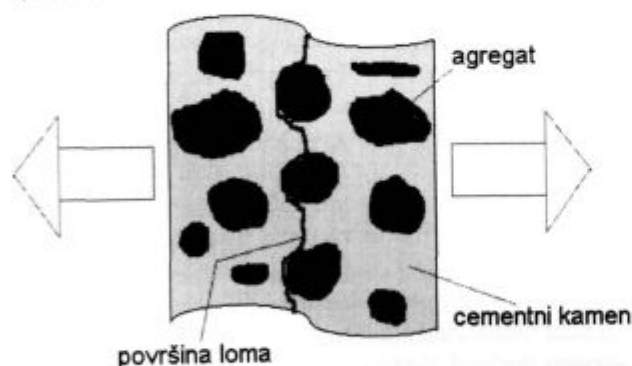
Če je potrebno zmanjšati lastno težo objekta, uporabimo beton z visoko trdnostjo. Dodatno razbremenitev konstrukcije dosežemo z zamenjavo naravnega kamene agregata z lahkim agregatom iz ekspandirane gline ali sljude.

2.1 Visokotrden beton

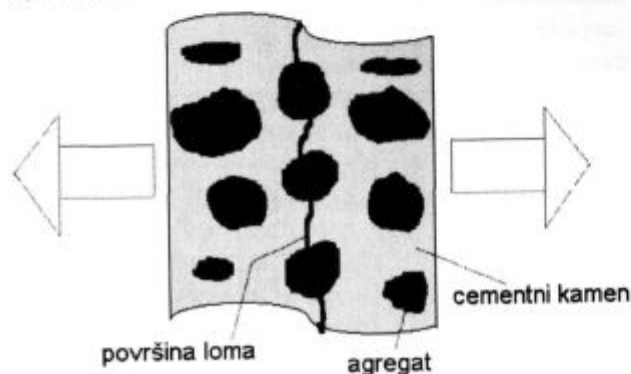
V današnjem svetu se zaradi ekonomike gradnje vse bolj pogosto pojavljajo zahteve po zvišani trdnosti betona, saj vodi le-ta po eni strani k zmanjšani porabi vhodnih materialov, tako tistih, potrebnih za pripravo betona (agregat, cement, voda), kot tudi železa, ki ga vgrajujemo v konstrukcije. Na drugi strani nam lahko le beton z visoko trdnostjo omogoči gradnjo višjih zgradb, kar ima zlasti smisel tam, kjer je cena zemljišča visoka.

Obnašanje betona kot kompozitnega materiala, ki je sestavljen iz cementnega kamna ter agregata, je odvisno od obeh navedenih komponent. Na lastnosti betona, še zlasti na njegovo trdnost in trajnost, pa vpliva tudi stično območje med cementnim kamnom in agregatnim delcem, kjer je lokalni vodocementni faktor zaradi notranjega izcejanja vode mnogo višji kot v cementni matrici⁷,

a) konvencionalni beton



b) visokotrden beton



Slika 2: Primerjava obnašanja konvencionalnega in visokotrdenega betona v nategu: potek površine loma

Figure 2: A comparison of conventional and high strength concrete behaviour subjected to tension: development of the splitting plane

kar pomeni, da ima to območje nižjo trdnost in večjo prepustnost kot cementna matrica sama.

Za konvencionalne betone in malte velja, da je njihova trdnost odvisna zlasti od kakovosti cementnega kamna in omenjenega stičnega območja. Povečevanje trdnosti kompozita je možno le, če se ob hkratni uporabi kvalitetnega agregata poveča tudi trdnost cementnega kamna, nastanek stičnih območij pa poskuša preprečiti. O trdnosti in trajnosti betona odločajo tedaj vse komponente betona, tako cementni kamen, kameni agregat, kot tudi eventualno stično območje. Obnašanje ter površina loma konvencionalnega in visokotrdenega betona v nategu sta shematsko prikazana na sliki 2. Ugotavljamo, da je za proizvodnjo visokotrdenega betona potrebno uporabiti visokokakovosten agregat, izdelati kvaliteten cementni kamen in uvesti med vgrajevanjem visok nivo kontrole in zagotavljanja kakovosti.

3 Sklepne pripombe

V članku opisujemo koncept dobe uporabnosti betonske konstrukcije ter vpliv trajnosti na obnašanje materiala med dobo uporabnosti objekta. Predstavljamo tudi pregled lastnosti betona, ki negativno vplivajo na trajnost materiala, in postopke oz. dodatke, s katerimi te lastnosti izboljšamo. V ta namen podajamo kratek pregled naslednjih vrst visokovrednih (specialnih) betonov: beton z ekspanzivnim dodatkom, beton z dodatkom polimerov, mikroarmiran beton in visokotrden beton.

Pri izbiri ustreznih dodatkov pri konkretni aplikaciji je potrebno poudariti, da moramo vsak posamezen dodatek oz. kombinacijo več različnih preskusiti za vsak primer posebej, saj se lahko beton, pripravljen z dodatki v kombinaciji z različnimi lokalnimi agregati, obnaša zelo raznoliko.

4 Zahvala

Članek predstavlja uvodni del aplikativnega projekta, ki ga sofinancira Ministrstvo za znanost in tehnologijo Republike Slovenije v okviru nacionalnega raziskovalnega programa 1996. Za sofinanciranje se avtorica zahvaljuje.

5 Literatura

- ¹ Durable concrete structures, Design Guide, Comité Euro-International du Béton (CEB), Thomas Telford Services, London, 1992
- ² Clifton, J.R., Predicting the service life of concrete, *ACI Materials Journal*, 90, 1993, 6, 611-617
- ³ Comité Eurointernational du Béton, *CEB-FIP model code for concrete structures*, CEB, Paris, 1978, Bulletin d'Information 124/125
- ⁴ Comité Européen de Normalisation, *Concrete - performance, production, placing and compliance criteria*, CEN, 1984, Draft document prEN 206
- ⁵ D. Feldman, *Polymeric building materials*, Elsevier Applied Science, London, UK, 1989
- ⁶ S. H. Kosmatka, W. C. Panarese, G. E. Allen, S. Cumming, *Design and control of concrete mixtures*, CPCA, Ottawa, Kanada, 1991
- ⁷ P. K. Mehta, *Concrete: structure, properties and materials*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, ZDA, 1986