

# Ognjevzdržni oblikovanci iz betona z nizko vsebnostjo cementa

## Shaped Refractory Products Made of Low Cement Castables

A. Eleršek, J. Šoba, H. Mikuž, *Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana*

*Ognjevzdržni betoni z nizko vsebnostjo cementa predstavljajo novo generacijo betonov v asortimentu ognjevzdržnih materialov. Na ZRMK smo razvili tudi tehnološke postopke izdelave oblikovancev iz tega betona. Zaradi različnih prednosti so oblikovanci uporabni predvsem pri zahtevah po izvedbi specialnih oblik za specifična mesta vgradnje. Z različnimi aplikacijami smo potrdili njihovo kakovost in uporabnost.*

*Ključne besede: ognjevzdržni materiali, oblikovanci, oblikovanje s stiskanjem, oblikovanje z vibriranjem*

*Low cement refractory castables make part of a new generation of refractory materials. Methods of manufacture of various shapes from these castables have been developed on ZRMK Ljubljana. Because of many advantages, the shapes can be used in cases where special forms and specific sites of instalation are required. Their quality and applicability was confirmed by several successful instalations.*

*Key words: refractories, shapes, pressure shaping, vibration shaping*

### 1 Glavne karakteristike betona z nizko vsebnostjo cementa

Ognjevzdržni betoni z nizko vsebnostjo cementa (NCB), predstavljajo novo generacijo betonov v asortimentu ognjevzdržnih materialov. Pri teh betonih dosežemo s pravilno izbiro granulacije agregata in specialnih dodatkov zelo nizko vsebnost cementa (8 do 3 % in celo nižje) ter temu ustrezno majhno količino zamesne vode (7 do 3,5 %). Zaradi visoke zgoščenosti imajo relativno nizko poroznost, visoke trdnosti in dobro obrabno ter korozijsko odpornost.

Zaradi majhne potrebne količine zamesne vode in sorazmerno visokih trdnosti (predvsem visoka upogibna trdnost), omogočajo ti betoni hitrejšo segrevanje (tempranje) in s tem krajše čase remontov. Njihova trdnost se s povišano temperaturo stopnjuje, tako da se ta v primerjavi z običajnimi betoni tudi v območju med 600 in 1000°C ne zniža.

Nizkocementni betoni se vgrajujejo v opaže predvsem z vibriranjem, lahko pa tudi z nabijanjem. Možna je tudi uporaba tehnologije torkretiranja (nabrizgavanja) na pripravljeno podlago. Za povečanje odpornosti proti hitrim temperaturnim spremembam jih lahko armiramo s toplotno obstojnimi jeklenimi vlakni, eksplozijska odpornost pri prvem segrevanju pa se lahko poviša s posebnimi dodatki.

### 2 Oblikovanci iz betona z nizko vsebnostjo cementa

Oblikovanci (prefabricirani elementi) iz betona so zanimivi predvsem zaradi možnosti izvedbe specialnih oblik za specifična mesta vgradnje. Zaradi tega smo v ZRMK z razvojem betona z nizko vsebnostjo cementa razvili tudi tehnološke načine izdelave oblikovancev. Oblikovanje betona v kalupu omogoča izdelavo raznovrstnih oblik z majhnimi tolerancami, ki so lahko prilagojene posameznim posebnim zahtevam v različnih toplotnih napravah. Ker so ti oblikovanci prefabricirani, jih je po potrebi možno tudi odžgati na nizko temperaturo. Tako odpade normalno tempranje ognjevzdržne obloge, ki je še posebej težavno v napravah, v katerih je regulacija temperaturnega režima otežkočena.

Oblikovanje je možno izvesti na dva načina; z vibriranjem ali stiskanjem. Vibriranje oblikovancev omogoča enostavnejše in predvsem cenejše kalupe, tolerance v izmerah oblikovancev pa so večje kot pri stiskanih. Vgrajevanje betona v kalup, ki se vibrira na vibracijski mizi je mogoče izvesti na dva načina, s pomičnim kalupom in pritisko ploščo ali pa v razstavljivem kalupu. Prvi način omogoča kompaktnjšo vgradnjo betona, kar daje oblikovancu nekoliko višjo gostoto in trdnost. Z drugim načinom pa je omogočeno oblikovanje raznovrstnejših oblik in manjših dimenzijskih toleranc izdelka. Vibriranje betona v kalupu je možno izvesti tudi z vibracijsko iglo, kar ustreza predvsem pri večjih dimenzijah oblikovanega elementa.

Stiskanje oblikovancev s hidravlično stiskalnico omogoča oblikovanje betona z visokimi pritiski. Pri tem načinu oblikovanja je potreba po zamesni vodi še nekoliko nižja, kar ugodno vpliva na gostoto in trdnost izdelka. Oblikovanci so takoj po stisku trdnejši od vibriranih, to pa omogoča izdelavo preciznejših oblik in manipulacijo brez podložnih plošč. Seveda pa so kalupi za stiskanje neprimerno dražji od kalupov za vibriranje. Specifični pritiski stiskanja so lahko zelo visoki (tudi 60 MPa in več), odvisni pa so od moči stiskalnice in velikosti oblikovanca (za formalni format opeke je potrebna pritisna sila 1870 kN za spec. pritisek 60 MPa).

Izdelava tovrstnih oblikovancev omogoča način vgradnje s prefabriciranimi elementi. Tak način vgradnje zmanjšuje čas, ki je potreben za remont, omogoča pa tudi hitro zamenjavo posameznih poškodovanih mest. Prednost izdelave oblikovancev iz betona v primerjavi s klasičnimi ognjevzdržnimi oblikovanci je v tem, da se lahko vgrajujejo neodžgani ali pa odžgani na nizko temperaturo (1000 - 1100°C), kar pomeni prihranek energije pri izdelavi.

### 3 Lastne raziskave

Za določitev glavnih lastnosti betonskih oblikovancev smo opravili nekaj laboratorijskih preiskav, s katerimi smo želeli ugotoviti predvsem vpliv oblikovanja na trdnost izdelkov. Beton z nizko vsebnostjo cementa smo izdelali na osnovi zrna normalnega črnega korunda (NKO) in visokogliničnega cementa. Dodana zamesna voda je bila pri stiskanih oblikovancih 4,1 %, pri vibriranih oblikovancih pa 5,1 %. Oblikovance, valjčke  $D=50$  mm,  $H=50$  mm in ploščice  $160 \times 90 \times 23$  mm, smo stiskali s hidravlično stiskalnico z različnimi pritiski oz. vibrirali na vibracijski mizi z obtežbo zgornje površine.

Po negi betona 3 dni pri cca 100 % relativni vlagi in naknadnem osušenju pri 110°C smo določili tlačno in upogibno trdnost ter prostorninsko maso oblikovancev. Rezultati preiskav so podani v spodnjih tabelah:

#### Stiskani oblikovanci (valjčki in ploščice)

Specifični pritisek stiskanja v MPa	Tlačna trdnost (v MPa)	Upogibna trdnost (v MPa)	Prostorninska masa (v $\text{kg/m}^3$ )	
			valjčki	ploščice
20	45	-	3030	-
30	50	9,6	3080	3000
46	67	13,2	3100	3010
61	93	15,6	3140	3100

#### Vibrirani oblikovanci (valjčki, ploščice)

Oblikovanci	Tlačna trdnost (v MPa)	Upogibna trdnost (v MPa)	Prostorninska masa (v $\text{kg/m}^3$ )
Valjčki	58	-	3010
Ploščice	-	17,1	3000

Na industrijski hidravlični stiskalnici smo oblikovali zidak normalnega formata ( $250 \times 125 \times 65$  mm) s specifičnim pritiskom 53 MPa. Iz zidaka smo izvrtali valjček ( $D=50$ ,  $H=50$  mm) in izrezali prizmo ( $40 \times 40 \times 160$  mm) ter določili trdnost in prostorninsko maso:

tlačna trdnost:	78 MPa
upogibna trdnost:	17,9 MPa
prostorninska masa:	3150 $\text{kg/m}^3$

Vsi oblikovanci (stiskani in vibrirani) so se zelo dobro oblikovali.

#### Diskusija rezultatov preiskav in sklepi

- Pri stiskanju oblikovancev se trdnosti (tlačna in upogibna) povečujeta z rastočim pritiskom stiskanja (tlačna trdnost:  $3 \times$  pritisek,  $2 \times$  trdnost upogibna trdnost:  $2 \times$  pritisek,  $1,6 \times$  trdnost)
- Prostorninska masa (gostota) se z rastočim pritiskom stiskanja povečuje
- Primerjava med oblikovanjem s stiskanjem in vibriranjem kaže, da so trdnosti vibriranih oblikovancev visoke (tlačna kot cca 40 MPa pritiska in upogibna kot pri cca 60 MPa pritiska). Sledi ugotovitev, da tudi oblikovanci z vibriranjem dosežejo zadovoljive trdnosti.
- Za doseganje visokih trdnosti stiskanih oblikovancev je potreben visok pritisek stiskanja, ki pa je omejen z močjo stiskalnice in velikostjo oblikovanca.

#### 4 Aplikacije

Z dosedanjo vgradnjo raznovrstnih oblikovancev iz betona z nizko vsebnostjo cementa v različne toplotne naprave, smo potrdili kakovost tovrstnih izdelkov in njihovo uporabno vrednost. Vse do sedaj aplicirane oblikovance smo izdelali po načinu vibriranja in to deloma zaradi cenejših kalupov, deloma pa zaradi zahtevnih oblik izdelkov.

## Opis pomembnejših aplikacij

### 1) Oblikovanci za obzidavo povratnih kanalov v parnih kotlih toplarne v Ljubljani

- Oblikovanci so bili izdelani z agregatom iz črnega korunda. Stene kanala so podvržene močni abraziji letečega premoga, zato se zahteva visoka abrazijska odpornost obloge. Teža oblikovanca cca 7 kg.
- Kakovost betona (110°C): tlačna trdnost 56 MPa, prostorninska masa 3160 kg/m<sup>3</sup>, obrus pod 3 cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup>
- Uspešnost: zelo dobra, večkratno povečanje trajnosti v primerjavi s prejšnjimi šamotnimi oblikovanci

### 2) Oblikovanci za gorilnike premogovega prahu v parnem kotlu toplarne v Ljubljani

- Oblikovanci specialne oblike so bili izdelani z agregati iz črnega korunda. Zaradi močne abrazije, ki jo povzroča vpihovanje premogovega prahu, se zahteva visoka abrazijska odpornost, zaradi hitrega segrevanja pa tudi odpornost na temperaturne spremembe. Teža oblikovancev do 9 kg.
- Kakovost betona (110°C): tlačna trdnost 65 MPa, prostorninska masa 2970 kg/m<sup>3</sup>, obrus pod 3 cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup>
- Uspešnost: zelo dobra v dosedanji krajši dobi opazovanja

### 3) Prefabricirani poskusni element za koračno peč v železarni Štore

- Oblikovani element je bil izdelan s korundnim agregatom, beton je bil vgrajen v kalup z vibracijsko iglo, element je bil predhodno odžgan na 1000°C. Poskusna vgradnja naj bi pokazala možnost uvedbe novega načina vgradnje s prefabriciranimi elementi, kar bi močno skrajšalo čas remonta. Teža oblikovancev cca 196 kg
- Uspešnost: zelo dobra v dobi obratovanja enega leta

### 4) Segmenti žleba za pretakanje tekočega aluminija v Impolu.

Segmenti so izdelani na vibracijski mizi v modelu. Izdelani so s porcelanskim zdrobom s posebnim dodatkom proti omočenju s talino in odžgani na 1000°C. Teža segmenta cca 37 kg. Uspešnost: Dvoletna uporaba je pokazala daljšo trajnost, kot uvoženi material.

### 5) Segmenti za oblogo vzdrževalne peči za Al.

- Segmente smo izdelali za novo izvedbo vzdrževalne peči v livarni Roč. Peč je v končni fazi izdelave. Izdelani so v opaznih modelih z vibracijsko iglo ter odžgani na 1000°C. Izdelani so s porcelanskim zdrobom in posebnimi dodatkom proti omočenju s talino. Teža elementov: 50 do 150 kg.

### 6) Poskusni elementi montažnih sobnih kaminov za keramiko Novo mesto.

- Segmente smo izdelali kot poskusne dele za novo vrsto kaminov. Izdelani so s porcelanskim agregatom in vibrirani v modelih na vibracijski mizi. Teža segmenta cca

100 kg.

- Kakovost betona: tlačna trdnost 28,4 MPa, upogibna trdnost 4,5 MPa, prostorninska masa 2140 kg/m<sup>3</sup>
- Uspešnost: v preizkusu novega kamina so se zelo dobro obnesli, tudi pri direktnem segrevanju z ognjem, brez možnosti regulacije porasta temperature.

### 7) Poskusni žgalni pladnji za keramiko Iskra.

- Žgalne pladnje smo izdelali iz nizkocementnega betona s korundnim agregatom v kalupih na vibracijski mizi. Nadomestili naj bi dosedanje kordieritne pladnje iz uvoza. Preizkus uporabnosti še traja v Iskri.

### 8) Razni elementi, kot so:

- zaščitne tuljave pirometerskih cevi za meritev temp. neposredno v tekočem aluminiju (dobro poskusno obnašanje)
- šobe za iztok jeklene taline iz vmesne ponovce (dobro obnašanje pri preizkusu)
- monoblok čepi za regulacijo iztoka jeklene taline iz vmesne ponovce (dobro obnašanje pri preizkusih in priprava za serijsko proizvodnjo)

Vsi elementi so izdelani v kalupih na vibracijski mizi.

## 5 Sklepi

Z dosedanjimi raziskavami možnosti oblikovanja betonov z nizko vsebnostjo cementa v kalupih smo dokazali, da je tehnološko možno oblikovanje betona tako s stiskanjem kot z vibriranjem. Z obema tehnološkima postopkoma smo dobili dobre rezultate pri izdelavi in kakovosti izdelkov.

S tehnološkim postopkom vibriranja v kalupih je mogoče izdelovati raznovrstne izdelke tudi zahtevnejših oblik. Uspešno nam je izdelati tudi oblikovance zelo neugodnih geometrijskih oblik, kot so npr. cevi. S tehnološkim postopkom stiskanja je možno izdelovati oblikovance zelo preciznih dimenzij, s stopnjevanjem pritiska stiskanja pa lahko znižujemo gostoto in trdnost izdelka.

Z aplikacijami raznovrstnih izdelkov v različnih napravah smo dokazali uspešnost uporabe tovrstnih oblikovancev, saj so se v vseh dosedanjih primerih dobro obnesli. Beton z nizko vsebnostjo cementa nam z možnostjo oblikovanja izdelkov v kalupih nudi možnosti izdelave različnih oblikovancev zahtevnih oblik. Izdelava raznih prefabriciranih elementov omogoča montažno vgradnjo ognjevzdržnih oblog in s tem skrajšanje časa montaže. S predhodnim odžigom na nizko temperaturo pa preprečimo tudi nevarnosti eksplozije. V primerjavi s klasičnimi ognjevzdržnimi oblikovanci porabimo za izdelavo teh v končni fazi manj energije, bolj ekonomična pa je tudi tehnološka proizvodna linija. Z uporabo raznovrstnih agregatov in variranjem veziva ter drugih dodatkov pa lahko uporabimo ognjevzdržne betonske oblikovance za zelo raznovrstne namene uporabe.