

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO

Gregor Trlep

BRIZGANI BETON IN NJEGOVA UPORABA

Projektna naloga

Diplomski izpit univerzitetnega študijskega programa 1. stopnje

Maribor, september 2012



Univerza v Mariboru

Fakulteta za gradbeništvo

Diplomski izpit univerzitetnega študijskega programa 1. stopnje

BRIZGANI BETON IN NJEGOVA UPORABA

Študent: GREGOR TRLEP

Študijski program: univerzitetni, gradbeništvo (UNI G)

Mentor: izr. prof. dr. ANDREJ ŠTRUKELJ, univ.dipl. inž. grad.

Maribor, september 2012



Univerza v Mariboru

Fakulteta za gradbeništvo

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Andreju Štruklju za pomoč in vodenje pri izdelavi projektne naloge.

Posebna zahvala gre staršem, ostalim družinskim članom, prijateljem in sorodnikom, ki so me spodbujali, me bodrili in mi stali ob strani ves čas študija.

Vsem skupaj še enkrat hvala!

BRIZGANI BETON IN NJEGOVA UPORABA

Ključne besede: brizgani beton, mikroarmirani beton, kemijski dodatki betonu, vlakna za mikroarmiranje

UDK: 691.328(043.2)

Povzetek

Brizgani beton je tisti beton katerega transportiramo po tlačnih ceveh do mesta vgraditve in ga vgradimo z brizganjem. Pri tem načinu vgrajevanja betona, nanašamo beton s pomočjo stisnjenega zraka. Brizganemu betonu lahko dodamo tudi vlakna, da izboljšamo njegove lastnosti. Ideja, da v mešanico svežega betona ali malte primešamo vlakna anorganskega ali organskega izvora, se je porodila ob želji, da bi se v betonu izboljšale njegove lastnosti kot so: upogibna trdnost, žilavost in odpornost na utrujanje. S tem dosežemo zmanjšanje razpokanosti strukture. Danes za mikroarmiranje uporabljamo vlakna, ki so obstojna v alkalni cementni osnovi in bistveno izboljšajo lastnosti tako nastalega kompozitnega materiala.

SHOTCRETE AND ITS USE (angleški naslov projektne naloge)

Key words: shotcrete, fiber-reinforced concrete, chemical admixtures for concrete, reinforcing fibers

UDK: 691.328(043.2)

Abstract

Shotcrete is concrete, which is transported under pressure through pipes, to the place where it is built in with shooting. Shotcrete is built in with the help of compressed air. To the concrete mixture we can also add some fibres to enhance its properties. An idea, to mix fresh concrete with organic or anorganic fibres, comes with the wish that properties such as: bending stiffness, stamina and resistance on fatigue would improve. With that we can achieve reduction of cracks in the structure. Nowadays we use for microreinforced concrete fibres that are persistent in alkaline cement base, that essentially improve properties of so made composite material.

VSEBINA

1	UVOD	1
2	KOMPONENTE BRIZGANEGA BETONA	3
2.1	AGREGAT	3
2.2	CEMENT.....	5
2.3	KEMIJSKI DODATKI CEMENTNIM MALTAM IN BETONOM	9
2.3.1	<i>Splošno o kemijskih dodatkih</i>	9
2.3.2	<i>Plastifikatorji</i>	9
2.3.3	<i>Superplastifikatorji</i>	10
2.3.4	<i>Aeranti</i>	10
2.3.5	<i>Zavlačevalci</i>	10
2.3.6	<i>Pospeševalci</i>	11
2.3.7	<i>Gostilci</i>	11
2.3.8	<i>Dodatki za betoniranje pri nizkih temperaturah</i>	12
2.4	VODA	13
3	BRIZGANI BETON	14
3.1	SPLOŠNO O BRIZGANEM BETONU	14
3.2	SUHI IN MOKRI POSTOPEK BRIZGANEGA BETONA	14
3.2.1	<i>Suhi postopek brizganega betona</i>	15
3.2.2	<i>Mokri postopek brizganega betona</i>	16
3.3	POSTOPEK BRIZGANJA BETONA.....	17
3.3.1	<i>Opis posameznih postopkov in posameznih delov opreme</i>	19
3.4	RECEPTURA ZA MEŠANICO BRIZGANEGA BETONA.....	21
3.5	TEHNOLOGIJA NANAŠANJA BRIZGANEGA BETONA	21
3.5.1	<i>Pripravljalna dela</i>	21
3.5.2	<i>Armiranje</i>	22
3.5.3	<i>Brizganje betona</i>	22
3.5.4	<i>Kakovost izvedbe in kontrola kakovosti</i>	22

3.5.5	<i>Tehnična dokumentacija</i>	23
4	MIKROARMIRANI BRIZGANI BETON	24
4.1	MIKROARMIRANI BETON.....	24
4.2	VLAKNA ZA MIKROARMIRANJE.....	25
4.2.1	<i>Jeklena vlakna</i>	25
4.2.2	<i>Plastična vlakna</i>	27
4.2.3	<i>Steklena vlakna</i>	28
4.2.4	<i>Naravna oziroma mineralna vlakna</i>	28
4.3	UPORABA MIKROARMIRANEGA BRIZGANEGA BETONA.....	28
4.4	ZAHTEVE PRI PRIMARNI OBLOGI IZ BRIZGANEGA BETONA	30
4.5	LASTNOSTI STRJENEGA MIKROARMIRANEGA BETONA	31
4.6	MIKROARMIRANI BRIZGANI BETONI ZA OBLOGE BREŽIN.....	33
4.6.1	<i>Osnovne karakteristike akumulacijskega bazena MHE Bača</i>	34
4.6.2	<i>Tehnološki postopek izvedene mikroarmirane brizgane obloge</i>	35
5	ZAKLJUČEK	37
6	VIRI, LITERATURA	38
7	PRILOGE	39
7.1	SEZNAM SLIK.....	39
7.2	SEZNAM TABEL.....	39
7.3	NASLOV ŠTUDENTA	40
7.4	KRATEK ŽIVLJENJEPIS.....	40

1 UVOD

Brizgani beton je tisti beton katerega transportiramo po tlačnih ceveh do mesta vgraditve in ga vgradimo z brizganjem. Pri tem načinu vgrajevanja betona, nanašamo beton s pomočjo stisnjenega zraka. Površino betonske konstrukcije najprej očistimo in nahrapavimo. Pri brizganju betona se grobi delci betona odbijajo, cementno lepilo pa v nekaj sekundah na površini ustvari tanki, lepljivi film, na katerega se prilepi beton z grobimi delci. Brizgani beton združuje vgrajevanje in kompaktiranje v enem postopku. Debelina enkrat nanesenega sloja znaša 2 do 3 cm. Večje debeline dosegamo z večimi nanosi. Postopek ima sorazmerno velik odpad, ki pa ga lahko zmanjšamo z dodatkom – pospešilom. Obloge iz brizganega betona lahko armiramo ali tudi mikroarmiramo. Tlačne in natezne karakteristike stika med starim in novim betonom so takšne, kot jih lahko pričakujemo pri monolitnih betonih.

Tehnologija brizganega betona se v gradbeništvu in geotehniki uporablja že desetletja. V začetku je nanašanje bilo izvajano v obliki suhe mešanice, kateri je ob izhodu bila dodana voda. Na ta način ni bila zagotovljena enaka in zahtevana kvaliteta betona. Ob tem je veliko mešanice odpadalo pri nanašanju na vertikalne brežine. V želji zagotoviti najboljšo kvaliteto so iznašli učinkovitejši postopek brizganja betona z mokro mešanico

Glavna področja uporabe brizganega betona so: rovi, predori, zavarovanje brežin in ojačitve vertikalnih betonskih površin, gradnja akumulacijskih jezer, sanacije razpok,...

V nadaljevanju sem podal tudi primer kako izboljšamo lastnosti brizganega betona - z dodajanjem vlaken. Ideja, da v mešanico svežega betona ali malte primešamo vlakna anorganskega ali organskega izvora, se je porodila ob želji, da bi se v betonu oziroma malti izboljšale njegove lastnosti kot so: upogibna trdnost, udarna trdnost, žilavost in odpornost na utrujanje, da dosežemo zmanjšanje razpokanosti strukture. Danes za mikroarmiranje uporabljamo vlakna, ki so obstojna v alkalni cementni osnovi, ki bistveno izboljšajo lastnosti

tako nastalega kompozitnega materiala. Najpogosteje uporabljena vlakna so jeklena, plastična, steklena ali pa so naravnega izvora (celuloza).

2 KOMPONENTE BRIZGANEGA BETONA

2.1 Agregat

Agregat je z okrog 75 % dominantna komponenta betonske mešanice. V odvisnosti od porekla delimo agregate na naravne in umetne. Glede na prostorninsko maso poznamo težke in lahke naravne agregate. Težki naravni agregati so pesek in prod silikatnega in apnenčastega izvora. Lahki naravni agregati so tufi, vulkanske lave, vulkanski plovci.

Težki umetni agregati so drobljenci, ki jih dobimo z drobljenjem kamna. K lahkim umetnim agregatom prištevamo topilniške žindre, leteči pepel in ekspandirano glino.

Z kvalitetnejšim agregatom lahko povečamo trdnost in deformacijski modul ter zmanjšamo tečenje in krčenje betona. Pravilen izbor agregata lahko znatno izboljša trajnost betona glede na atmosferske, kemijske in erozijske vplive (Steven H. Kosmatka, Design and Control of Concrete Mixtures, 2003)

Kot primerni za izdelavo brizganega betona štejejo kamni agregati, ki ustrezajo zahtevam standarda SIST EN 12620. Agregat mora biti čist, brez glinenih primesi in slabih zrn, ravno tako pa ne sme vsebovati primesi, ki bi lahko kakor koli vplivale na vezanje cementa. Za brizgane cementne malte in betone najpogosteje uporabimo agregate frakcije do 8,0 mm.

Tabela 1: Klasifikacija agregatov po velikosti zrn

Fini pesek	0,0-0,5 mm
Pesek	0,5-8,0 mm
Prod	8,0-30,0 mm
Grobi prod	30,0-100,0 mm

Tabela 2: Preiskave naravnega agregata

ŠT.	PREISKAVA	STANDARD	ZAHTEVA
1	Mineraloška-petrografska preiskava	SIST EN 12620	*
2	Sestavine, ki preprečujejo hidratacijo cementa	SIST EN 12620	ne sme vsebovati
3	Prostorninska masa zrn	SIST EN 1097-3	2000-3000 kg/m ³
4	Vpojnost za vodo	SIST EN 1097-6	največ 1,5 %
5	Odpornost proti drobljenju	SIST EN 1097-2	okruškov največ 30 %
6	Odpornost proti zmrzovanju	SIST EN 12620	izguba mase največ 12 %
7	Skupno žveplo kot SO ₃ Kloridi	SIST EN 12620	največ 1,0 % največ 0,10%
8	Količina organskih primesi	SIST EN 12620	obarvanost raztopine svetlejša od standardne
9	Oblika zrn	SIST EN 12620	najmanj 0,18
10	Granulometrijska sestava	SIST EN 12620	*
11	Količina finih delcev	SIST EN 12620	*
12	Količina grudic gline	SIST EN 12620	*
13	Količina slabih zrn	SIST EN 12620	*
14	Količina lahkih delcev	SIST EN 12620	*
15	Obvitost površine zrn	SIST EN 12620	*
16	Odpornost proti drobljenju in obrabi	SIST EN 12620	*
17	Prostorninska masa v nasutem in zbitem stanju	SIST EN 12620	*

* zahteve po kakovosti teh lastnosti niso določene, rezultate navedemo v preiskavi

2.2 Cement

Cement je silikatni material, ki ga uvrščamo med hidravlična veziva, katerih osnovna lastnost je, da se pri reakciji z vodo (hidrataciji) vežejo in strjujejo. Nastane cementni kamen, sestavljen pretežno iz kalcijevih silikat hidratov, ki tudi v vodi ohrani trdnost in stabilnost. Zaradi visokih trdnosti in obstojnosti na vremenske vplive in kemijsko korozijo je cement še danes najbolj razširjeno vezivo v gradbeništvu. Osnovna surovina za proizvodnjo cementa je naravni lapor, ki je homogena zmes apnenca in glin, nastala v preteklih geoloških dobah s sedimentacijo.

Portlandskocementni klinker je proizvod, ki sestoji pretežno iz trikalcijevega silikata in dikalcijevega silikata.

Granulirana žindra za proizvodnjo cementa je proizvod, dobljen s hitrim ohlajanjem žindre, ki nastaja pri proizvodnji surovega železa.

Naravni in umetni pucolani za proizvodnjo cementa so silikatni in aluminosilikatni materiali, ki fino zmleti ob prisotnosti vode reagirajo s kalcijevim hidroksidom. Pri tem nastajajo produkti, ki imajo hidravlične lastnosti.

Dodatki za uravnavanje vezanja (sadra) – sadra $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Portlandski cement je fino mleto hidravlično vezivo, ki ga dobimo z mletjem portlandskocementnega klinkerja, sadre in eventuelno sredstev za izboljšanje mletja.

Portlandski cement z dodatkom granulirane žindre je hidravlično vezivo, ki ga dobimo z mletjem portlandskocementnega klinkerja, sadre, eventuelno sredstev za izboljšanje mletja in največ 15% oziroma 30% granulirane žindre.

Metalurški cement je hidravlično vezivo, ki ga dobimo z mletjem portlandskocementnega klinkerja, sadre, eventuelno sredstev za izboljšanje mletja in več kot 30 % do 85 % granulirane žindre.

Metalurški cement z dodatkom pucolana je metalurški cement z dodatkom mletega naravnega ali umetnega pucoalan, pri čemer je delež granulirane žindre večji od deleža pucolana.

Pucolanski cement je hidravlično vezivo, ki ga dobimo z mletjem portlandskocementnega klinkerja, sadre, eventuelno sredstev za izboljšanje mletja in več kot 30% naravnih ali umetnih pucolanov (Steven H. Kosmatka, Design and Control of Concrete Mixtures, 2003).

Vrste cementov glede na sestavo (po standardu SIST EN 197)

Tabela 3: Sestavine cementa za posamezne vrste

OSNOVNA OZNAKA	NAZIV	OZNAKA
CEM I	portlandski cement	CEM I
CEM II	portlandski cement z dodatkom žindre	CEM II/A-S CEM II/B-S
CEM II	portlandski cement z dodatkom pucolana	CEM II/A-P CEM II/B-P CEM II/A-Q CEM II/B-Q
CEM II	portlandski cement z dodatkom SiO ₂	CEM II/A-D
CEM II	portlandski cement z dodatkom letečega pepela	CEM II/A-V CEM II/B-V CEM II/A-W CEM II/B-W
CEM II	portlandski cement z dodatkom pečenega skrilavca	CEM II/A-T CEM II/B-T
CEM II	portlandski cement z dodatkom apnenca	CEM II/A-L CEM II/B-L CEM II/A-LL CEM II/B-LL
CEM II	portlandski mešani cement (mešani dodatek)	CEM II/A-M CEM II/B-M
CEM III	metalurški cement s 35-65 % žindre metalurški cement s 66-80 % žindre metalurški cement s 81-95 % žindre	CEM III/A CEM III/B CEM III/C
CEM IV	pucolanski cement s 11-35 % pucolana pucolanski cement s 36-55 % pucolana	CEM IV/A CEM IV/B
CEM V	mešani cement s 16-30 % žindre in 18-30 % pucolana mešani cement s 31-50 % žindre in 31-51 % pucolana	CEM V/A CEM V/B

Pomen oznak**Osnovne oznake:**

- CEM I – portlandski cement
- CEM II – portlandski cement z mešanim dodatkom
- CEM III – metalurški cement
- CEM IV – pucolanski cement
- CEM V – mešani cement

Oznake dodatkov:

- S – granulirana žindra
- D – silikatni prah
- P – naravni pucolan
- Q – termično obdelan naravni pucolan
- V – leteči pepel pucolanskih lastnosti
- W – leteči pepel pucolanskih in hidravličnih lastnosti
- T – skrilavec pečen na 800° C
- LL – apnenec z največ 0,20 % ogljika organskega izvora
- L – apnenec z največ 0,50 % ogljika organskega izvora
- M – mešani dodatek

Oznake količine dodatka:

- A – portlandski cement s 6-20 % dodatka
- B – portlandski cement s 21-35 % dodatka

Oznake trdnostnega razreda cementa:

- 32,5 MPa
- 42,5 MPa
- 52,5 MPa

Oznake hitrosti naraščanja trdnosti:

- N – normalna hitrost
- R – visoka hitrost – minimalna trdnost na pritisk katero mora cement doseči po dveh dneh

Primeri oznak:

- Portlandski cement EN 197 – CEM I 42,5 R
- Portlandski cement z apnencem EN 197 – CEM II/A-L 32,5 N
- Portlandski mešani cement EN 197 – CEM II/A-M (S-V-L) 32,5 R
- Mešani cement EN 197 – CEM V/A (S-V) 32,5 N

Cement za brizgani beton

Kot primerna za izdelavo brizganega betona štejeta portlandski cement CEM1 in portlandski cement z dodatkom 6-20% žindre CEM II/A-S, kot sta opredeljena v SIST EN 197-1.

Druge vrste Portlandskih cementov iz SIST EN 197-1 ali drugi specialni cementi se smejo uporabljati le, če se njihova primernost potrdi s predhodnimi preiskavami in preiskavo na poskusnem polju (Miroslav Joska, Recepture za beton, Maribor 1997).

2.3 Kemijski dodatki cementnim maltam in betonom

2.3.1 Splošno o kemijskih dodatkih

Kemijski dodatki so snovi, ki jih dodajamo betonu v zelo majhnih količinah pred ali tekom mešanja, zaradi doseganja določenih lastnosti svežega ali otrdelega betona. Na splošno lahko rečemo, da je dodatek vsak material, ki ga dodajamo običajnim sestavinam betona ali malte med mešanjem zato, da z njim modificiramo določene lastnosti betonov ter malt v svežem ali otrdelem stanju. Dodatki lahko kompenzirajo pomanjkljivosti betonov in malt ter zmanjšajo ceno izdelave ali vgraditve betona.

S prejetjem JUS.U.M1.034 do JUS.U.M1 039 leta 1983 so kemijski dodatki betonu tudi pri nas dobili dovoljenje z uporabo v betonski tehnologiji.

Posebni kemijski dodatki za brizgan beton (npr. pospešilo) morajo ustrezati zahtevam SIST EN 934-5, ostali kemijski dodatki pa zahtevam SIST EN 934-2.

Klasifikacija dodatkov:

- plastifikatorji (superplastifikatorji)
- aeranti
- zavlačevalci vezanja
- pospeševalci procesa strjevanja
- gostilci (za vodoneprepustnost)
- dodatki za zimsko betoniranje

2.3.2 Plastifikatorji

Plastifikatorji so površinsko aktivne snovi, ki povečajo fluidnost cementne paste. Ob dodatku plastifikatorja se kontaktna površina med vodo in cementom poveča, hidratacija je popolnejša, kar se rezultira z višjimi trdnostmi in večjo homogenostjo strjenega cementnega kamna, ter s tem večjo kakovostjo betona. Gibljivost vode med posameznimi delci v cementni pasti se poveča, kar se odraža z večjo plastičnostjo betona pri enaki količini vode, oziroma za isto plastičnost je potrebna manjša količina vode. Namenjeni so predvsem boljši vgradljivosti sveže betonske mešanice.

2.3.3 Superplastifikatorji

Superplastifikatorji imajo enak ali podoben mehanizem delovanja kot plastifikatorji, z neprimerno večjim učinkom plastificiranja. Superplastifikatorji se namensko uporabljajo za:

- izboljšanje konsistence svežega betona (doziranje 1,0-2,0 % na težo cementa)
- povečanje začetnih in končnih trdnosti betonov s prihrankom vode do 40 l/m³ (doziranje 1,5-3,0 % na težo cementa)
- istočasno izboljšanje plastičnosti svežega betona in povečanje trdnosti (doziranje 2,5-4,5 % na težo cementa)

2.3.4 Aeranti

Aeranti spadajo v razred površinsko aktivnih snovi, ki ob njihovem dodajanju betonski mešanici vnašajo v sveži beton ali malto mikromehurčke zraka. Ti mikromehurčki zraka prekinjajo sistem kapilarnih por ter tako preprečujejo prodor oziroma transport vode in solnice v beton. V primeru, ko kapilarna voda zmrzne, se poveča volumen in v tem primeru delujejo zračni mehurčki kot ekspanzijska posoda za led in pritiske, ki nastajajo. Aeriranje je učinkovito, če so zračni mehurčki dovolj majhni (0,05-1,25 mm) in enakomerno porazdeljeni po betonu. To definira faktor oddaljenosti, ki mora znašati glede na zahteve standarda ASTM C 457 – 71 manj kot 0,20 mm; v praksi tako dosežemo zmrzlinso odporne betone pri faktorju oddaljenosti 0,04 mm. Vsak odstotek vnesenih por zmanjša v povprečju trdnost za 5,0 %. Količina uvedenih zračnih mehurčkov je odvisna od različnih faktorjev (doziranje cementola Eta S, doza cementa, vrsta agregata, temperature in načina mešanja).

Aeranti so tudi dobri plastifikatorji betona (1 % uvedenih zračnih mehurčkov nadomesti cca 20 kg finih zrn agregata od 0 do 0,2 mm), kar omogoča znižanje zamesne vode ob enaki vgradljivosti.

2.3.5 Zavlačevalci

Zavlačevalci vezanja so kemijski dodatki, ki delujejo na ta način, da preprečujejo hitro raztapljanje trikalcijevega aluminata (C3A), ki začne prvi reagirati pri kontaktu z vodo. Zavlačevalci preprečujejo reakcijo zrn cementa z vodo in s tem upočasnjujejo tako vezanje

kot strjevanje cementa, kar se odraža s podaljšanjem časa prehoda iz plastičnega v trdo stanje betona, pri čemer ne vplivajo škodljivo na nadaljnji razvoj trdnosti betonov.

Zavlačevalci vezanja so posebej uporabni pri visokih temperaturah, saj vemo da je proces hidratacije cementa odvisen od temperature. Tako npr. cement PC S Anhovo veže pri 0 stopinjah v 12 urah, pri temperaturi +30 stopinj pa prej kot v eni uri. Učinek zavlačevalcev je močno odvisen od vrste uporabljenega cementa in temperature, zato so za določitev optimalne doze zavlačevalca nujno potrebne predhodne preiskave. V odvisnosti od vrste uporabljenega cementa in zavlačevalca se lahko zgodi tudi, da zavlačevalec deluje kot pospeševalec vezanja in strjevanja.

2.3.6 Pospeševalci

Pospeševalci se kemijsko vključujejo v proces hidratacije cementa, ali pa delujejo tako, da vplivajo na spremembo topnosti raznih sestavin cementa, predvsem na hitrost raztapljanja teh sestavin. Ker se pospeševalci kemijsko vključujejo v proces hidratacije cementa (delujejo predvsem na trikalcijev silikat), je razumljivo, da je za efekt pospeševanja bistvena sestava cementa, oziroma da je efekt pospeševanja odvisen od vrste uporabljenega cementa.

Glavni namen kemijskega pospeševanja hidratacije betonov je v tem, da v želenem času dosežemo ustrezno trdnost za manipuliranje oziroma obremenitev betona. Pri brizganih betonih je pomemben pospeševalec za takojšnjo sprijemljivost betona s podlago, še posebej pri tunnelski gradnji v predelih temena obrizgane betonske obloge. Vpliv pospeševalcev na porast trdnosti betonov je zlasti velik v zgodnjih terminih (do 3 dni), medtem, ko se pri 28 dnevni trdnosti velikost pospeševanja približa etalonskemu betonu.

2.3.7 Gostilci

Gostilci so kemijski dodatki betonu, ki zmanjšujejo prepustnost strjenega betona napram vodi pod pritiskom. Povečano stopnjo vodoneprepustnosti dosežemo s pomočjo gostilcev zato, ker le-ti tvorijo pri reakciji z apnom iz hidratacijskega cementa netopne spojine, ki blokirajo sistem kapilarnih por, po katerih se sicer transportira voda. Posredno lahko zvečamo stopnjo vodoneprepustnosti betonov s tem, da zmanjšamo količino kapilarnih por v otrdelem cementnem kamnu s pomočjo uporabe plastifikatorjev, oziroma

superplastifikatorjev ali pa kapilarne pore zožimo s pomočjo aerantov. Vodonepropustne betone lahko izdelamo tudi z dodajanjem določene količine izredno finih delcev (npr SiO₂).

Osnovni ukrepi, ki jih moramo upoštevati pri izdelavi vodonepropustnega betona:

- izbirati moramo granulometrijo agregata z majhno prostorsko praznino,
- pripraviti moramo beton s čim nižjim w/c faktorjem,
- opaži morajo biti tesni,
- optimalna izdelava delovnih stikov,
- poskrbeti moramo za ustrezno nego svežega betona.

2.3.8 Dodatki za betoniranje pri nizkih temperaturah

So dodatki betonu, ki omogočajo betoniranje pri temperaturah pod 5° C. Tudi pri uporabi kemijskih dodatkov za zimsko betoniranje velja pravilo, da je njihov učinek večji, če jih uporabljamo pri čim nižjem vodocementnem faktorju. Toplota, ki se sprosti pri kemičnem procesu hidratacije cementa, se pri visokem vodocementnem faktorju uporablja za segrevanje vode v betonu in ne betona samega. Tudi zaradi povečane zmrzilske odpornosti strjenih betonov je priporočljiva uporaba kombinacije plastifikatorja ali superplastifikatorja poleg dodatka za zimsko betoniranje, zaradi pozitivnega učinka teh dodatkov na mikroporoznost cementnega kamna.

Druga vrsta dodatkov za zimsko betoniranje je vrsta dodatkov, ki znižuje točko zmrzišča vode pod 0° C ter s tem omogoča, da so reakcijske komponente v tekoči fazi tudi pri nižjih temperaturah (P. Sivec: Kemijski dodatki betonom, Zavod za tehnično izobraževanje inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana).

2.4 Voda

Za beton vedno uporabljamo kemično čisto (pitno) vodo, če ne, je potrebna kemična analiza (vsebnosti škodljivih snovi). Njena ustreznost se preverja enkrat na vsake tri mesece po standardu SIST EN 1008.

Idealna je čista voda, pri čemer je vedno ustrezna vodovodna (pitna) voda. Posebno škodljive so organske primesi (zemlja, humus, masti, olja, sladkor,...), sulfati (soli, ki med kristalizacijo povečajo volumen), kloridi (soli, ki povzročajo korozijo armature) in mulj, ki absorbira velike količine cementa.

Morska voda, ki bi jo vgradili v beton, bi zaradi kemičnih primesi znižala njegovo trdnost za maksimalno 10 %. Za doseganje določene trdnosti bi bilo potrebno dati več cementa. Kloridi iz morske vode reagirajo z armaturo, ki korodira, zato morska voda ni primerna za armirani beton.

Voda iz javnega vodovoda šteje, kot primerna za izdelavo brizganih cementnih malt in betonov (Beatrix Kerkhoff, Design and Control of Concrete Mixtures, 2003).

3 BRIZGANI BETON

3.1 Splošno o brizganem betonu

Pri tem načinu vgrajevanja betona nanašamo beton s pomočjo stisnjenega zraka. Površino betonske konstrukcije najprej očistimo in nahrapavimo. Pri brizganju betona se grobi delci betona odbijajo, cementno lepilo pa v nekaj sekundah na površini ustvari tanki, lepljivi film, na katerega se prilepi beton z grobimi delci. Brizgani beton (imenovan tudi »torkret beton«) združuje vgrajevanje in kompaktiranje v enem postopku. Debelina enkrat nanesenega sloja znaša 2 do 3 cm. Večje debeline dosegamo z večimi nanosi. Postopek ima sorazmerno velik odpad, ki pa ga lahko zmanjšamo z dodatkom – pospešilom. Obloge iz brizganega betona lahko armiramo ali tudi mikroarmiramo. Tlačne in natezne karakteristike stika med starim in novim betonom so takšne, kot jih lahko pričakujemo pri monolitnih betonih.

3.2 Suhi in mokri postopek brizganega betona

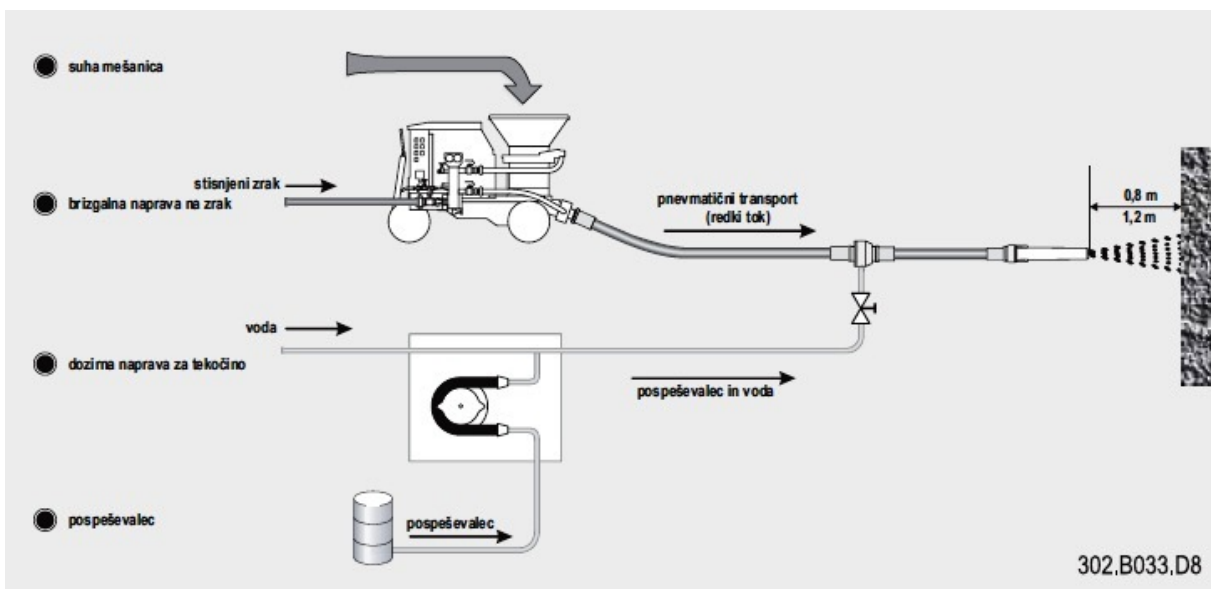
Brizgan beton lahko pripravimo po: suhem ali mokrem postopku pri obeh pa po postopku transporta s tankim ali gostim tokom

Pri transportu s tankim tokom v glavnem transportiramo »pnevmatsko« po tlačnih ceveh suho betonsko mešanico do šobe. V sami šobi nato dodamo potrebno zamesno vodo. Ta način transporta pride v praksi v poštev v glavnem pri suhem postopku izdelave brizganega betona.

Način transporta gostega toka pride v poštev predvsem pri mokrem postopku. Pri tem načinu transportiramo mokro betonsko mešanico do šobe z betonsko črpalko. V šobi pa dovajamo komprimiran zrak, potrebnega za brizganje svežega betona (Andrej Štrukelj, Skripta predavanj za predmet Tehnologija grajenja, 2010).

3.2.1 Suhi postopek brizganega betona

Mešanico za suho brizgan beton dodajamo zračnemu toku s pomočjo rotorskega brizgalnega stroja, dvokomornega brizgalnega stroja ali s pomočjo drugih naprav. Na šobi se nahaja dodatni konusni element, ki omogoča da betonsko mešanico brizgamo s hitrostjo 50-100 m/s na površino, ki jo obdelujemo. S to veliko hitrostjo brizganja nastopi zelo velika sila (energija) gibanja, ki potisne z veliko silo-pritiskom materiale v obstoječe pore podlage. V začetku postopka brizganja se groba zrna odbijejo od podlage. Iz cementnega lepila in finih frakcij se tvori film iz malte v katerega pa prodre material, ki ga nato še nanašamo. Pri tem potiskajo zrna, ki naknadno priletijo, predhodna zrna vedno globlje in s tem betonsko maso tudi vedno bolj zgostijo (Andrej Štrukelj, Skripta predavanj za predmet Tehnologija grajenja, 2010).

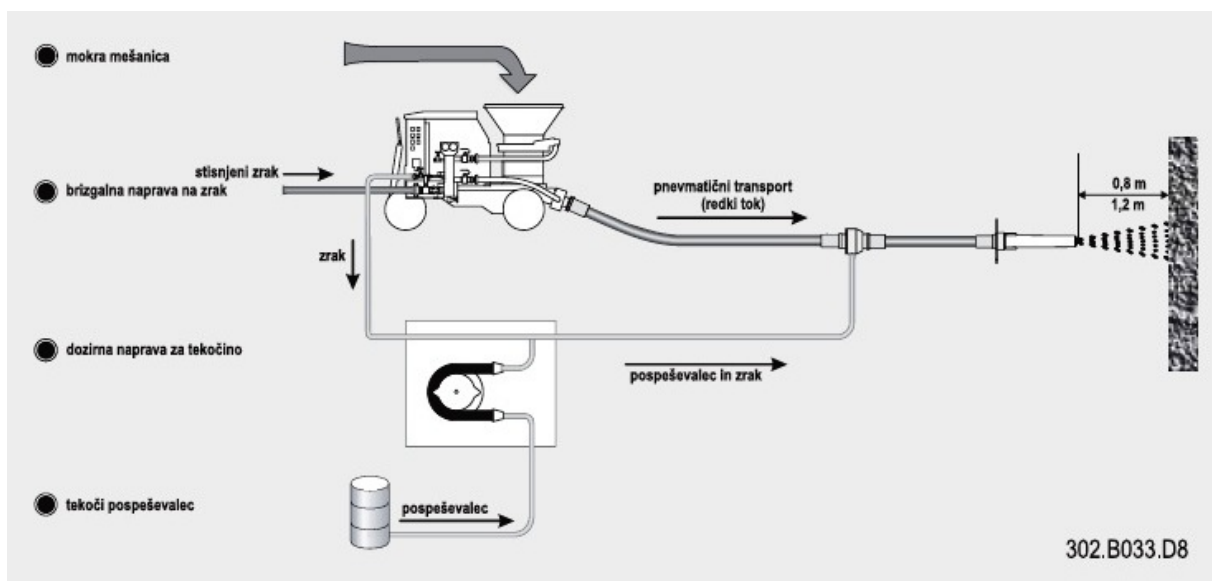


Slika 1: shema suhega postopka brizganja betona (tanki tok transporta) (vir: Stroji za brizganje betona in gradnjo predorov. Dostopno na naslovu: <http://svn.sika.com/>)

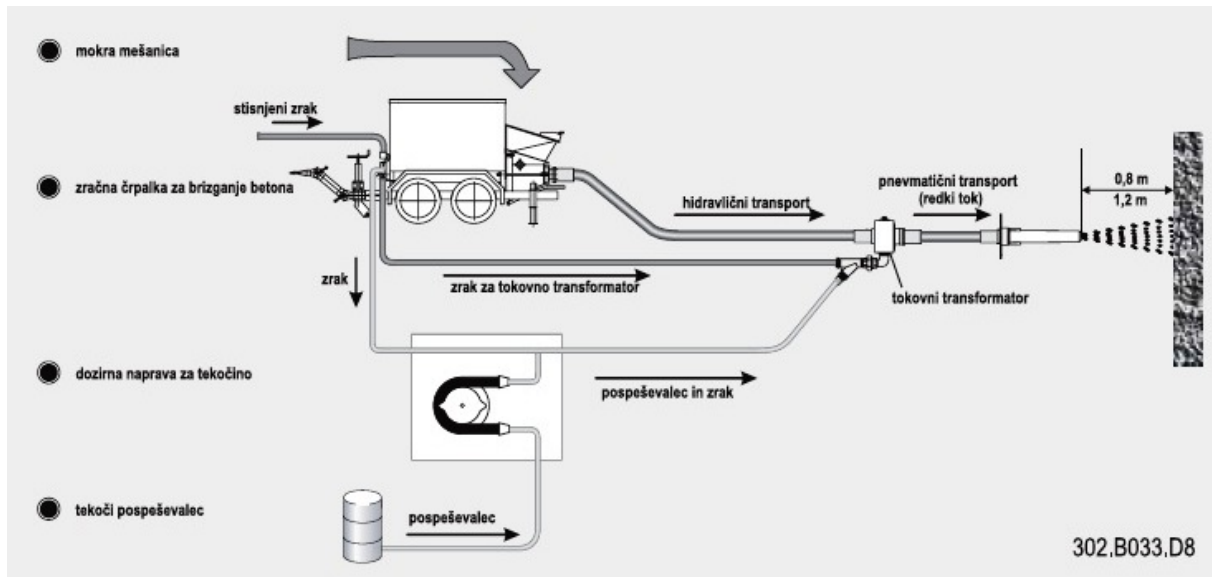
3.2.2 Mokri postopek brizganega betona

Svežo mokro betonsko mešanico doziramo v stroj za brizganje in jo s pomočjo črpalke transportiramo do šobe-redko s komprimiranim zrakom. V šobi s pomočjo dovajanja komprimiranega zraka betonsko mešanico raztrgamo in jo brizgamo na predvideno mesto vgraditve. Večkrat dodamo tudi pospeševalec vezanja.

Moker postopek je smotrno povsod tam, kjer moramo vgraditi velike količine brizganega betona, saj je odbiti material skoraj do 50% manjši kot pri suhem postopku brizganja (Andrej Štrukelj, Skripta predavanj za predmet Tehnologija grajenja, 2010).



Slika 2: shema mokrega postopka brizganja betona (tanki tok transporta) (vir: Stroji za brizganje betona in gradnjo predorov. Dostopno na naslovu: <http://svn.sika.com/>)



Slika 3: shema mokrega postopka brizganja betona (gosti tok transporta) (vir: Stroji za brizganje betona in gradnjo predorov. Dostopno na naslovu: <http://svn.sika.com/>)

3.3 Postopek brizganja betona

Postopek brizganja betona je v splošnem naslednji: betonska mešanica se pripravi na delovišču ali pa se sprotno dovaža z avtomešalci, iz katerih se vsiplje v lijak črpalke. Iz lijaka se material črpa s pomočjo vijačne črpalke v dostavno cev, v brizgalni šobi pa se razprši in omogoči kontrolirano nanašanje brizganega betona. Pri nanašanju in vgradnji je pomembna razdalja (cca 1,00 m) in smer nanašanja (čim bolj pravokotno na površino nanosa), saj se lahko s pravilnim postopkom v veliki meri zmanjša količina odpadnega materiala – postopek je v marsičem odvisen od izkušenj delavca na stroju.

Pri nanosu brizganega betona večje debeline je potreben večkratni nanos, po cca 5 cm, med katerimi pa mora preteči min. 2 uri – v tem času že vgrajeni material doseže ustrezno trdnost in ne odpada pri nanosu novih slojev. V primeru večkratnega nanosa se v betonsko mešanico pred obrizgom dodajajo tudi dodatki za pospešitev strditve betona.



Slika 4: stroj za suho in mokro brizganje betona Aliva (vir: Stroji za brizganje betona in gradnjo predorov. Dostopno na naslovu: <http://svn.sika.com/>)

Brizgani beton se praviloma nanaša na predhodno položene in povezane armaturne mreže. Za armiranje se uporabi armaturne mreža tipa Q200 ali podobne, za fiksiranje pa po potrebi kratka palična sidra iz armature npr. RA Φ 10 mm, l=0,50 m.

Za dokazovanje kvalitete vhodnih materialov so potrebni atesti proizvajalcev oziroma dobaviteljev materiala, tekoče preiskave pa izvaja izvajalec sprotno sam, ali pa jih naroča pri drugih organizacijah. Tekoče preiskave obsegajo kontrolo materialov pred vgradnjo, kar pomeni odvzem vzorcev betonske mešanice in določanje enosne tlačne trdnosti injekcijske mase ter odvzem in preiskavo kvalitete vgradne armature.

Končna kontrola kvalitete izdelane brizgane stene predora se lahko izvede na zahtevo nadzora in po predhodnem posebnem naročilu. Kontrola zajema diamantno vrtanje in odvzem valja izdelane stene predora, ki se preišče v laboratoriju pooblašene organizacije ali inštituta. Rezultati meritev se podajo v posebnem poročilu.



Slika 5: zavarovanje stene gradbene jame z brizganim betonom (vir: <http://www.heidelbergcement.com>)

3.3.1 Opis posameznih postopkov in posameznih delov opreme

Črpanje mokre ali suhe mešanice

Mešanico s pomočjo zračnega tlaka v redkem ali gostem toku črpamo do šobe, v območju šobe, suho mešanico navlažimo z vodo (mokre ni potrebno) ter brizgamo na površino nanašanja.

Črpanje mešanice

Suho mešanico za brizgan beton dodajamo zračnemu toku s pomočjo rotorskega brizgalnega stroja, dvokomornega brizgalnega stroja ali s pomočjo drugih naprav. Mokra mešanico hidravlično transportiramo z gostim tokom do tokovnega transformatorja, kjer dodamo komprimiran zrak. Od transformatorja do šobe potuje mešanica v obliki tankega toka transporta.

Na šobi se nahaja dodatni konusni element, ki omogoča, da betonsko mešanico brizgamo s hitrostjo 50-100 m/s na površino, ki jo obdelujemo.

Črpalna mora zagotoviti enakomeren pretok materiala na šobi. Pri uporabi moramo paziti na to, da vsi deli stroja dobro tesnijo (nastajanje prahu pri suhem brizganju, kakovost brizganega betona). Neuporabljene ostanke zmesi in obloge moramo sproti odstranjevati.

Črpalna napeljava

Za črpalno napeljavo uporabljamo napeljavo iz gibljivih cevi in cevi, ki morajo biti položene čim bolj premočrtno ali v širokih krogih. Pri spojih moramo paziti na zapiranje. Pri črpalni napeljavi med brizgalnim strojem in šobo ne sme priti do sprememb prečnega prereza cevi.

Brizgalna šoba

Brizgalna šoba mora biti takšna, da pri suhem postopku omogoča premešanje mešanice in vode ter po potrebi še pospeševalca vezanja.

Dodajanje vode pri suhem postopku

Voda mora steči po napeljavi do šobe pod določenim pritiskom. Pri enakomernem črpanju za optimalno obdelovalnost brizgalne mešanice, lahko niha količina dodane vode le v ozkih

mejah. Upoštevanje te meje zagotavlja vrednost: voda – vezivo = 0.5, tako da praviloma meritev ni potrebna.

Doziranje pospešila (PV)

Dozirna naprava mora zagotavljati enakomerno dodajanje predpisanih količin PV, ki se nanaša na maso cementa oz. proporcionalno na črpalno zmogljivost. Odmerek nastavimo na dozirni napravi. Nastavitvene vrednosti določamo glede na kalibrirano spričevalo. Za zagotavljanje enakomernega odmerjanja v času uporabe na gradbišču, moramo dozirno napravo redno vzdrževati, čistiti in kalibrirati. Natančnost odmerjanja PV mora biti pod 1,0 % odmerka veziva (npr. 5,0 % "±" 1,0).

Dozirne naprave za tekoča pospešila vezanja

Tekoče PV praviloma stalno dodajamo zamesni vodi s pomočjo dozirnih črpalk. Vsesavanje tekočega PV iz rezervoarjev mora potekati brez zračnih mehurčkov, poskrbeti moramo tudi za ustrezno zaščito pred umazanijo. Prav tako moramo ves čas skladiščenja zagotavljati enakomernost mešanice in stabilnost tekočega PV (nobenega izkosmičenja ali spremembe viskoznosti npr. pri ekstremnih vremenskih vplivih).

Dozirne naprave za praškasta pospešila vezanja

Dodajanje praškastega PV pri suhem brizganju poteka z dozirnimi napravami praviloma neposredno pred črpanjem mešanice (brizgalna naprava).

-ročno odmerjanje neposredno v brizgalni lijak je dovoljeno le v izrednih primerih

-dozirne naprave morajo biti montirane nad transportnimi trakovi v skladu z navodili proizvajalca. Odmerek mora biti naravnani v zvezi z zmogljivostjo transportnega traku. Pred dejansko uporabo moramo opraviti še predhodni preizkus.

Stroj za brizganje cementne malte

Za suho brizganje betona deluje stroj na rotacijskem principu. Transportirani material nasujemo v lijak z mešalom od koder gre skozi vstopno odprtino v rotacijske komore. Vrtenje rotorja potiska transportni material skozi izstopno odprtino (izpihovalna komora). Stisnjen zrak prazni rotacijske komore in potiska transportno sredstvo v transportni cevovod.

Pri mokrem postopku uporabljamo stroj, ki potiska mokro mešanico do tokovnega transformatorja, s pomočjo hidravlike.

3.4 Receptura za mešanico brizganega betona

Običajna receptura za pripravo 0.5 m³ mešanice za brizgan beton:

- 780 kg frakcije do 4 mm,
- 90 kg frakcije od 0 do 1 mm,
- cement PC S, 210 kg,
- zeta cementol: 4.2 l
- voda: 90 do 100 l

(Miroslav Joska, Recepture za beton, Maribor 1997)

3.5 Tehnologija nanašanja brizganega betona

1. Pripravljalna dela - faza priprave brežine, stene predora,...
2. Armiranje – polaganje mrež na stene
3. Brizganje betona
4. Zagotavljanje kakovosti
5. Tehnična dokumentacija

3.5.1 Pripravljalna dela

Pri izkopu je s strojem manjših dimenzij potrebno fino očistiti izdelano zagatno steno, brežino ali steno predora (izkop do trdne strukture slopov, odstranjevanje delčkov stene, ki segajo v profil gradbene jame ali profil predora). Večji delovni stroji so za tovrstna dela neprimerni, saj lahko poškodujejo izdelano steno. Če so v primeru zagatne stene med jet grouting slopi ali med piloti obrušeni prazni prostori oziroma se material izza njih ruši, jih je potrebno takoj dodatno zaščititi z montažo dodatnih armaturnih mrež in takojšnjim obrizgom.

3.5.2 Armiranje

Pri skladiščenju, prenosih in premikih armaturnih mrež in armature po delovišču pred vgradnjo naj se upoštevajo osnovna navodila za delo in polaganje armature (zaščita pred vlago in umazanijo...). Pred zapolnjevanjem mora izdelano in položeno armaturo pregledati in prevzeti nadzor.

Po faznem odkopu gradbene jame in čiščenju površine izdelane zagatne stene ali brežine sledi montaža armaturnih mrež, ki jih fiksiramo s kratkimi pritrdilnimi sidri, uvrtnimi v steno. Paziti je potrebno na prekrivanje mrež in zadosten odklop od kletnih sten objekta (natančnost izvedbe je ± 3 do 5 cm!). Kot je že opisano, je večje odprtine in neravnine potrebno sanirati sproti, po potrebi tudi s takojšnjim pokrivanjem in montažo dodatnih armaturnih mrež, zalaganjem in nanosom dodatnih slojev brizganega betona.

3.5.3 Brizganje betona

Ob zapolnjevanju z brizganim betonom se na pripravljeno brežino oziroma v armaturo grede ali na vertikalni izkop nanaša betonska mešanica, ki zaradi svoje sestave omogoča črpanje preko vijačne črpalke in dovolj hitro sprijemanje na mestu vgradnje. Naštete lastnosti v kombinaciji z dovolj gosto armaturo in pravilnim nanašanjem zagotovijo zaželeno obliko nanošenega betona.

3.5.4 Kakovost izvedbe in kontrola kakovosti

Pri vgradnji betona je potrebno zagotoviti zadostno pokrivanje položene armature (cca 2.5 do 3.0 cm prekrivanja) ter z enakomernim nanašanjem zapolniti vse odprtine na brizgani izravnavi. Način nanašanja in zapolnjevanja z brizganim betonom mora izpolniti zahteve po ustrezni kvaliteti vgrajenega betona, ki je predpisana oziroma predvidena s projektom.

Za dokazovanje kvalitete vhodnih materialov so potrebni atesti proizvajalcev oziroma dobaviteljev materiala, tekoče preiskave pa izvaja izvajalec sprotno sam, ali pa jih naroča pri drugih organizacijah. Tekoče preiskave obsegajo kontrolo materialov pred vgradnjo, kar pomeni odvzem vzorcev betonske mešanice in določanje enosne tlačne trdnosti ter odvzem in preiskavo kvalitete vgradne armature.

Končna kontrola kvalitete izdelanih obrizgov se lahko izvede na zahtevo nadzora in po predhodnem posebnem naročilu. Kontrola zajema diamantno vrтанje in odvzem valja izdelanega obrizga, ki se preišče v laboratoriju pooblašćene organizacije ali inštituta. Rezultati meritev (trdnost betona, sprijemljivost betona in armature) se podajo v posebnem poročilu.

3.5.5 Tehnična dokumentacija

Izvajalec del mora na gradbišču samem voditi, vključno z Zakonom o varstvu pri delu predvideno dokumentacijo, tudi dokumentacijo vezano na izvedbo obrizga (kvaliteta pripravljanih del, čas in način polaganja armature, kolićine vgrajenih materialov in glavni parametri obrizga – poraba betona, faznost izvedbe, kolićina odpada, jemanje vzorcev betona...).

4 MIKROARMIRANI BRIZGANI BETON

4.1 Mikroarmirani beton

Ideja, da v mešanico svežega betona ali malte primešamo vlakna anorganskega ali organskega izvora, se je porodila ob želji, da bi se v betonu oziroma malti izboljšale njegove lastnosti kot so: upogibna trdnost, udarna trdnost, žilavost in odpornost na utrujanje, da dosežemo zmanjšanje razpokanosti strukture. Danes za mikroarmiranje uporabljamo vlakna, ki so obstojna v alkalni cementni osnovi, ki bistveno izboljšajo lastnosti tako nastalega kompozitnega materiala. Najpogosteje uporabljena vlakna so:

- jeklena (kovinska) vlakna, ki so iz jekla ali nerjavečega jekla
- plastična (sintetična) vlakna, ki so iz polipropilena, akrila, aramida, ogljika, nylona, poliestra ali polietilena
- steklena vlakna, ki so predvsem iz alkalno odpornega stekla
- naravna oziroma mineralna vlakna, ki so predvsem iz celuloze in lesa

Po definiciji je mikroarmirani beton, beton, ki je narejen iz cementov z drobnim ali z drobnim in grobim agregatom ter z nekontinuirnimi in nepovezanimi vlakni. Kontinuirne mreže, tkanine in dolge palice ne smatramo kot nepovezana vlakna. Armaturne palice oziroma mreže v beton vgrajujemo z namenom, da prevzamejo velike natezne napetosti in čeprav je uporaba vlaken namenjena izboljšanju natezne trdnosti in povečanju duktilnosti betona, je potrebno poudariti, da mikroarmatura v principu ne zamenjuje armature. Iz niza primerov je razvidno, da se največkrat dosežejo največji želeni efekti ravno s kombinacijo armature in mikroarmature.

Čeprav vmešavanje vlaken v svežo betonsko mešanico mnogokrat predstavlja določen tehnični problem in dodajanje beton podraži, pa se je pokazalo, da imajo mikroarmirani betoni in malte pred nemikroarmiranimi določene tehnološke in ekonomske prednosti. Zato

se v svetu poraba mikroarmiranih malt in betonov povečuje. Uveljavili so se zlasti pri podzemnih gradnjah, pri sanacijah, pri proizvodnji betonski izdelkov in izgradnji objektov ali delov objektov, ki so v času eksploatacije izpostavljeni velikim upogibnim oziroma bočnim pritiskom, utrujanju ter udarcem in pri izgradnji objektov ali delov objektov, ki so močno obremenjeni z obrabo.

Mikroarmirani betoni so betoni z dodatkom vlakna. To je kompozitni material, kjer so v beton vložena vlakna. Vlakna so dodana z namenom, da se izboljšajo posamezne lastnosti betona kot na primer krhkost oziroma, da se doseže zmanjšanje razpokanosti strukture.

Vlakna prispevajo k duktilnosti materiala, ker je beton v nategu krhkejši od vlaken. Da dobimo enakomerno prostorsko razdelitev vlaken v kompozitu, običajno vmešamo vlakna v svežo betonsko mešanico. Porazdelitvi vlaken v sveži betonski mešanici je potrebno posvetiti posebno pozornost, saj se v primeru, da se vlakna sprimejo v gruče, mehanizem, ki zagotavlja izboljšanje lastnosti ne vzpostavi. Pogosto opazimo, da se čas mešanja zaradi navedenega pojavi tudi podaljša, če želimo doseči optimalno stopnjo razmešanosti. V gradbeni praksi se pogostokrat srečamo s prepričanjem, da rezultira večja trdnost vlaken k povečani trdnosti kompozita, upoštevati pa je potrebno tudi dejstvo, da je povečana trdnosti kompozita posledica medsebojne povezave med vlaknom in betonom, ki vpliva na izvlečenje vlakna iz betona (1. slovenski kolokvij o betonih: Mikroarmirane malte in betoni, 1994)

4.2 Vlakna za mikroarmiranje

4.2.1 Jeklena vlakna

V praksi je možno uporabiti več tipov jeklenih vlaken. Najpogostejša so:

- vlakna iz valjanega jekla
- vlakna iz hladno vlečene jeklene žice
- valovita jeklena vlakna polieptičnega ali pravokotnega prereza

Vlakna iz valjanega jekla imajo pravokotni presek in jih proizvajamo z izsekavanjem ali rezanjem valjanega jekla, ki ima natezno trdnosti med 200 in 850 N/mm². Zaradi enostavnega dodajanja betonu ter sorazmerno neproblematičnega vmešavanja in črpanja

tudi v primeru večjih količin in daljših črpalnih razdalj, ta tip vlaken v gradbeni praksi prevladuje. Vlakna iz valjanega jekla imajo veliko površino in visoko žilavost. Najbolj učinkovita zvrst takšnih vlaken so »profilirana« vlakna, ki zaradi specifične oblike že pri majhnih obtežbah začnejo prevzemati natezne napetosti. Debelina vlaken je med 0,2 in 0,4 mm, širina med 1 in 2 mm, dolžina pa med 20 in 50 mm.

Vlakna iz hladno vlečene jeklene žice imajo karakteristično značilnost, da je njihova površina majhna, natezna trdnost pa velika. V gradbeni praksi so najpogostejša vlakna, ki so na konceh zakrivljena. Najboljšo sprejemljivost z betonom zagotavljajo vlakna, ki imajo prečna rebra. Vlakna izdelana iz hladno vlečene žice imajo praviloma visoko upogibno trdnost, vendar zaradi kratke dolžine (proizvajamo jih v dolžinah od 30 do 50 mm), bistveno ne prispevajo k preprečevanju razpok v natezni coni konstrukcijskega elementa. Običajen premer takšnih vlaken je od 0,5 do 1,2 mm. Za kvaliteto vgradnje tega tipa vlaken je merodajno razmerje dolžine in premera vlaken. Če se to dvigne nad 50, se močno poveča pogostost formiranja skupkov jeklenih vlaken (NORIK [online] dostopno na: <http://www.norik.si/prodajni-program>).



Slika 6: mikroarmirani beton z NORIK jeklenimi vlakni (vir: <http://www.norik.si/prodajni-program/norik-jeklena-vlakna>)

4.2.2 Plastična vlakna

Plastična vlakna dodajamo betonski mešanici z namenom, da minimaliziramo zgodnje krčenje ter da vzpostavimo ravnovesje vodne faze ob izsuševanju med začetnim vezanjem in strjevanjem vgrajenega betona. Za dimenzioniranje privzamemo teorijo I. reda.

Najpogostejši tip plastičnih vlaken so polipropilenska vlakna, ki so lahko spredena ali pa izsekana iz folije. Prva so krožnega preseka, premera 18 do 32 mikrometrov in dolžine 3 do 18 mm. Fibrilirana vlakna so pravokotnega preseka, ekvivalentnega premera od 50 do 100 mikrometrov in dolžine 6 do 18 mm. Učinkovitost narašča z višanjem števila vlaken na kilogram.

Da bi natezne napetosti v betonu v času vezanja in procesa strjevanja ostale čim nižje, je pomembno, da je razmak med plastičnimi vlakni čim manjši – iz tega izhaja, da moramo betonu dodati zadostno število vlaken. S plastičnimi mikrovlakni v betonu nadomeščamo klasično mrežno armaturo v primerih, ko bi ta imela funkcijo omejevanja nastanka razpok zaradi krčenja betona (NORIK [online] dostopno na: <http://www.norik.si/prodajni-program>).



Slika 7: FIBRILS polipropilenska vlakna (vir: <http://www.norik.si/prodajni-program/fibrils>)

4.2.3 Steklena vlakna

V kompozitih, ki so znani pod imenom GRC – Glass Reinforcement Concrete, ki se prav tako uvrščajo v skupino mikroarmiranih betonov se s posebnim postopkom dispergirajo alkalno odporna steklena vlakna. Pri GRC kompozitih je togost steklenih vlaken le malo višja od togosti cementne osnove (Samo Lubej, Mikroarmiran beton, seminarska naloga).

4.2.4 Naravna oziroma mineralna vlakna

Naravna mineralna vlakna so:

- vlakna sisala
- juta
- bambusova vlakna in lesena vlakna
- vlakna kamene volne
- sljudne luske

(Samo Lubej, Mikroarmiran beton, seminarska naloga).

4.3 Uporaba mikroarmiranega brizganega betona

Mikroarmirani beton se v največjem obsegu uporablja pri gradnjah predorov in to kot mikroarmirani brizgani beton (v nadaljevanju MABB). Ta je skoraj v celoti zamenjal klasično izvedbo zaščite izkopa z brizganim betonom, armiranim z jeklenimi mrežami in to ne samo pri primarnih oblogah temveč tudi pri definitivnih oblogah prometnih in hidrotehničnih predorov. Čeprav je cena z jeklenimi vlakni mikroarmiranega betona večja, je uporaba take vrste betona zelo ekonomična zaradi:

- znatno znižanih stroškov, ker mreže niso več potrebne
- manjše porabe brizganega betona. Pri klasični izvedbi se vedno postavlja mreže na določeni oddaljenosti od površine izkopa in je zato potrebno več materiala, da je mreža z betonom prekrita. Z MABB se lahko bolje sledi konfiguraciji površine izkopa,
- varnejših delovnih pogojev,
- hitrejšega napredovanja del in s tem prihranka časa.

Uporabo in razvoj MABB najbolje ilustrira uporaba tega betona pri izgradnji predorov za hitre železniške proge v Nemčiji ob obdobju od 1981 do 1989 leta. Uporaba MABB je porastla za skoraj 50 %.

Zelo hiter razvoj strojev in tehnologij za izvajanje podzemskih gradenj in potrebe za gradnjo prometnic in spremljajočih objektov ter skladiščnih in garažnih prostorov v mestih po eni strani in ekološki razlogi po drugi strani, bodo v prihodnosti še povečali obseg podzemskih gradenj in s tem tudi uporabo MABB. Zaradi takega razvoja so postali predori v primerjavi z drugimi gradnjami vse racionalnejše rešitve za premoščanje prepek.

Podobno kot pri predorih se MABB čedalje bolj uporablja tudi pri zavarovanju visokih brežin v usekih prometnic.

Razen jeklenih vlaken se za te namene uporabljajo tudi polipropilenska vlakna (1. slovenski kolokvij o betonih: Mikroarmirane malte in betoni, 1994).



Slika 8: armirana brizgana betonska stena v predoru (vir: <http://www.tunneltalk.com>)

4.4 Zahteve pri primarni oblogi iz brizganega betona

Glavni razlogi za uporabo brizganega betona za izdelavo primarne obloge so:

- preprečitev oziroma minimiziranje pomikov zemljine v izkopu:
 1. s povečanjem togosti oziroma z ojačitvijo zemljine z zapolnitvijo odprtih kontaktov in razpok
 2. s prenosom obremenitve okoli odprtih na sosednje stabilne dele stene preko adhezije in striga
 3. z membranskim delovanjem na upogib in nateg, kadar je sprijemljivost brizganega betona majhna, je pa sloj celovit
- v tleh, ki se lahko degradirajo, zatesnitev površine in preprečitev drobljenja in razpadanja, ki se pojavlja zaradi vode in vlažnega zraka
- usmeritev podzemne vode s tesnenjem in drenažami ter preprečitev zmrzovanja.

Pri gradnji podzemnega objekta prihaja v posameznih fazah izkopa in podpiranja do prerazporeditve napetosti iz zemljine na podporje in do zelo kompliciranih interakcij.

Deformacije zemljine, ki nastanejo z napredovanjem izkopa, menjajo primarno stanje napetosti v zemljini in povzročajo napetosti v primarni oblogi. Te napetosti pa zavisijo med drugim tudi od razmerja togosti zemljine in podporja ter od velikosti in oblike prečnega prereza predora.

Optimalni izkoristek lastnosti materiala se doseže s povezavo zemljine in MABB s togimi ali prednapetimi sidri. Sidra prevzamejo natezne napetosti, MABB je izpostavljen tlačnim, upogibnim in strižnim napetostim, ki so posledica globalnih in lokalnih sil, zemljina pa prevzema tlačne napetosti. Optimalna primarna obloga je tista, ki omogoča pomike zemljine, ki ustrezajo maksimalni trdnosti zemljine. Pri taki obremenitvi v tretji in četrti kategoriji izkopa, kjer se običajno uporablja obloga iz MABB ob istočasnem armiranju zemljine z množico sider, napetosti v betonu ne prekoračujejo njegove dovoljene natezne, tlačne in strižne napetosti vlakna (1. slovenski kolokvij o betonih: Mikroarmirane malte in betoni, 1994).

4.5 Lastnosti strjenega mikroarmiranega betona

Pri projektiranju sestave in pri izboru vlaken za mikroarmirani beton se običajno postavljajo tri vprašanja:

- trdnost vlaken
- odnos med modulom elastičnosti vlaken in betonske matrice
- sprijemljivost med vlakni in malto v betonu

Trdnost jeklenih in PP, kakor tudi nekaterih drugih polimernih vlaken, so za red velikosti večje od tlačnih in za dva reda velikosti večje od nateznih trdnosti betona. Pri tem pa je modul elastičnosti polimernih vlaken za red velikosti manjši od modula elastičnosti betona in za dva reda velikosti manjši od modula elastičnosti jekla. Zato je potrebno pred določeno uporabo polimernih vlaken podrobno eksperimentalno in z metodami mehanike loma raziskati vpliv teh parametrov na žilavost in nosilnost MABB. Zelo zanimivo je namreč obnašanje konstrukcije po nastanku razpok, ko se beton v okolici razpoke relaksira in napetosti prevzamejo vlakna. V tem stanju ni več uporaben linearno elastični model obnašanja takega kompozita. Vprašanje sprijemljivosti med vlakni in matrico je eksperimentalno raziskano s pull-out testi in s teoretsko metodo končnih elementov za stanje pred nastankom razpoke in z metodo mehanike loma po nastanku razpoke. Pokazalo se je, da je poleg sile, potrebne za nastanek in širjenje razpoke v sami matrici, pri obeh vrstah vlaken precejšnji delež sile potreben tudi za izvlek vlaken, kar je posledica trenja med vlakni in matrico. Sila izvleka vsekakor zavisi od oblike vlakna in razmerja njegovega premera in dolžine. Za ugodno obliko polimernega vlakna, je sila izvleka približno taka kot da bi bil premer polimernega vlakna 1.5 krat večji od premera jeklenega vlakna.

Najboljše se lahko oceni vpliv vlaken na lastnosti strjenega betona s preiskavo betonskih prizem na upogib. S parametri, dobljenimi pri takih preiskavah, se lahko izračuna nosilnost plošče iz mikroarmiranega betona. V nadaljevanju navajam podatke, ki jih je objavil prof. dr. Velimir Ukrainczyk v zborniku Slovenski kolokvij o betonih.

Tabela 4: Podatki o sestavi in lastnostih preiskanih mikroarmiranih betonov

PARAMETRI		OZNAKE SESTAV MIKROARMIRANIH BETONOV				
		1	2	3	4	5
CEMENT (kg/m ³)		380	380	380	380	380
AGREGAT (kg/m ³)		1840	1840	1840	1840	1840
DODATEK (kg/m ³)		2	-	2	-	-
KONSISTENCA		plastična	plastična	plastična	plastična	plastična
VLAKNA	TIP (d/l)	PPX 0,5/50	St 0,3/30	PPX 1,2/50	PPs 2,2/50	PPs 2,2/30
	KOLIČINA (kg/m ³)	5,6	40,0	12,0	18,0	18,0
f _c (Mpa)		46,0	54,0	47,7	41,8	43,5

Tabela 5: Podatki o delovnih diagramih prizem, obremenjenih na upogib

OZNAKA SESTAV	PARAMETRI DELOVNIH DIAGRAMOV					
	δ	f _A	f _{max}	σ (f _A)	σ (f _{max})	A _e
	(mm)	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	(Nm)
1	0,30	10,0	14,4	4,5	6,5	1,50
2	0,32	14,4	17,6	6,5	7,9	2,30
3	0,30	9,7	15,3	4,4	5,6	1,46
4	0,30	10,4	13,8	4,7	6,2	1,20
5	0,30	9,6	12,9	4,3	5,8	1,44

Karakteristične razlike delovnih diagramov za jeklena in polipropilenska vlakna so:

- pri jeklenih vlaknih se prva razpoka pojavi pri večjih trdnostih, večja je površina pod elastičnim delom diagrama in v padajočem delu diagrama se krivulja postopno znižuje
- pri PP vlaknih krivulja v delovnem diagramu takoj po dosegu maksimalne trdnosti hitro pade, vendar pa je nosilnost po tem še pri velikem upogibu konstantna, pri vlaknih večje dolžine pa se celo nekoliko poveča
- indeksi žilavosti so pri manjših upogibih ugodnejši za jeklena vlakna, pri večjih upogibih pa se v glavnem izenačijo z onimi za PP vlakna

Iz rezultatov meritev je razviden prispevek vlaken k povečanju duktilnosti brizgane obloge. Zanimivi so rezultati preiskav MABB s polipropilenskimi vlakni, ki znatno prispevajo k

duktilnosti obloge. Na splošno pa je obnašanje MABB obloge odvisna od kakovosti betonske matrice, vrste in faktorja oblike uporabljenih vlaken in od sprejemljivosti med vlakni in cementnim kamnom (1. slovenski kolokvij o betonih: Mikroarmirane malte in betoni, 1994)

4.6 Mikroarmirani brizgani betoni za obloge brežin

Vsak akumulacijski bazen v karbonatnih kamninah je potrebno ustrezno zatesniti in s tem zagotoviti vodonepropustnost bazena. Običajna metoda je izkop in armiranobetonska obloga, ki zahteva strogo geometrijsko obliko. Le ta skoraj vedno predstavlja moteč element v okolju še zlasti, če se bazen nahaja na robu narodnega parka.

V nadaljevanju je opisana alternativna, okolju prijaznejša metoda tesnenja karbonatne kamnine, kakršna je bila uporabljena na akumulacijskem bazenu male hidroelektrarne Bača pri Podbrdu. Vodotesna obloga je bila izvedena z mikroarmiranim brizganim betonom, ki je bil brizgan neposredno na skalnato brežino, brez armaturnih mrež.



Slika 9: akumulacijski bazen MHE Bača – na levi strani slike brežina zavarovana z brizganim betonom (vir: http://www.seng.si/galerija/male_he)

4.6.1 Osnovne karakteristike akumulacijskega bazena MHE Bača

Mala hidroelektrarna Bača je derivacijska elektrarna z možnostjo akumuliranja vode v umetnem akumulacijskem bazenu. Akumulacijski bazen, ki ima sposobnost dnevnega akumuliranja vode, je lociran na robu Triglavskega narodnega parka v pobočju, ki ga tvorijo kompaktni dolomiti s povprečnim nagibom 20-25°.

Bazen je tlorisno pravokotne oblike, dolžine 110 m. Projektiran presek bazena je bil trapezne oblike s širino v dnu 7,70 m na vrhu pa 13,50 m ter globine od 3,50 do 4,60 m.

Leva stena bazena je vkopana v kompaktni dolomit. Tudi dno in del desne brežine sta vkopana v dolomitu, ostali del desne brežine pa je izveden v nasipu iz izkopanega materiala. Obloga dna in desnega brega bazena sta bila projektirana in izvedena klasično z armiranim betonom v debelini 8 cm na drenažno plast.

Za tesnitev dolomitne skale levega brega pa sta bili pred izvedbo predvideni dve varianti:

- po 1. varianti bi se brežina izravnala v geometrijski formi v naklonu 5:2, obloga pa bi se izvedla z brizganim betonom, ki bi bil klasično armiran,
- 2. varianta je izključila izravnavo in predvidela obrizg neizravnanih sten z betonom, ojačanim z jeklenimi vlakni.

2. varianta je imela v primerjavi s prvo tri bistvene prednosti:

- bila je cenejša,
- volumen vode v akumulaciji je v tem primeru večji, stena je lahko navpična brez eventuelnih naklonov, obloga se v največji meri prilagaja konturi izkopane brežine,
- tako izvedena obloga se dobro vklaplja v okolje in je po izgledu najbolj podobna naravni dolomitni steni.

Pri izbiri ustreznih sestav in tehnološkega postopka za izvedbo obloge je bilo potrebno izhajati iz potrebnih zahtev:

- doseči visoko tehnično vodotesnost brizganega betona, ki bo ob upoštevanju relativno velikega raztrosa oziroma heterogenosti nabrizganega betona še vedno zagotavljal zadostno vodotesnost obloge,

- brizgani beton mora imeti visoko zmrzlinško odpornost, saj se obloga nahaja v področju stalnega nihanja vodne gladine (dnevna akumulacija bazena). Akumulacijski bazen se nahaja v alpskem, torej v klimatsko zelo neugodnem področju,
- dobra sprijemljivost s podlago mora biti zagotovljena na vseh površinah, da ne bo prišlo do eventualnega odstopanja obloge od podlage in s tem do njenega razpokanja in razpadanja,
- v oblogi moramo v največji možni meri preprečiti nastanek oziroma omejiti razvoj razpok, ki bi nastale bodisi v fazi izdelave obloge bodisi v fazi eksploatacije.

Poleg omenjenih pogojev je glede na veliko odvisnost kvalitete brizganega betona od tehnoloških pogojev brizganja bilo potrebno izbrati primerno opremo, ki bo omogočala enakomerno nanašanje in prilagajanje zelo razgibani konturi podlage.

4.6.2 Tehnološki postopek izvedene mikroarmirane brizgane obloge

Pred brizganjem obloge je bilo potrebno na brežini odstraniti vegetacijo, zemljo in preperele dele dolomitne stene. Površine so bile očiščene do zdrave podlage z vodnim curkom.

Večje in široke razpoke ter previsi, ki so izrazito izstopali iz linije so bili izravnani s klasičnim zidanjem s kamnom in cementno malto, manjše vendar izrazite prehode oz. spremembe v konturi pa so izravnali z brizganim betonom brez dodatka jeklenih vlaken. Brizganje je potekalo enoslojno, povprečna debelina brizganega betona je znašala 6 cm.

Sestava betona je bila izbrana tako, da je ustrezala vsem zahtevam, pri čemer so bili izbrani naslednji materiali:

- portland cement PC 15z 45 B,
- agregat 0/4 in 4/8 mm,
- jeklena vlakna dolžine 16 mm in premera 0,4 mm,
- dodatek, ki zagotavlja dobro sprijemljivost vlaken s cementno matico.

Istočasno dodatek bistveno zmanjšuje odboj ter zagotavlja večjo kohezivnost. Le-ta omogoča nanašanje celotne debeline obloge v eni plasti brez prekinitve. Za konkreten primer je bil to zelo pomemben pogoj, saj so debeline nanosa vsled zelo razgibane konture močnejše

variirale, določen del pa je bilo potrebno nanašati na previsne dele stene vlakna (1. slovenski kolokvij o betonih: Mikroarmirane malte in betoni, 1994)

Izbrana količina jeklenih vlaken je bila 0,7 vol %. Dodana količina naj bi omejila razvoj razpok in mikrorazpok in tako v tem smislu prispevala k tesnosti in obstojnosti obloge.

Brizgani beton, ojačan z jeklenimi vlakni, omogoča izvedbo obloge, ki sledi naravni obliki kamnite brežine. Obloga ima barvo podobno kot kamenina in je okolju prijazna. Istočasno predstavlja možnost zmanjšanja stroškov izvedbe v primerjavi s klasičnimi načini.

Obloge iz brizganega betona, ki je ojačan z jeklenimi vlakni, imajo zaradi visoke žilavosti in obstojnosti nekatere bistvene prednosti pri izvajanju zaščite kamnin pred erozijo in zmrzaljo, z zagotovitvijo vodotesnosti pa se odpira tudi možnost njihove uporabe pri izvajanju vodotesnih oblog na karbonatnih ali dolomitnih kamninah.

5 ZAKLJUČEK

Brizgani beton je tisti beton katerega transportiramo po tlačnih ceveh do mesta vgraditve in ga vgradimo z brizganjem. Pri tem načinu vgrajevanja betona, nanašamo beton s pomočjo stisnjene zrak. Površino betonske konstrukcije najprej očistimo in nahrapavimo. Pri brizganju betona se grobi delci betona odbijajo, cementno lepilo pa v nekaj sekundah na površini ustvari tanki, lepljivi film, na katerega se prilepi beton z grobimi delci. Brizgani beton združuje vgrajevanje in kompaktiranje v enem postopku

Mikroarmirani brizgani beton, je beton, ki je narejen iz cementov z drobnim ali z drobnim in grobim agregatom ter z nekontinuirnimi in nepovezanimi vlakni. Kontinuirne mreže, tkanine in dolge palice ne smatramo kot nepovezana vlakna. Armaturne palice oziroma mreže v beton vgrajujemo z namenom, da prevzamejo velike natezne napetosti in čeprav je uporaba vlaken namenjena izboljšanju natezne trdnosti in povečanju duktilnosti betona, je potrebno poudariti, da mikroarmatura v principu ne zamenjuje armature. Iz niza primerov je razvidno, da se največkrat dosežejo največji želeni efekti ravno s kombinacijo armature in mikroarmature.

Čeprav vmešavanje vlaken v svežo betonsko mešanico mnogokrat predstavlja določen tehnični problem in dodajanje beton podraži, pa se je pokazalo, da imajo mikroarmirani betoni in malte pred nemikroarmiranimi določene tehnološke in ekonomske prednosti. Zato se v svetu poraba mikroarmiranih malt in betonov povečuje. Uveljavili so se zlasti pri podzemnih gradnjah, pri sanacijah, pri proizvodnji betonski izdelkov in izgradnji objektov ali delov objektov, ki so v času eksploatacije izpostavljeni velikim upogibnim oziroma bočnim pritiskom, utrujanju ter udarcem in pri izgradnji objektov ali delov objektov, ki so močno obremenjeni z obrabo.

6 VIRI, LITERATURA

- [1] Andrej Štrukelj, Skripta za predavanje pri predmetu Tehnologija grajenja, Maribor, 2010
- [2] Pravilnik o tehničnih normativih za beton in armirani beton. Izdelala: Zveza gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije.
- [3] Samo Lubej, Mikroarmirani beton, seminarska naloga.
- [4] Miroslav Joska, Recepture za beton, Maribor 1997.
- [5] Gradbeniški priročnik, Ljubljana, 2008
- [6] IRMA – inštitut za raziskavo materialov in aplikacije, 1. slovenski kolokvij o betonih: Mikroarmirane malte in betoni, Ljubljana, maj 1994
- [7] IRMA – inštitut za raziskavo materialov in aplikacije, 2. slovenski kolokvij o betonih: Sanacije betonskih objektov, Ljubljana, maj 1995
- [8] IRMA – inštitut za raziskavo materialov in aplikacije, 9. slovenski kolokvij o betonih: Razpoke v betonu, Ljubljana, maj 2002
- [9] SIKA [online]. Stroji za brizganje betona in gradnjo predorov. Dostopno na naslovu:
<http://svn.sika.com/>
- [10] Design and control of concrete mixtures [online]. Cement, agregat. Dostopno na naslovu:
<http://www.scribd.com/doc/38044723/Design-and-Control-of-Concrete-Mixtures-PCA>
- [11] P. Sivec, Kemijski dodatki betonom, Zavod za tehnično izobraževanje inženirjev in tehnikov Slovenije. Ljubljana.
- [12] NORIK jeklena vlakna [online]. Dostopno na naslovu:
<http://www.norik.si/prodajni-program/norik-jeklena-vlakna>

7 PRILOGE

7.1 Seznam slik

Slika 1: shema suhega postopka brizganja betona (tanki tok transporta).....	15
Slika 2: shema mokrega postopka brizganja betona (tanki tok transporta).....	16
Slika 3: shema mokrega postopka brizganja betona (gosti tok transporta)	17
Slika 4: stroj za suho in mokro brizganje betona Aliva.....	18
Slika 5: zavarovanje stene gradbene jame z brizganim betonom.....	18
Slika 6: mikroarmirani beton z NORIK jeklenimi vlakni.....	26
Slika 7: FIBRILS polipropilenska vlakna.....	27
Slika 8: armirana brizgana betonska stena v predoru.....	29
Slika 9: akumulacijski bazen MHE Bača.....	33

7.2 Seznam tabel

Tabela 1: Klasifikacija agregatov po velikosti zrn.....	3
Tabela 2: Preiskave naravnega agregata, ki so predpisane s standardom	4
Tabela 3: Sestavine cementa za posamezne vrste.....	6
Tabela 4: Podatki o sestavi in lastnostih preiskanih mikroarmiranih betonov.....	32
Tabela 5: Podatki o delovnih diagramih prizem, obremenjenih na upogib.....	32

7.3 Naslov študenta

Gregor Trlep

Hajdoše 59 c

2288 Hajdina

Slovenija

7.4 Kratek življenjepis

Rojen: 1.7.1989, Maribor

Šolanje: 1996 – 2004 Osnovna šola Hajdina

2004 – 2008 II. gimnazija Maribor

2008 – 2012 Fakulteta za gradbeništvo Maribor, Univerza v Mariboru