

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Visokošolski strokovni študij  
gradbeništva, Smer operativno  
gradbeništvo

Kandidat:

**Aleš Brodnik**

# **TEHNOLOŠKI IN ORGANIZACIJSKI VIDIK GRADNJE Z MIKROARMIRANIMI BETONI Z JEKLENIMI VLAKNI**

**Diplomska naloga št.: 402**

**Mentor:**

doc. dr. Andrej Kryžanowski

**Somentor:**

dr. Jakob Šušteršič

Ljubljana, 2010

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Skladno s 27. členom Pravilnika o diplomskem delu UL Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, podpisani Aleš Brodnik izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

### **»TEHNOLOŠKI IN ORGANIZACIJSKI VIDIK GRADNJE Z MIKROARMIRANIMI BETONI Z JEKLENIMI VLAKNI«**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Noben del tega zaključnega dela ni bil uporabljen za pridobitev strokovnega naziva ali druge strokovne kvalifikacije na tej ali na drugi univerzi ali izobraževalni inštituciji.

Velika Loka, 15.11.2010

---



## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>624.012.45.002(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Aleš Brodnik</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Andrej Kryžanowski</b>
<b>Somentor:</b>	<b>dr. Jakob Šušteršič (IRMA, d.o.o.)</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Tehnološki in organizacijski vidik gradnje z mikroarmiranimi betoni z jeklenimi vlakni</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>96 strani, 10 preglednic, 68 slik, 3 priloge</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>mikroarmirani betoni, jeklena vlakna, tehnologija gradnje, primerjava gradnje, industrijski tlaki</b>

### **Izveček:**

Diplomsko delo je razdeljeno na uvod, pet vsebinskih poglavij in zaključke. V prvem vsebinskem poglavju je predstavljen razvoj uporabe posameznih vrst vlaken, primernih za ojačitev betonske strukture. V nadaljevanju smo se omejili na podrobnejšo predstavitev mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni. Tako so v drugem vsebinskem poglavju opredeljena jeklena vlakna, ki se uporabljajo za ojačitev betona, in opisani postopki njihove proizvodnje, njihove fizikalne in mehanske lastnosti ter vidiki uporabe. Obravnavani so vplivi betonu dodanih jeklenih vlaken na obdelovalnost sveže betonske mešanice in na pomembnejše mehanske lastnosti strjenega betona. V naslednjem vsebinskem poglavju so opisani tehnološki postopki gradnje z mikroarmiranimi betoni z jeklenimi vlakni, ki obsegajo projektiranje mikroarmiranih betonskih mešanic, postopke mešanja, vgrajevanje, zaključno obdelavo in nego ter zaščito površin. To poglavje je vsebinsko razdeljeno glede na vrste betonov, pri katerih se najpogosteje kot dodatek uporabljajo jeklena vlakna, in sicer so to vibrirani, brizgani, samozgoščevalni in prepaktirani betoni. V četrtem vsebinskem poglavju so predstavljena najpogostejša področja uporabe mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni v Sloveniji. V zadnjem vsebinskem poglavju je predstavljena primerjalna analiza treh variant izvedbe industrijskega tlaka iz mikroarmiranega betona, ki se razlikujejo v razdaljah med stiki, in varianto izvedbe klasično armiranega betonskega industrijskega tlaka. Primerjali smo stroške, izvedbo in kakovost obravnavanih industrijskih tlakov. Rezultati analize so pokazali vesplošno upravičenost gradnje z mikroarmiranim betonom z jeklenimi vlakni ob predpostavki, da je rokovanje z njimi pravilno izvedeno. Na koncu dela so zbrani zaključki.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 624.012.45.002(043.2)  
**Author:** Aleš Brodnik  
**Supervisor:** Assistant Profesor Ph.D. Andrej Kryžanowski  
**Co-Supervisor:** Ph.D. Jakob Šušteršič (IRMA, d.o.o.)  
**Title:** Technological and organizational aspect of steel fiber reinforced concrete construction  
**Notes:** 96 pages, 10 tables, 68 figures, 3 attachments  
**Key words:** fiber reinforced concrete, steel fibers, construction technology, construction comparison, industrial floors

### **Abstract:**

The present work is divided in an introduction, five substantive chapters and conclusions. The first substantive chapter represents development of the usage of separate sorts of fibers, suitable to reinforce the concrete structure. The rest of the chapter concentrates on the detailed presentation of steel fiber reinforced concrete. So in the second substantive chapter steel fibers that are used for reinforcing the concrete structure are defined, together with the production procedures, their physical and mechanical properties and aspects of usages. The work also deals with the influence of steel fibers added to concrete regarding the ready- mixed concrete as well as some more important mechanical features of solid concrete. The following chapter presents the technological procedures of steel fiber reinforced concrete constructing including design, mixing procedures, implanting, processing, care and protection. The chapter is substantively subdivided according to different types of concrete which more often integrate steel fibers such as vibrated, shotcrete, self- compacting and slurry- infiltrated types of concrete. Substantive chapter four concentrates on fiber reinforced concrete and its most common usage in Slovenia. The last substantive chapter brings a comparative study of three different versions of industrial floors based on steel fiber reinforced concrete and version based on classical reinforced concrete. The cost, practical completion as well as the quality were being compared in the study. Its results showed general justification of fiber reinforced concrete usage on the assumption of professional work performance. Conclusions are presented at the end.

## **ZAHVALA**

Mentorja tega dela sta bila doc. dr. Andrej Kryžanowski in dr. Jakob Šušteršič. Zahvaljujem se jima za vso strokovno pomoč, ki sta mi jo nudila pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvala gre tudi kolektivu inštituta IRMA, d.o.o., ki je vedno nudil odgovore na moja vprašanja in mi priskrbel veliko strokovne literature.

Hvala g. Igorju Štupniku in podjetju PRODING INŽENIRING, d.o.o., za strokovno pomoč pri izdelavi statičnega izračuna klasično armiranega betonskega industrijskega tlaka, ki je pomemben del diplomske naloge.

Boglonaj mami Kristini, očetu Tonetu in bratu Primožu, kateri so me tekom študija vzpodbujali, me vsesplošno podpirali in mi po najboljših močeh pomagali.



## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MIKROARMIRANI BETONI .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Razvoj uporabe vlaken v betonu.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Beton, ojačan z naravnimi vlakni .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Beton, ojačan z jeklenimi vlakni .....</b>	<b>5</b>
<b>2.4</b>	<b>Beton, ojačan s steklenimi vlakni.....</b>	<b>7</b>
<b>2.5</b>	<b>Beton, ojačan s sintetičnimi vlakni.....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>JEKLENA VLAJNA .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Opredelitev jeklenih vlaken .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Tipi jeklenih vlaken in metode proizvodnje .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3</b>	<b>Vidik uporabe različnih tipov jeklenih vlaken .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4</b>	<b>Vpliv betonu dodanih jeklenih vlaken na obdelovalnost sveže mikroarmirane betonske mešanice .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Plastifikatorji .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>Vpliv betonu dodanih jeklenih vlaken na pomembnejše mehanske lastnosti strjenega betona .....</b>	<b>21</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Tlačna trdnost.....</b>	<b>22</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Obnašanje pri upogibu.....</b>	<b>23</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Odpornost mikroarmiranega betona proti širjenju razpoke in žilavost .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5.4</b>	<b>Odpornost betona proti abrazijskemu delovanju z vodo nošenih delcev .....</b>	<b>26</b>
<b>3.5.5</b>	<b>Odpornost proti udarcem.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5.6</b>	<b>Odpornost proti utrujanju .....</b>	<b>28</b>
<b>3.5.7</b>	<b>Obnašanje pri krčenju .....</b>	<b>29</b>
<b>3.6</b>	<b>Vključitev jeklenih vlaken v cementno pasto .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Osnovni materiali .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Projektiranje mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni .....</b>	<b>31</b>
<b>3.6.2.1</b>	<b>Vpliv faktorja oblike (razmerje dolžina-premer) jeklenih vlaken na projektiranje mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni.....</b>	<b>33</b>



<b>4</b>	<b>TEHNOLOŠKI POSTOPKI GRADNJE Z MIKROARMIRANIMI BETONI Z JEKLENIMI VLAJNI</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Kratek uvod</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2</b>	<b>Vibrirani mikroarmirani betoni z jeklenimi vlakni</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Mešanje</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2.1.1</b>	<b>Doziranje vlaken na gradbišču v avtomešalnik</b> .....	<b>37</b>
<b>4.2.1.2</b>	<b>Doziranje vlaken v mešalnik na betonarni</b> .....	<b>39</b>
<b>4.2.1.3</b>	<b>Avtomatizirani dozirni sistemi jeklenih vlaken</b> .....	<b>40</b>
<b>4.2.1.4</b>	<b>Razlogi pojava kepanja jeklenih vlaken</b> .....	<b>42</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Vgrajevanje</b> .....	<b>43</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Obdelovanje površine</b> .....	<b>45</b>
<b>4.2.3.1</b>	<b>Dodatna obdelava površine</b> .....	<b>47</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Popravljanje napak</b> .....	<b>49</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Stiki</b> .....	<b>49</b>
<b>4.2.5.1</b>	<b>Prostorski stiki</b> .....	<b>49</b>
<b>4.2.5.2</b>	<b>Izolacijski stiki</b> .....	<b>50</b>
<b>4.2.5.3</b>	<b>Navidezni stiki (navidezne rege spojnice)</b> .....	<b>51</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Nega in zaščita</b> .....	<b>52</b>
<b>4.3</b>	<b>Mikroarmirani brizgani betoni z jeklenimi vlakni</b> .....	<b>53</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Projektiranje mikroarmiranih brizganih betonov z jeklenimi vlakni</b> .....	<b>53</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Mešanje in brizganje</b> .....	<b>55</b>
<b>4.3.2.1</b>	<b>Suhi postopek brizganja</b> .....	<b>55</b>
<b>4.3.2.1.1</b>	<b>Uporaba naprav, primernih za brizganje običajnih brizganih betonov</b> .....	<b>55</b>
<b>4.3.2.1.2</b>	<b>Uporaba prilagojene izhodne šobe</b> .....	<b>56</b>
<b>4.3.2.2</b>	<b>Mokri postopek brizganja</b> .....	<b>58</b>
<b>4.3.2.2.1</b>	<b>Uporaba naprav, primernih za brizganje običajnih brizganih betonov</b> .....	<b>58</b>
<b>4.3.2.2.2</b>	<b>Uporaba prilagojene izhodne šobe</b> .....	<b>59</b>
<b>4.4</b>	<b>Mikroarmirani prepaktirani betoni z jeklenimi vlakni</b> .....	<b>60</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Projektiranje mikroarmiranih prepaktiranih betonov z jeklenimi vlakni</b> .....	<b>61</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Vgrajevanje</b> .....	<b>62</b>
<b>4.5</b>	<b>Mikroarmirani samozgoščevalni betoni z jeklenimi vlakni</b> .....	<b>62</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Projektiranje mikroarmiranih samozgoščevalnih betonov z jeklenimi vlakni</b> .....	<b>63</b>

4.5.2	Mešanje.....	65
4.5.3	Vgrajevanje in obdelava površine.....	65
4.5.4	Nega .....	66
5	<b>UPORABA MIKROARMIRANIH BETONOV Z JEKLENIMI VLAJNI ..... 67</b>	
5.1	Uvod.....	67
5.2	Industrijski tlaki.....	67
5.3	Talne plošče na pilotih.....	68
5.4	Uporaba v stanovanjskih stavbah in podobnih objektih .....	69
5.5	Tankoslojne preplastitve iz mikroarmiranega betona visoke zmogljivosti kot hidroizolacijski obrabni sloj mostov .....	70
5.6	Prefabricirani betonski izdelki .....	72
5.6.1	Visokozmogljivi prednapeti železniški pragovi .....	72
5.6.2	Tanke prednapete plošče.....	73
5.6.3	Panelne plošče iz mikroarmiranega betona za podgrajevanje jamskih prehodov .....	74
5.7	Sanacije .....	75
5.9	Brizgane betonske obloge .....	77
6	<b>STROŠKOVNA, IZVEDBENA IN KAKOVOSTNA PRIMERJAVA INDUSTRIJSKEGA TLAKA, GRAJENEGA S KLASIČNO ARMIRANIM IN Z MIKROARMIRANIM BETONONOM Z JEKLENIMI VLAJNI ..... 79</b>	
6.1	Uvod.....	79
6.2	Osnovne predpostavke .....	79
6.3	Z jeklenimi vlakni mikroarmirani betonski industrijski tlak.....	80
6.3.1	Kriteriji kakovosti mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni.....	80
6.3.1.1	Kriteriji kakovosti za mikroarmiran beton pri velikosti polj stikov 20 x 12 m (brez navideznih reg spojníc).....	80
6.3.1.2	Kriteriji kakovosti za mikroarmiran beton pri velikosti polj stikov 12 x 10 m .....	80
6.3.1.3	Kriteriji kakovosti za mikroarmiran beton pri velikosti polj stikov 6 x 5 m .....	81
6.3.2	Sestava mikroarmiranega betona za predviden industrijski tlak.....	81

<b>6.3.2.1</b>	<b>Količina betonu dodanih jeklenih vlaken .....</b>	<b>82</b>
<b>6.4</b>	<b>Klasično armirani betonski industrijski tlak.....</b>	<b>84</b>
<b>6.4.1</b>	<b>Mrežna jeklena armatura .....</b>	<b>84</b>
<b>6.4.2</b>	<b>Razdalje med stiki (navideznimi regami spojnici) .....</b>	<b>84</b>
<b>6.5</b>	<b>Kalkulativni izračuni.....</b>	<b>85</b>
<b>6.6</b>	<b>Stroškovna primerjava.....</b>	<b>85</b>
<b>6.7</b>	<b>Izvedbena primerjava.....</b>	<b>87</b>
<b>6.8</b>	<b>Kakovostna primerjava.....</b>	<b>88</b>
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČKI.....</b>	<b>90</b>
	<b>VIRI.....</b>	<b>92</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

- Preglednica 1: Priporočena zrnavost agregata za mikroarmirane betone z jeklenimi vlakni (ACI Committee 544.1R in Bokan-Bosiljkov, 1996)
- Preglednica 2: Razmerja med sestavinami normalno težkih mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni (ACI Committee 544.1R in Bokan-Bosiljkov, 1996)
- Preglednica 3: Maksimalna količina betonu dodanih jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami v  $\text{kg/m}^3$  betona pri ročnem oziroma strojnem vgrajevanju mikroarmiranega betona (Scancem materials, 2010)
- Preglednica 4: Maksimalna količina betonu dodanih jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami v  $\text{kg/m}^3$  pri vgrajevanju mikroarmiranega betona z uporabo črpalke za beton (Scancem materials, 2010)
- Preglednica 5: Tipično območje sestave mešanice mikroarmiranega brizganega betona z jeklenimi vlakni pred izvedbo brizganja (Balaguru, Shah, 1992)
- Preglednica 6: Minimalna priporočena količina brizganemu betonu dodanih jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami (Scancem materials, 2010)
- Preglednica 7: Primerne sestave mikroarmiranih samozgoščevalnih betonskih mešanic (Miao, 2003)
- Preglednica 8: Informativne potrebne količine doziranja jeklenih vlaken (v  $\text{kg/m}^3$  betona) z zakrivljenimi konicami, dolžine 50 mm in premera 1 mm v beton, trdnosti C25/30, če hočemo z vlakni nadomestiti predpisano dvojno klasično armaturo v industrijskem tlaku ali talni plošči (Arcelormittal, 2010)
- Preglednica 9: Pregled opravljenih meritev z ugotovitvami (Šušteršič, 2008)
- Preglednica 10: Pregled uporabljenih receptur betonskih mešanic pri HE Vrhovo in HE Boštanj za  $1 \text{ m}^3$  betona (Kryžanowski, 2009)

## KAZALO SLIK

- Slika 1: Časovnica pojava različnih vrst vlaken za namene ojačitve betona
- Slika 2: Osnovni vzdolžni in prečni prerezi jeklenih vlaken
- Slika 3: Ena izmed naprav za izdelavo nekaterih zgoraj naštetih tipov oziroma oblik jeklenih vlaken
- Slika 4: Pridobivanje jeklenih vlaken z ekstrakcijo s taljenjem (levo) in končni izdelek (desno)
- Slika 5: Vodotopen zavoj jeklenih vlaken (levo) in vlakna v vodotopnih vrečah (desno)
- Slika 6: Najpogosteje uporabljana jeklena vlakna (od leve proti desni: valovita vlakna, rezana iz jeklene plošče; valovita vlakna, rezana iz hladno vlečene žice; vlakna z zakrivljenimi oziroma kolenastimi konicami, rezana iz hladno vlečene žice)
- Slika 7: Zaprto sidrišče vodi do zloma vlakna in do krhke porušitve, medtem ko pri vlaknu z zakrivljenimi konicami opazimo duktilno porušitev, pri kateri ne pride do zloma jeklenega vlakna
- Slika 8: Prikaz delovanja vlaken pri upogibnem nateznem preskusu (The university of Sheffield, 2010)
- Slika 9: Razmerja med posedom, določenim s stožcem, časom, določenim z obrnjenim stožcem, in vebe časom (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 10: Primerjava izgube poseda, določenega s stožcem, glede na pretekli čas od zamešanja mikroarmirane in primerljive običajne betonske mešanice (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 11: Primerjava izgube poseda, določenega s stožcem, glede na pretekli čas od zamešanja mikroarmirane in primerljive običajne betonske mešanice (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 12: Primerjava med posedom, določenim s stožcem in logaritmičnim vebe časom (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 13: Diagram napetost – deformacija v tlaku za betone normalne trdnosti, na obeh koncih zakrivljena jeklena vlakna, dolžine 50 mm (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 14: Vpliv količine betonu dodanih vlaken na diagram sila–upogib. Dolžina jeklenih vlaken je 50 mm, premer 0.5 mm, vlakna so z zakrivljenima konicama (Balaguru, Shah, 1992)

- Slika 15: Vpliv dolžine vlaken na diagram sila – upogib. Vsa jeklena vlakna so z zakrivljenimi konicami. Vlakna dolžine 30 in 50 mm so premera 0.5 mm, dolžine 60 mm pa premera 0.8 mm (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 16: Vpliv geometrije vlaken na diagram sila-upogib (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 17: Zmanjševanje in povečevanje ekvivalentne trdnosti v odvisnosti od širine razpoke, do širine razpoke 0.4 mm, glede na količino betonu dodanih vlaken (Šušteršič, 2008)
- Slika 18: Širine razpok ( $\check{S}R$ ), do katerih se računa ekvivalentna trdnost, v odvisnosti od vsebnosti vlaken v betonu, kateremu ocenjujemo odpornost proti širjenju razpoke (Šušteršič, 2008)
- Slika 19: Razmerje med izgubo mase pri abrazijski eroziji in časom izpostavljenosti za mikroarmirani in primerljivi običajni beton. Izjemoma vsebnosti jeklenih vlaken imata obe mešanici enako sestavo (Šušteršič, 2008)
- Slika 20: Primerjava udarne odpornosti pri starosti betona 28 dni. Jeklena vlakna so z zakrivljenimi konicami, faktor oblike je 100 (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 21: Primerjava maksimalne upogibne napetosti utrujanja s številom ciklov do razdora preskušanca za primerljivi običajen in mikroarmirani beton. Uporabljena vlakna so z zakrivljenimi konicami, dolžine 25 mm, premera 0.5 mm (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 22: Deformacije zaradi krčenja v odvisnosti od časa za običajen in mikroarmiran beton (Balaguru, Shah, 1992)
- Slika 23: Priporočeno razmerje med faktorjem oblike in minimalno količino betonu dodanih jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami (Scancem materials, 2010)
- Slika 24: Vpliv količine in dolžine betonu dodanih jeklenih vlaken na homogenost betonske strukture
- Slika 25: Prikaz ročnega sipanja jeklenih vlaken v boben avtomešalnika
- Slika 26: Jeklena vlakna po tekočem traku pridejo v boben avtomešalnika
- Slika 27: Vpihovanje jeklenih vlaken v boben avtomešalnika s puhali
- Slika 28: Tehnološki cikel možnosti dodajanja jeklenih vlaken v mešanico na betonarni in na gradbišču
- Slika 29: Avtomatizirani dozirni sistem jeklenih vlaken s posebno cilindrično napravo
- Slika 30: Avtomatizirani sistem doziranja vlaken v vodotopnih vrečah z dvigalom

- Slika 31: Vodotopni zavoj jeklenih vlaken (levo), verižno povezani zavoji (v sredi), magnetni transport verižnih zavojev v mešalec (desno)
- Slika 32: Shematski prikaz doziranja jeklenih vlaken v vodotopnih zavojih
- Slika 33: V iz industrijskega tlaka izrezanem valju se opazi kepa (gruda) jeklenih vlaken, kar predstavlja nehomogenost porazdelitve jeklenih vlaken v strjenem betonu
- Slika 34: Dejanska razporeditev oziroma segregacija jeklenih vlaken v strjenem betonskem valju, izrezanem iz industrijskega tlaka (levo) in segregacija grobega agregata v strjenem mikroarmiranem betonu, izrezanem iz industrijskega tlaka (desno)
- Slika 35: Vgrajevanje mikroarmiranega betona preko drče avtomešalnika (levo) in preko črpalke za beton (desno)
- Slika 36: Obdelava površine z vibracijskimi ravnalkami (levo), laserskimi gladili (v sredini) in kovinskimi gladilkami (desno)
- Slika 37: Shematski prikaz vakuumiranja betonske plošče
- Slika 38: Dve različni izvedbi rotacijskih gladil, imenovanih tudi helikopterji
- Slika 39: Izvedba nanosa mineralnega posipa (levo) in končan industrijski tlak z mineralnim posipom in dodatno obdelano površino (desno)
- Slika 40: Metličenje mikroarmirane betonske površine
- Slika 41: Korozija jeklenih vlaken, ki so do 5 mm pod površino, po 12 letih izpostavljenosti zunanjim vplivom v industrijskem okolju
- Slika 42: Ena izmed možnih variant izvedbe prostorskega stika
- Slika 43: Izvedba izolacijskega stika plošče s steno
- Slika 44: Prikaz izvedbe navideznih reg spojnic okoli stebrov
- Slika 45: Detajl navidezne rege spojnice in potek razpoke
- Slika 46: Izvedba rezanja navideznih reg spojnic (levo) in namestitev polnila (desno)
- Slika 47: Shematičen prikaz suhega postopka brizganja
- Slika 48: Sistem izhodne šobe primeren za suhi postopek brizganja mikroarmiranega brizganega betona z jeklenimi vlakni
- Slika 49: Shematičen prikaz mokrega postopka brizganja
- Slika 50: Avtomatiziran sistem za brizganje betona
- Slika 51: Sistem izhodne šobe primeren za mokri postopek brizganja mikroarmiranega betona

- Slika 52: Prikaz delovanja enega izmed dozatorjev jeklenih vlaken za dodajanje le-teh v sistemu izhodne šobe
- Slika 53: Prelom prizme iz prepaktiranega mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni
- Slika 54: Izlivanje redke cementne paste neposredno na jeklena vlakna v opažu
- Slika 55: Prepletjena jeklena vlakna, ki tvorijo gosto plast
- Slika 56: Prikaz vgrajevanja z jeklenimi vlakni mikroarmiranega samozgoščevalnega betona v opaž iz črpalke po metodi gravitacije (levo) in pod pritiskom (desno)
- Slika 57: Prikaz pozicije potrebne klasične armature
- Slika 58: Prikaz uporabe mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni v stanovanjskih stavbah (Bekaert, 2010)
- Slika 59: Površina preplastitve mostu čez Kokro pri sotočju z Rupovščico v Kranju (levo) in mostu čez Savo Bohinjko pri Mačkovcu (desno)
- Slika 60: Vpliv večje količine jeklenih vlaken (dodanih med mešanjem betona) na povečanje duktilnega obnašanja visozmogljivih mikroarmiranih betonov pri starosti 7 dni
- Slika 61: Vgrajeni visokozmogljivi mikroarmirani betonski pragovi na železniški progi Ljubljana–Postojna
- Slika 62: Ravne in v loku oblikovane tanke prednapete plošče v proizvodnem obratu (levo) in zgrajeni ločni most čez Sočo blizu Doblarja (desno)
- Slika 63: Shematičen prikaz načina obremenjevanja panelne plošče v laboratoriju (levo) in prikaz skupne dolžine vseh razpok A, B, C v odvisnosti od obtežbe (desno) (Šušteršič, 2008)
- Slika 64: Vodni rov Drtijiščica. Notranja obloga: paneli širine 75 cm in debeline 12 cm
- Slika 65: Izvedba brizgane obloge s klasično armiranim brizganim betonom (levo) in z mikroarmiranim brizganim betonom z jeklenimi vlakni (desno)
- Slika 66: Prikaz izvedbene primerjave gradnje obloge predora z mikroarmiranim in klasično armiranim brizganim betonom (Krampe Harex, 2010)
- Slika 67: Prikaz stroškov razčlenjenih betonskih in armiranobetonskih del za klasično armiran betonski industrijski tlak in za mikroarmiran tlak z različnimi velikostmi polj stikov
- Slika 68: Deležni prikaz pomembnejših izboljšav, ki jih prinaša gradnja z mikroarmiranim betonom z jeklenimi vlakni glede na gradnjo s klasično armiranim betonom za obravnavani industrijski tlak





## 1 UVOD

Beton je zaradi svojih številnih dobrih lastnosti, med katerimi izstopata velika tlačna trdnost in relativno nizka cena, v svetu eden najpogosteje uporabljenih gradbenih materialov. Ostale mehanske lastnosti betona so v primerjavi s tlačno trdnostjo znatno slabše in njegovo uporabnost pogosto omejujejo, vendar pa jih lahko s primernimi ukrepi izboljšamo. Eden od ukrepov za izboljšanje mehanskih lastnosti so v svežo betonsko mešanico dodana vlakna, ki so lahko anorganskega ali organskega izvora.

Prvotni namen uporabe vlaken v tehnologiji betona je bil izboljšati njegove natezne in upogibne trdnosti, saj je veljalo prepričanje, da vlakna ovirajo nastanek nateznih razpok in povečujejo natezno trdnost. Poznejše raziskave so to tezo ovrgle in pokazale, da se natezne trdnosti mikroarmiranega betona sicer bistveno ne razlikujejo od običajnih betonov, se pa pri mikroarmiranemu betonu znatno poveča sposobnost prevzemanja deformacij, kar razširja področja uporabe tovrstnih betonov.

Danes se v tehnologiji priprave mikroarmiranih betonov uporabljajo naravna, steklena, sintetična in jeklena vlakna. V okviru diplomskega dela bomo večjo pozornost namenili mikroarmiranim betonom z jeklenimi vlakni, saj so koristi in možnosti njihove uporabe, v primerjavi z ostalimi vrstami vlaken, največje. V nalogi bomo obravnavali tipe jeklenih vlaken, ki se danes največ uporabljajo v tehnologiji priprave mikroarmiranih betonov, opisali postopke proizvodnje, fizikalne in mehanske lastnosti ter vidike uporabe. Obravnavali bomo tudi lastnosti mikroarmiranih betonov z vidika obdelovalnosti sveže betonske mešanice in primerjali vplive dodatka jeklenih vlaken na pomembnejše mehanske lastnosti strjenega betona, kot so: tlačna trdnost, upogibna trdnost, odpornost proti širjenju razpok, žilavost, odpornost proti abrazijskemu delovanju z vodo nošenih delcev, odpornost proti udarcem in utrujanju ter obnašanje pri krčenju.

V nadaljevanju bomo opisali tehnološke postopke gradnje z mikroarmiranimi betoni z jeklenimi vlakni, ki obsegajo projektiranje mikroarmiranih betonskih mešanic, postopke

mešanja in vgrajevanja, zaključno obdelavo in nego ter zaščito površin. Opisali bomo tudi različne postopke izvedbe in področja uporabe jeklenih vlaken pri izvedbi specialnih betonov (brizgani betoni, somozgoščevalni betoni, prepaktirani betoni).

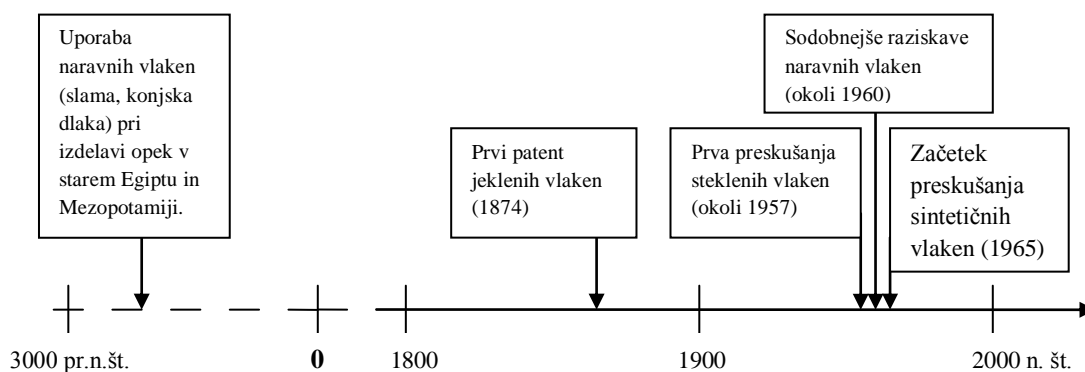
Mikroarmirani betoni so v primerjavi z običajnimi betoni tehnološko in logistično izjemno zahtevni. Predvsem zaradi dejstva, da imajo mikroarmirani betoni v primerjavi z običajnimi betoni izboljšane mehanske lastnosti, se vse bolj uveljavljajo v svetu in to na področjih, kjer pridejo do izraza njihove nesporne prednosti in sicer pri: podzemskih gradnjah, sanacijah, proizvodnji prefabriciranih betonskih izdelkov in izgradnji objektov ali delov objektov, ki so v času eksploatacije izpostavljeni velikim upogibnim obremenitvam, utrujanju, obrabi in udarcem. Najpogosteje pa se mikroarmirani betoni z jeklenimi vlakni uporabljajo pri gradnji industrijskih tlakov.

V okviru praktičnega dela diplomske naloge bomo izvedli primerjalno analizo gradnje mikroarmiranega in klasično armiranega betonskega industrijskega tlaka, v kateri bomo primerjali stroške, način in kakovost izvedbe. Pri izvedbi tlakov iz mikroarmiranega betona bomo medsebojno primerjali različne načine izvedbe z opredelitvijo različnih velikosti razdalj med stiki.

## 2 MIKROARMIRANI BETONI

### 2.1 Razvoj uporabe vlaken v betonu

Človek je krhke materiale že od nekdanj ojačeval z vlakni. V 3. tisočletju pred našim štetjem so tako v starem Egiptu in Mezopotamiji kot osnovni gradbeni material uporabljali iz slame in blata izdelano opeko, posušeno na soncu in zraku. Konjske dlake so uporabljali za ojačitev malte. Konec devetnajstega stoletja je razvoj prinesel azbestna vlakna, kar je povzročilo velik razcvet proizvodnje in uporabe azbestnocementnih izdelkov po vsem svetu. Predvsem zaradi ugotovljenega škodljivega vpliva azbestnih vlaken na zdravje so se v šestdesetih in sedemdesetih letih dvajsetega stoletja pojavile alternativne vrste vlaken.



Slika 1: Časovnica pojava različnih vrst vlaken za namene ojačitve betona

Mikroarmiran beton (MAB), kot imenujemo z vlakni ojačan beton, je kompozitni material, narejen predvsem iz hidravličnega cementa, agregata in vlaken. To je torej običajen beton, ojačan z vlakni. Vlakna, primerna za ojačitev betona, so lahko narejena iz jekla, stekla in sintetičnih ter naravnih materialov. V splošnem dolžina vseh vrst vlaken za uporabo v mikroarmiranem betonu ne presega 76 mm, maksimalen premer vlaken pa je 1 mm. Vlaknasti betonski kompoziti so bili in bodo razvijani za namen izboljšanja mehanskih lastnosti sicer krhkih materialov.

Prednosti z vlakni ojačanega betona v primerjavi z betonom brez vlaken so:

- duktilna porušitev kot posledica postopnega izvlečenja in pretrganja vlaken,
- povečana natezna, strižna in torzijska trdnost ter odpornost proti abraziji,
- bistveno povečana upogibna trdnost, žilavost, odpornost proti udarni obtežbi in odpornost proti utrujanju,
- trajnost objekta ali proizvoda, grajenega iz mikroarmiranega betona, in
- preprečitev pojava velikih razpok.

Na lastnosti svežega betona, ojačanega z vlakni, najbolj vpliva:

- razmerje med dolžino in premerom vlaken,
- geometrija vlaken,
- količina vlaken v betonu,
- lastnosti stika med vlakni in cementnim kamnom,
- razmerja sestavin betona.

Za uspešno uporabo mikrovlaken v betonu je nujno poznavanje njihovih mehanskih in fizikalnih lastnosti ter njihov vpliv na mehanske in druge karakteristike betona. Pred odločitvijo uporabe mikroarmiranega betona je potrebno preučiti njeno smotrnost s tehnološkega, pa tudi ekonomskega vidika. Uporaba mikroarmiranega betona je smotrna tedaj, ko prinaša korist v primerjavi z drugo alternativno rešitvijo izvedbe gradnje oziroma izdelave betonskega elementa.

## **2.2 Beton, ojačan z naravnimi vlakni**

Beton, ojačan z naravnimi vlakni, je vrsta kompozita, ki je na svetu poznana najdlje. Vendar znanost ni posvečala pozornosti temu načinu uporabe naravnih vlaken vse do šestdesetih let dvajsetega stoletja. V tem obdobju so bile opravljene raziskave, ki so pokazale, da se betonu dodana naravna vlakna lahko uporabljajo za izdelavo tankih cementnih plošč, primernih za izdelavo stenskih in strešnih elementov. Kljub temu da so bili pridobljeni rezultati raziskav

vzpodbudni, so se problemi pojavili v obstojnosti takih izdelkov. V današnjem času potekajo raziskave, namenjene izboljšanju obstojnosti betonov, ojačanih z naravnimi vlakni.

Naravna vlakna, s katerimi je mogoče ojačati betonsko strukturo, se pridelujejo iz naslednjih rastlin: trsja, konoplje, jute, trpotca, kokosa, sladkornega trsa, lana, sisala, bambusa, slonove trave in iz dreves (les).

Naravna vlakna se delijo na surova in obdelana. Surova vlakna so na voljo v relativno velikih količinah povsod po svetu, njihovo pridobivanje pa je enostavno in poceni. Obdelana vlakna se pridobiva iz drevesnih stebel na tri načine: mehanski, kemični in polkemični. Mehanski način pridobivanja vlaken se izvaja z drobljenjem lesa. Na ta način pridobljena vlakna se uvrščajo med surova naravna vlakna. Kemični način pridobivanja vlaken se izvaja s kuhanjem na kocke razrezanega lesa v bazični raztopini. Tako se razgradi snov, ki drži vlakna skupaj. Pri polkemičnem načinu se kose lesa najprej kuha v bazični raztopini, nato pa še mehansko drobi, da se pridobi vlakna. Obdelana vlakna so veliko obstojnejša kot neobdelana, saj se s kuhanjem v bazični raztopini razgradi snov, ki je občutljiva na bazičnost cementnega kamna.

Beton, ojačan z naravnimi vlakni, se v sedanosti uporablja predvsem pri tradicionalnih gradnjah. Naravna vlakna so po vsem svetu dostopna v velikih, obnovljivih količinah, njihovo pridobivanje pa je razmeroma enostavno. Zaradi ekološke in ekonomske sprejemljivosti se njihova uporaba počasi širi.

Pri uporabi betona, ojačanega z naravnimi vlakni, je potrebno upoštevati, da so vlakna prisotna v različnih dolžinah in premerih in v prisotnosti vlage nabreknejo. Glukoza v vlaknih zavira vezanje cementa. Za preprečitev delovanja bakterij se priporoča zaščita vlaken z organskimi mikrobiocidi.

### **2.3 Beton, ojačan z jeklenimi vlakni**

Leta 1874 je bil v Kaliforniji prijavljen prvi patent o izboljšanju lastnosti betona z dodajanjem granuliranega odpadnega železa. Prvemu patentu so sledili novi patenti, ki so kot novost

predstavili različne oblike železnih delcev za dodajanje svežemu betonu v smislu mikroarmature. Od leta 1910 so izvajali eksperimentalne poskuse s ciljem izboljšati lastnosti betona. Pri tem so uporabljali žeblice in jeklene ostružke. V zgodnjih šestdesetih letih dvajsetega stoletja so bile v ZDA opravljene prve obsežne raziskave o vplivu betonu dodanih jeklenih vlaken na lastnosti betona, s katerimi so določili potencialne možnosti uporabe z jeklenimi vlakni ojačanega betona. Od takrat se razvoj zaradi potenciala jeklenih vlaken in nešteti možnosti kombiniranja različnih oblik le-teh še danes nadaljuje po vsem svetu.

V Sloveniji so se izkušnje z uporabo betona, ojačanega z jeklenimi vlakni, začele pridobivati pri gradnji hidroelektrarne Vrhovo, ki je prva v verigi savskih hidroelektarn. Takrat so se izdelale študije abrazijsko odpornih mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni. Na splošno so uporabljeni z jeklenimi vlakni mikroarmirani betoni izpolnili zahtevo glede abrazijske odpornosti, kar je bilo potrjeno z meritvami obrabe betonskih površin. Problematičnost njihove uporabe pa se je pokazala pri pripravi mešanic v betonarni in še posebej pri vgrajevanju ter zagotavljanju kvalitetnega stika med primarnim betonom in mikroarmirano betonsko oblogo. Na Vrhovem so ustvarili poskusna polja na lokaciji prelivnih polj, na podlagi katerih so prišli do poglobitvenih spoznanj, in uvedli primerne postopke vgrajevanja in mešanja mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni.

Jeklena vlakna so dostopna v najrazličnejših oblikah in so lahko narejena z rezanjem hladno vlečene žice in jeklene plošče, z brušenjem jeklenih klad in z ekstrakcijo s taljenjem. Postopek proizvodnje pomembno vpliva na ceno, mehanske in fizikalne lastnosti ter na namen končne uporabe jeklenih vlaken.

Za projektiranje betona, ojačanega z jeklenimi vlakni, obstaja več pristopov. V osnovi so to postopki za projektiranje z navadnim betonom, ki upoštevajo natezno trdnost z vlakni ojačanega kompozita. Ker pa je v praksi nemogoče zagotoviti enakomerno razporeditev vlaken po betonskem elementu in s tem izključiti možnost lokalne oslabitve, se priporoča konzervativen pristop k projektiranju, in sicer naj natezne napetosti v natezno ali upogibno obremenjenih elementih v celoti prevzame klasična armatura.

Dobra kvaliteta in ekonomičnost gradnje z mikroarmiranimi betoni z jeklenimi vlakni zahteva kontrolo mešanja, vgradnje in obdelave površine, saj ob neprimernem rokovanju z njimi vlakna v sveži betonski mešanici tvorijo kepe (grude). To vodi v nehomogenost porazdelitve vlaken v mešanici in posledično v neizpolnjevanje zahtevanih kriterijev gradnje s takim mikroarmiranim betonom. V splošnem je vsa oprema, potrebna za izdelavo, transport in vgradnjo običajnih betonov, uporabna tudi za mikroarmirane betone z jeklenimi vlakni.

Beton, ojačan z jeklenimi vlakni, ima prednost pred običajno armiranimi betoni, saj ima veliko možnosti končne uporabe. Prednostno se uporablja za primarne obloge predorov, stabilizacije skalnatih pobočij in rudniških rovov, talne plošče, industrijske tlake, estrihe, za tankoslojne preplastitve voziščnih konstrukcij, prefabricirane betonske elemente, za ognjevzdržne omete, kjer prisotnost klasične armature ni pogoj za varnost in integriteto konstrukcijskih elementov. V teh primerih lahko z uporabo jeklenih vlaken dosežemo izboljšanje mehanskih lastnosti elementov, zmanjšanje prereza elementa, znižanje stroškov in skrajšanje časa gradnje. Samostojno ali v kombinaciji s klasično armaturo se uporablja tudi pri gradnji pasovnih temeljev, temeljnih talnih plošč, industrijskih tlakov, kletnih, zunanjih in notranjih sten, bazenov, skratka povsod, kjer se uporabljajo klasično armirani betoni.

## **2.4 Beton, ojačan s steklenimi vlakni**

Uporabnost betona, ojačanega s steklenimi vlakni, je bila prvič preskušana v poznih petdesetih letih dvajsetega stoletja v Rusiji. Pri teh raziskavah so uporabili cement, vodo in dve vrsti stekla: borosilikatno ali natrij-kalcijevo. Ugotovili so, da taka vlakna hitro izgubijo svojo trdnost zaradi visoke bazičnosti cementnega kamna ( $\text{pH} \geq 12,5$ ). Zaradi tega so znanstveniki leta 1967 začeli z razvojem alkalno odpornega stekla, ki se ga pridobi z dodajanjem cirkonijevega dioksida. To je steklenim vlaknom omogočilo obstojnost v cementnem kamnu. S pričetkom komercialne uporabe v sedemdesetih letih dvajsetega stoletja so začeli dodajati tudi agregat, najprej v razmerju agregat – cement 1 proti 3, nato pa zaradi prevelikega krčenja elementov tudi 2 proti 1 in 1 proti 1. Stekljena vlakna so prvič komercialno uporabili leta 1974, in sicer pri fasadnih oblogah. S steklenimi vlakni ojačan



beton je bil sprva najbolj popularen v Evropi, nato pa se je njegova uporaba razširila po vsem svetu.

Steklena vlakna se za uporabo v betonu pridobiva s taljenjem mešanice silicijevega dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), apnenca in cirkonijevega dioksida ( $\text{ZrO}_2$ ). Taljenje se izvaja v posebnih pečeh pri  $1400\text{ }^\circ\text{C}$ . Steklo talino se nato vleče skozi drobne šobe in tako nastanejo vlakna. Na vlakna se nato nanaša posebne prevleke in veziva, s katerimi se vlakna vežejo v niti. Te prevleke in veziva so za različne namene uporabe v betonu prirejena tako, da imajo niti boljše mehanske lastnosti in je z vlakni ojačana betonska mešanica lažje obdeljiva.

Uporaba betona, ojačanega s steklenimi vlakni, najpogosteje obsega proizvodnjo prefabriciranih elementov, izdelavo estrihov, nosilnih industrijskih tlakov in fasadnih ometov. Steklena vlakna se velikokrat uporabljajo tudi pri brizganih betonih in sanacijskih maltah.

Večina komercialno dostopnih betonov, ojačanih s steklenimi vlakni, ima slabost, ki omejuje njihovo uporabo, in to je tendenca, da z leti in izpostavljenostjo vremenskim pojavom izgubljajo natezno in upogibno trdnost ter duktilnost, ki je njihova najpomembnejša značilnost. Za to obstajata dve razlagi. Po prvi naj bi bazičnost cementnega kamna vplivala na steklena vlakna tako, da ta izgubijo natezno trdnost, posledično pa jo izgubi tudi z vlakni ojačana betonska struktura. Po drugi razlagi, ki je bolj sprejeta, pa naj bi izpostavljenost vremenu oziroma neposredno vodi omogočala nadaljnjo hidratacijo cementa, katere produkti nato zapolnijo praznine med fibrili vlaken in okolico in tako občutno povečajo sprijemno vez med vlakni in cementnim kamnom. To pa zmanjšuje možnost izvlečenja vlaken oziroma vodi v natezno porušitev vlaken in posledično v krhko obnašanje z vlakni ojačane betonske strukture. Obstaja pa tudi možnost sočasnega delovanja obeh vplivov s tem, da eden prevladuje.

Steklena vlakna v betonu ne nadomestijo statično potrebne klasične armature. Nižje dozacije steklenih vlaken ( $0,6\text{ kg/m}^3$ ) preprečujejo pojav razpok zaradi krčenja betona, poleg tega pa se pridobi pravilnejšo, bolj gladko površino. Z višjimi dozacijami ( $5\text{--}10\text{ kg/m}^3$ ) se poveča udarna in upogibna trdnost betona ter se izboljša odpornost proti abraziji.

## 2.5 Beton, ojačan s sintetičnimi vlakni

Leta 1965 se je pojavilo zanimanje za uporabo sintetičnih vlaken v betonu. Sintetična vlakna so se prvič uporabila pri gradnji eksplozivno in požarno odpornega objekta za potrebe ameriške vojske. Geometrija in oblika takrat uporabljenih sintetičnih vlaken je bila enaka geometriji in obliki do takrat preskušanih jeklenih in steklenih vlaken. Bila so dolžine 13 do 25 mm, razmerje med dolžino in premerom vlaken pa je bilo med 50 in 100. Pri gradnji tega objekta so ugotovili, da dodatek 0,5 % prostorninskega deleža sintetičnih vlaken v betonu, kolikor se je tedaj štelo za malo, pomembno izboljša duktilnost in udarno odpornost betonske strukture. Od tega je minilo 15 let, preden so se pojavile obsežnejše raziskave s sintetičnimi vlakni ojačanega betona. Prve komercialne uporabe betona, ojačanega s sintetičnimi vlakni, so se kasneje pojavile v poznih sedemdesetih letih devetnajstega stoletja.

Nadaljnji razvoj sintetičnih vlaken izhaja iz razvoja petrokemične in tekstilne industrije. Danes poznamo naslednje tipe sintetičnih vlaken, ki se uporabljajo za ojačevanje betona: akrilna vlakna, armidna vlakna, karbonska vlakna na osnovi poliakrilonitrila, karbonska vlakna na osnovi petroleja in premoga, vlakna iz najlona, vlakna iz poliestra, vlakna iz polietilena in vlakna iz polipropilena.

Akrilna, armidna in polietilenska vlakna se primarno uporabljajo kot nadomestilo azbestnih vlaken. Karbonska vlakna so se izkazala za primerna v zelo širokem spektru uporabe v betonu, vendar njihovo uporabo tako kot uporabo armidnih vlaken omejuje visoka cena. Vlakna iz poliestra se v beton dodajajo zato, da se omeji širjenje razpok zaradi plastičnega krčenja. Polipropilenska vlakna se uporabljajo zaradi vpliva na zgodnje trdnosti, s čimer se olajša manipulacija z gotovimi betonskimi izdelki. Uporabljajo se tudi zaradi njihovega izginjanja pri visokih temperaturah, kar povzroči nastanek sistema drobnih kanalov v betonski strukturi, s pomočjo katerih lahko vplivamo na spremembe toplote in vlage v betonskem elementu. Polipropilenska vlakna imajo nizko prostorninsko maso, hidrofobno površino, ki ne absorbira vode, in so kemično inertna. Slabe lastnosti teh vlaken so nizek modul elastičnosti, slaba sprijemljivost s cementnim kamnom, gorljivost in nizko tališče. Zaradi nizke cene se polipropilenska vlakna izmed vseh sintetičnih vlaken najpogosteje uporabljajo za ojačevanje

betona. Veliko se uporabljajo pri izdelavi talnih plošč, estrihov, ometov, prefabriciranih betonskih elementov, bazenov in ognjevzdržnih objektov.

Podatki v Poglavju 2 so povzeti po ACI Committee 544.1R. in Balaguru, Shah (1992).

### 3 JEKLENA VLAKNA

#### 3.1 Opredelitev jeklenih vlaken

Jeklena vlakna, namenjena uporabi v mikroarmiranih betonih in maltah, so kratka vlakna, narejena iz visokotrdnih jekel, ki običajno vsebujejo nizko vrednost ogljika. Razmerje med dolžino in premerom (faktor oblike) jeklenih vlaken je običajno med 20 in 100 ter so zadostno majhna, da se enakomerno razporedijo v sveži betonski mešanici. Tipična dolžina jeklenih vlaken znaša 6–75 mm. Lahko so kvadratnega, pravokotnega, krožnega, polkrožnega ali trikotnega preseka. Na tržišču so prisotna tudi vlakna iz nerjavečega jekla ali z različnimi prevlekami, kot je cink in baker, kar preprečuje korozijo jeklenih vlaken.

Trdnost, trdota in sposobnost sprijemanja s cementnim kamnom so pomembne lastnosti jeklenih vlaken. Sprijemljivost jeklenih vlaken s cementnim kamnom je med drugim odvisna od grobosti površine vlaken, njihove oblike in razmerja dolžina–premer. Jeklena vlakna imajo visoko natezno trdnost, ki je običajno 1000–2000 Mpa in modul elastičnosti, ki je običajno 160000–210000 Mpa. Povprečna gostota jekla, iz katerega so narejena, je 7850 kg/m<sup>3</sup>.

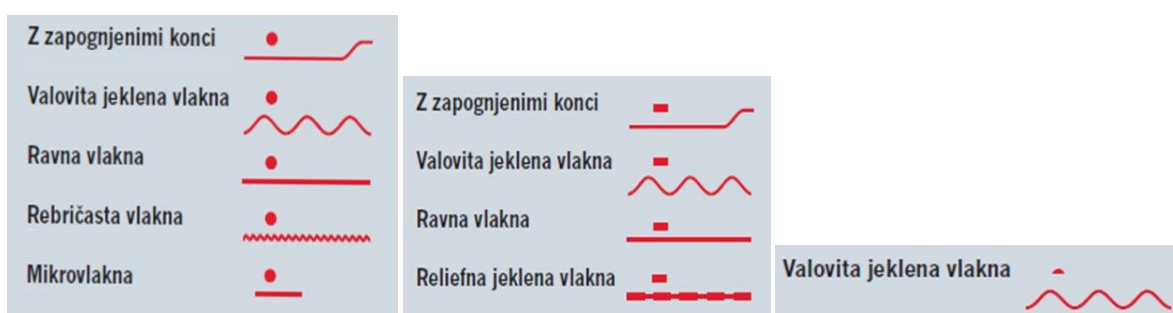
V uporabi je produktni standard SIST EN 14889-1:2006, v katerem so navedeni postopki, število potrebnih odvzetih preskušancev in časovni ter količinski intervali za prvo tipsko preizkušanje in nadaljnjo kontrolo proizvodnje. Opis vlaken mora vsebovati dolžino, premer, faktor oblike, natezno trdnost, skupino v katero vlakna spadajo in obliko. V primeru premazov in prevlek jeklenih vlaken mora biti količina in vrsta premaza označena.

Produktni standard opredeljuje definicije, specifikacije in skladnost jeklenih vlaken. Vlakna uvršča v pet glavnih skupin glede na način proizvodnje:

- Skupina 1: rezanje hladno vlečene žice
- Skupina 2: rezanje jeklene plošče
- Skupina 3: ekstrakcija s taljenjem
- Skupina 4: skubljenje hladno vlečene žice
- Skupina 5: brušenje jeklenih klad

### 3.2 Tipi jeklenih vlaken in metode proizvodnje

Najboljše mehanske lastnosti mikroarmiranega betona se pridobi z uporabo čim daljših jeklenih vlaken. Vendar je proces doziranja vlaken v betonsko mešanico in mešanja mikroarmirane mešanice z zelo dolgimi vlakni, brez tvorjenja kep (grud) vlaken, praktično nemogoč. Oblika vlaken lahko nekoliko pripomore k uporabi daljših jeklenih vlaken, predvsem pa ima pomembno vlogo pri sprejemljivosti vlaken s cementnim kamnom, kar zelo vpliva na mehanske lastnosti strjenega mikroarmiranega betona. Zato so na tržišču prisotne številne različne oblike jeklenih vlaken (Slika 2).



Slika 2: Osnovni vzdolžni in prečni prerezi jeklenih vlaken

Ravna jeklena vlakna krožnega prereza so proizvedena z rezanjem hladno vlečene jeklene žice. Tipična žica ima premer 0.25–1.00 mm. Sploščena in ravna vlakna imajo tipično debelino 0.15–0.64 mm in širino 0.25–2.03 mm. Proizvedena so z rezanjem jeklene plošče ali s sploščevanjem hladno vlečene jeklene žice. Stroški takšne proizvodnje so visoki, zato so taka jeklena vlakna, še posebno krožnega prereza, najdražja.

Zgubana in drugače deformirana vlakna so proizvedena z gubanjem, spiralnim zvijanjem ali drugačnim deformiranjem površine po celi dolžini vlaken ali z razširjanjem, ukrivljanjem ali drugim oblikovanjem samo obeh koncev vlaken. Takšna jeklena vlakna so lahko krožnega, kvadratnega ali trikotnega prereza.

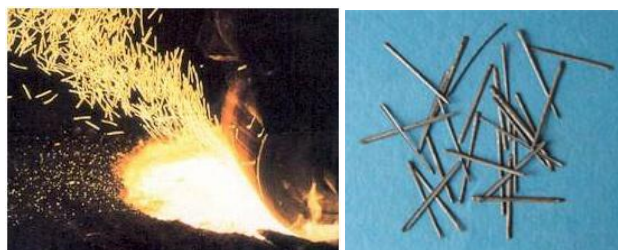
Na tržišču so prisotna tudi jeklena vlakna, proizvedena s strojnim procesom, s katerim se proizvajajo podolgovati jekleni okruški po postopku skubljenja hladno vlečene žice ali

brušenja jeklenih klad. Ta vlakna so površinsko neenakomerna, groba in imajo polkrožni presek.



Slika 3: Ena izmed naprav za izdelavo nekaterih zgoraj naštetih tipov oziroma oblik jeklenih vlaken

Jeklena vlakna so proizvedena tudi z ekstrakcijo s taljenjem. Ta metoda uporablja posebni vrteči valj, ki se dotika staljene kovinske površine, dviguje tekočo kovino in jo hitro strdi v obliko vlaken. Hitrost vrtenja valja določa dolžino jeklenih vlaken (Slika 4). Tako pridobljena vlakna imajo neenakomerno površino in polkrožen presek. Stroški njihove proizvodnje so relativno majhni.



Slika 4: Pridobivanje jeklenih vlaken z ekstrakcijo s taljenjem (levo) in končni izdelek (desno)

Nekatera jeklena vlakna, najpogosteje okroglega prereza z zakrivljenimi konicami, so zaradi lažjega rokovanja z njimi pri doziranju v betonsko mešanico zlepljena v snopih. Ta vlakna v snope veže vodotopno lepilo, ki med mešanjem betonske mešanice razpade, in tako se snopi vlaken ločijo v individualna vlakna. Z uporabo vlaken v snopih se možnost pojava kepanja vlaken v betonski mešanici praktično izniči. Izboljšanje se kaže tudi v enakomernjši porazdelitvi jeklenih vlaken v mešanici. Zaradi visoke cene vlaken v snopih se v te lepi

predvsem vlakna, ki imajo faktor oblike (razmerje debelina-premer) 50 in več, saj je uporaba individualnih vlaken, ki imajo faktor oblike nad 50, v betonu težko izvedljiva.

Iz potrebe po čim hitrejšem, varnem, natančnem, učinkovitem in avtomatiziranem doziranju jeklenih vlaken v betonsko mešanico so se na tržišču pojavila jeklena vlakna, pakirana v verižno povezane zavoje, ki so izdelani iz vodotopnih materialov. V vsakem zavoju je 250 g jeklenih vlaken (Slika 5). Jeklena vlakna so lahko v vodotopnih vrečah pakirana tudi v večjih količinah (10–50 kg). Najpogostejša embalaža jeklenih vlaken pa je v obliki kartonastih škatel ali papirnatih vreč.



Slika 5: Vodotopen zavoj jeklenih vlaken (levo) in vlakna v vodotopnih vrečah (desno)

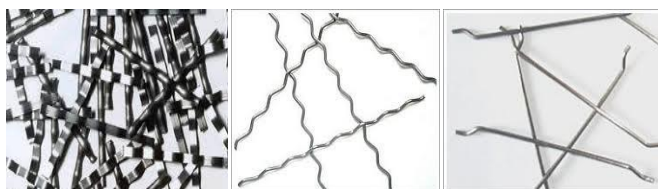
### 3.3 Vidik uporabe različnih tipov jeklenih vlaken

Popolnoma ravna, gladka, nedeformirana vlakna se zaradi slabe sprijemljivosti s cementnim kamnom danes skorajda več ne uporabljajo, saj se s takimi vlakni lahko pridobi učinkovit stik med cementnim kamnom in vlakni šele pri visokem faktorju oblike (razmerje dolžina-premer vlaken), večjem od 100. Pri tako visokem faktorju oblike vlaken je zaradi težnje po prepletanju in tvorjenju kep vlaken, kar pomeni neenakomerno porazdelitev vlaken v mešanici, solidna izdelava betonske mešanice praktično nemogoča.

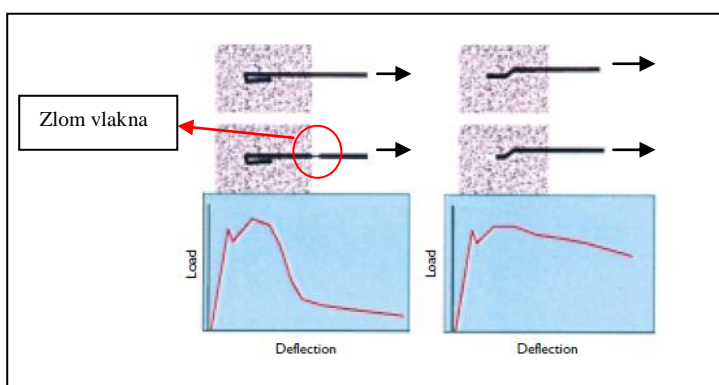
Deformirana vlakna omogočajo boljše vsidranje vlaken v cementnem kamnu, kar pomeni, da potrebujemo za predpisano duktilnost betonske strukture manjši prostorninski delež vlaken, vlakna pa so lahko krajša.

Najpogosteje uporabljena so jeklena vlakna s kolenastimi oziroma zakrivljenimi konicami, izdelana po postopku rezanja hladno vlečene žice. Ta vlakna pripomorejo k visoki duktilnosti

porušitve mikroarmiranega betona (Slika 7). Predvsem pri gradnji industrijskih tlakov, talnih plošč in estrihov se uporabljajo valovita vlakna, proizvedena z rezanjem jeklene plošče. Vlakna, proizvedena z ekstrakcijo s taljenjem, so korozivno odporna in se uporabljajo pri ojačitvi ognjevdržnih betonov. Seveda pa so določene oblike vlaken primerne za pridobitev določenih specifičnih lastnosti mikroarmiranega betona. Zato se v uporabi pogosto pojavlja kombinacija različnih vrst in tipov vlaken v betonu. Na ta način se doseže optimalne lastnosti elementa, grajenega iz mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni, glede na namen končne uporabe tega elementa. V specialnem okolju, kot so zelo velike temperaturne spremembe, je zahtevana uporaba galvaniziranih vlaken ali vlaken iz nerjavečega jekla. V običajnem okolju pa so jeklena vlakna varna pred korozijo, saj se nahajajo v alkalnem okolju cementnega kamna.



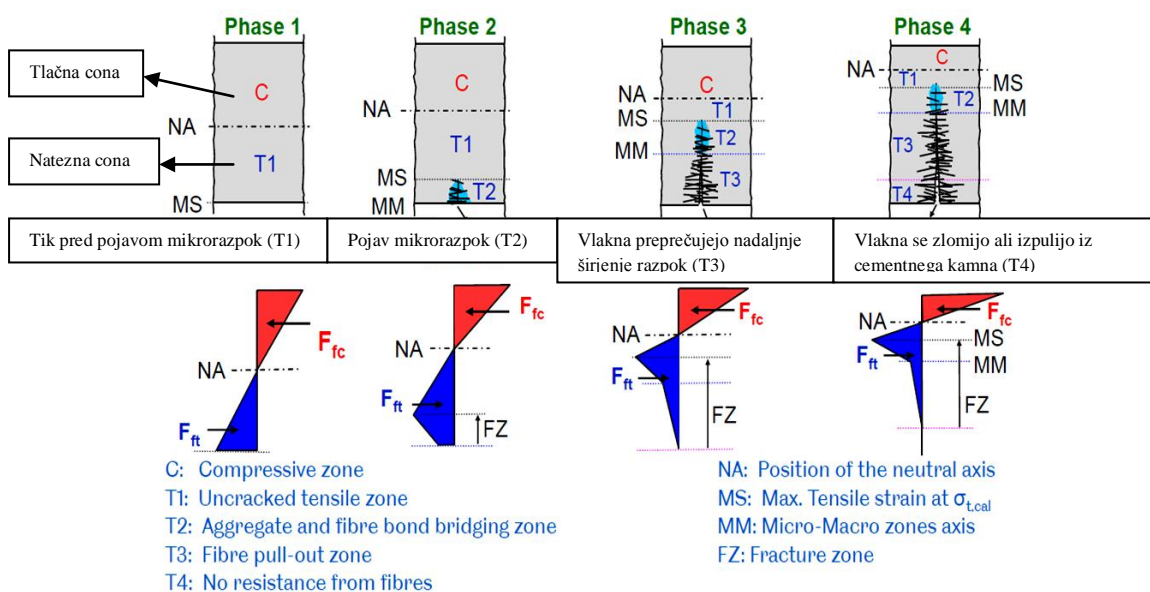
Slika 6: Najpogosteje uporabljana jeklena vlakna (od leve proti desni: valovita vlakna, rezana iz jeklene plošče; valovita vlakna, rezana iz hladno vlečene žice; vlakna z zakrivljenimi oziroma kolenastimi konicami, rezana iz hladno vlečene žice)



Slika 7: Zaprto sidrišče vodi do zloma vlakna in do krhke porušitve, medtem ko pri vlaknu z zakrivljenimi konicami opazimo duktilno porušitev, pri kateri ne pride do zloma jeklenega vlakna



Beton pri določeni obremenitvi razpoka, vloga vlaken pa je prenašanje obremenitev po pojavu mikrorazpok in omejevanje nadaljnjega širjenja razpok, kar se najbolje ponazori s prikazom delovanja vlaken pri upogibnem nateznem preskusu (Slika 8). Posebej pomembna je pri tem dobra sprijemna trdnost med vlakni in cementnim kamnom, ki je odvisna od sestave cementnega kamna, geometrije vlaken in lastnosti njihove površine. Povečanje odpora na porušitev ali žilavost je izražena z velikostjo deformacijskega dela, ki ga predstavlja površina pod diagramom obtežba–upogib. Različne oblike jeklenih vlaken nekoliko različno pripomorejo k sprijemni trdnosti med vlakni in cementnim kamnom ter posledično k žilavosti betonske strukture. V splošnem se te razlike lahko premosti s prilagajanjem količine betonu dodanih vlaken. Zato o uporabi določene oblike jeklenih vlaken v praksi največkrat odloča njihova cena.



Slika 8: Prikaz delovanja vlaken pri upogibnem nateznem preskusu (The university of Sheffield, 2010)

### 3.4 Vpliv betonu dodanih jeklenih vlaken na obdelovalnost sveže mikroarmirane betonske mešanice

Dodatek jeklenih vlaken v beton zmanjšuje obdelovalnost sveže betonske mešanice. Faktorji, ki vplivajo na konsistenco in posledično na obdelovalnost betona, so v padajočem redu: vodocementno razmerje, vsebnost dodatkov za izboljšanje obdelavnosti in znižanje

vodocementnega razmerja (plastifikatorji in superplastifikatorji), količina vlaken in medsebojna količinska razmerja vseh prej naštetih.

V nadaljevanju so našteje najpomembnejše merske metode za določitev konsistence betona, ki so potrebne za oceno obdelavnosti in za kontrolo količine vode v sveži mikroarmirani betonski mešanici.

- Meritev poseda s stožcem:

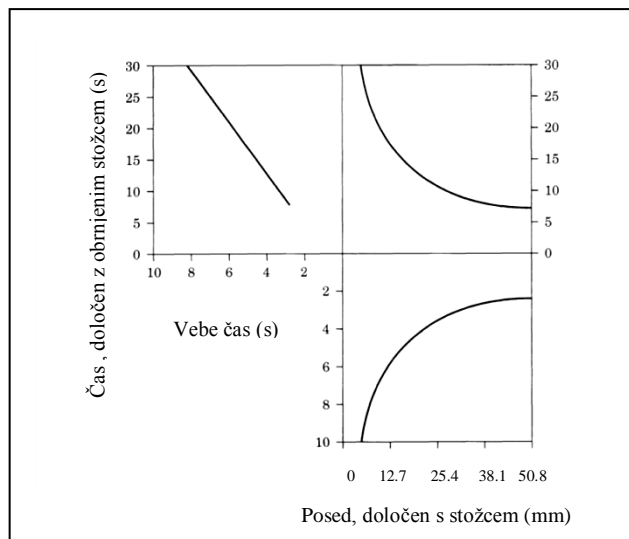
Ta metoda je opisana v standardu SIST EN 12350-2 in je najbolj splošno uporabna za oceno obdelavnosti. To meritev se lahko izvede za mikroarmiran beton z jeklenimi vlakni samo, če vrednost poseda preseže 50 mm. Lahko se uporablja tudi za spremljanje konsistence mikroarmiranega betona med različnimi serijami le-tega.

- Meritev poseda z obrnjenim stožcem (Inverted slump cone test):

Ta metoda je razvita posebej za mikroarmirani beton, in sicer za določanje sposobnosti tečenja. V Sloveniji ni standardizirana, opisana pa je v ameriškem standardu ASTM C995. Ta preskus ni primeren za mešanice z več kot 100 mm poseda, določenega s stožcem, saj bi mešanica skozi odprtino stožca stekla prehitro. Za take tekoče mešanice je primeren standardni preskus poseda s stožcem po standardu SIST EN 12350-2. Prednost preskusa z obrnjenim stožcem pred preskusom poseda, določenim s stožcem, je ta, da upošteva mobilnost betona, ki nastane zaradi vpliva vibracij.

- Meritev vebe časa:

Ta metoda je opisana v standardu SIST EN 12350-3:2001. Vebe konsistometer meri obnašanje betona, ki je podvržen zunanjim vibracijam. Ta preskus ni primeren za na teren tako kot preskus z obrnjenim stožcem ali meritev poseda s stožcem zaradi velikosti in teže merskih instrumentov.



Slika 9: Razmerja med posedom, določenim s stožcem, časom, določenim z obrnjenim stožcem, in vebe časom (Balaguru, Shah, 1992)

Slika 9 kaže podoben odnos med posedom, pridobljenim v statičnih pogojih preskusa s stožcem, in med časom pretoka pod vplivom vibracij. Slika prikazuje tudi linearno razmerje, ki predstavlja sorazmernost med časom, določenim z obrnjenim stožcem, in vebe časom. To kaže na to, da oba preskusa, pri katerem so prisotne vibracije, pokažeta enake karakteristike sveže betonske mešanice. Večji kot je čas pretoka pri metodi z obrnjenim stožcem in vebe čas, manjši je posed, določen s stožcem. Tipično je, da je čas pretoka pri preskusu z obrnjenim stožcem večji kot vebe čas.

Natančna narava razmerij, prikazanih na Sliki 9, se bo razlikovala od mešanice do mešanice v odvisnosti od maksimalnega zrna agregata in zrnavostne sestave, volumskega razmerja vlaken v mešanici, tipa in oblike vlaken, razmerja premer–dolžina vlaken in vsebnosti zraka v mešanici.

Preskus z obrnjenim stožcem se lahko uporablja za primerjavo mikroarmiranih betonskih mešanic s primerljivimi običajnimi mešanicami s podobnimi velikostmi posedov, določenih s stožcem. Raziskave so pokazale, da tudi če je posed, določen s stožcem, mikroarmirane in običajne betonske mešanice enak, je obdelavnost mikroarmirane betonske mešanice pod vplivom vibracij veliko boljša. Za pridobitev enakega poseda, določenega s stožcem,

mikroarmirane in običajne betonske mešanice, je pogosto pri mikroarmiranih mešanicah potrebno glede na običajno mešanico zmanjšati maksimalno velikost zrna agregata.

Z večanjem količine betonski mešanici dodanih vlaken se njena obdelavnost na pogled zmanjšuje, saj postaja bolj gosta in toga. Vendar je ob uporabi vibratorjev pri vgrajevanju take mešanice njena obdelavnost zadovoljiva.

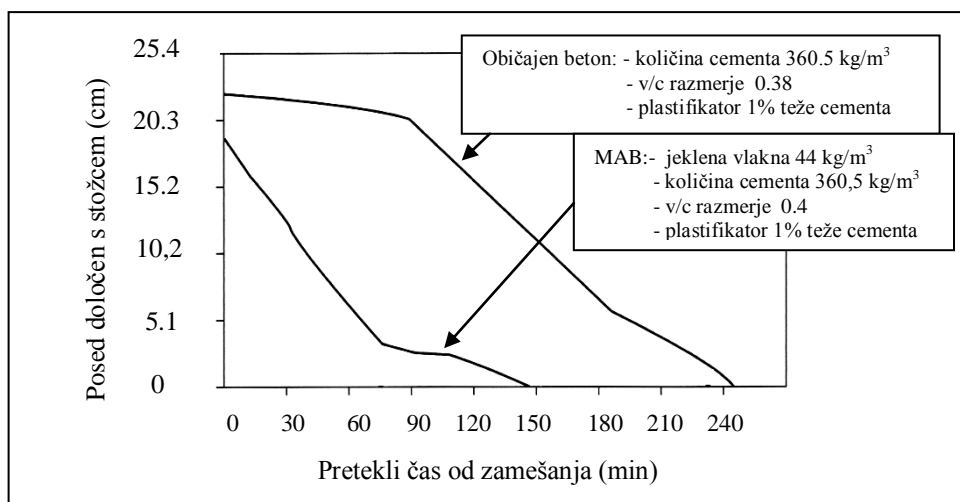
Uporaba daljših vlaken z grobo površino v betonski mešanici povzroči večje zmanjšanje obdelovalnosti mešanice.

Pri količini betonu dodanih jeklenih vlaken  $32\text{--}60\text{ kg/m}^3$  mešanice imajo vlakna zelo majhen vpliv na obdelovalnost, če se kot dodatek mikroarmirani betonski mešanici uporabi plastifikatorje ali superplastifikatorje (Balaguru, Shah, 1992).

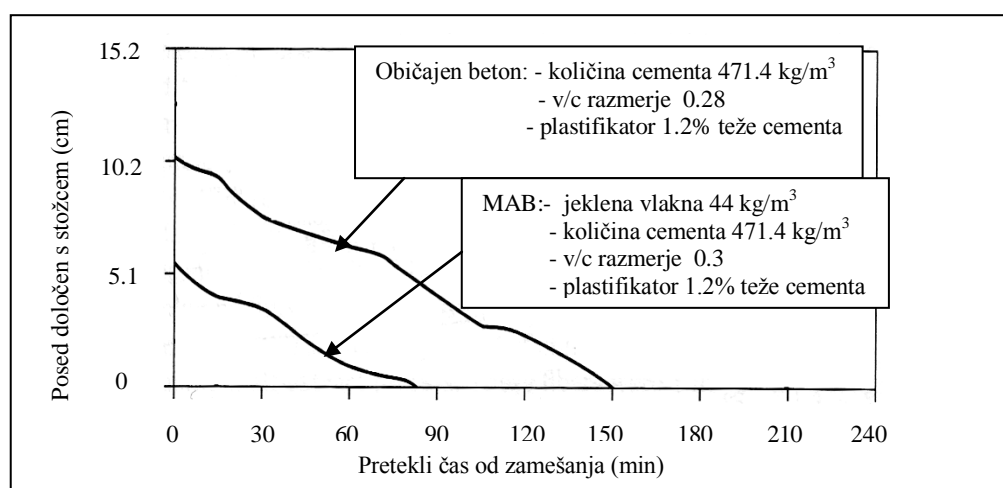
### **3.4.1 Plastifikatorji**

Vključitev jeklenih vlaken v betonsko strukturo zmanjša obdelavnost sveže betonske mešanice. Zato so obvezni kemijski dodatek pri mikroarmiranih betonih postali plastifikatorji in superplastifikatorji. Z njimi se izboljša plastičnost betona in s tem poveča njegovo obdelavnost ter zmanjšuje vodocementno razmerje.

Izguba obdelovalnosti mikroarmiranega betona s časom je splošen problem na gradbišču. Več ko je v betonu prisotnega plastifikatorja, večja je izguba obdelovalnosti betona s časom, ker kemični dodatki s časom izgubljajo učinkovitost. Pomemben padec obdelovalnosti se kaže po 30 do 60 minutah (Slika 10 in Slika 11). Zaradi manjše začetne konsistence mikroarmirani betoni hitreje izgubljajo obdelovalnost kot primerljivi običajni betoni. Zato je še posebej pomembno, da vgrajevanje in obdelava površine mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni poteka zvezno, brez daljših zastojev in je opravljena v čim krajšem možnem času.

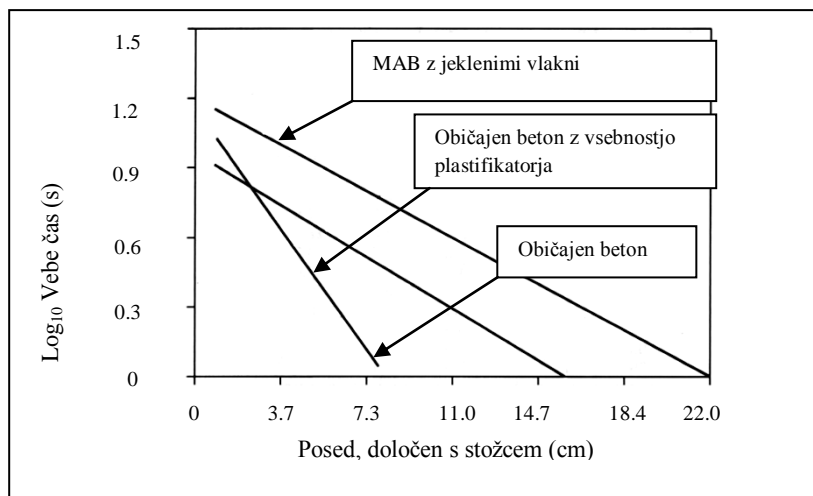


Slika 10: Primerjava poseda, določenega s stožcem, glede na pretekli čas od zamešanja mikroarmirane in primerljive običajne betonske mešanice (Balaguru, Shah, 1992)



Slika 11: Primerjava izgube poseda, določenega s stožcem, glede na pretekli čas od zamešanja mikroarmirane in primerljive običajne betonske mešanice (Balaguru, Shah, 1992)

Količina plastifikatorja v betonski mešanici pomembneje vpliva na vebe čas kot na poseda, določen s stožcem, ker je plastifikator mnogo učinkovitejši pod vplivom vibracij. Količina mikroarmiranemu betonu dodanega plastifikatorja ima dvakrat večji vpliv na vebe čas kot vodocementno razmerje in kar dvajsetkrat večji vpliv kot količina betonu dodanih jeklenih vlaken. Količina betonu dodanih vlaken pa ima desetkrat manj vpliva na vebe čas, kot ga ima vodocementno razmerje.



Slika 12: Primerjava med posedom, določenim s stožcem in logaritmičnim vebe časom (Balaguru, Shah, 1992)

Padanje poseda, določenega s stožcem, se izraža v logaritmičnem povečanju vebe časa. Mikroarmiran beton je bolj koheziven pod vplivom vibracij kot primerljivi običajen beton. Pri gostih mikroarmiranih in primerljivih običajnih mešaninah, s posedom, določenim s stožcem, manj kot 3.7 cm, so razlike v vebe času minimalne (Slika 12).

Na obdelavnost mikroarmirane betonske mešanice, vgrajevane in zgoščevane pod vplivom vibracij, bolj kot količina dodanih vlaken vpliva količina plastifikatorja in vodocementno razmerje mešanice. Zato se z ustrežno količino plastifikatorja, ki je praviloma večja kot pri običajnih betonih, in z ustreznim vodocementnim razmerjem relativno enostavno pridobi ustrezno obdelovalnost mikroarmirane betonske mešanice z jeklenimi vlakni (Balaguru, Shah, 1992).

### 3.5 Vpliv betonu dodanih jeklenih vlaken na pomembnejše mehanske lastnosti strjenega betona

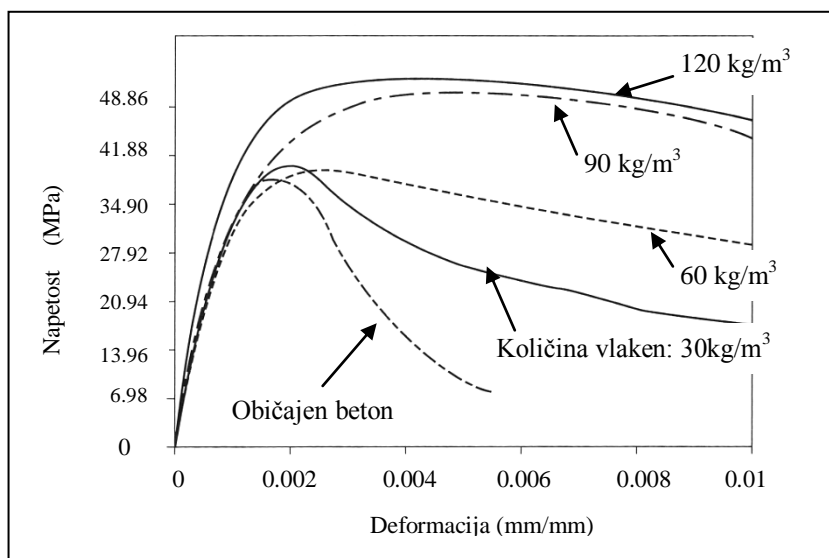
Med pomembnejše lastnosti strjenega mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni, zaradi katerih je v splošnem odpornejši od običajnega betona, spadajo: tlačna trdnost, upogibna

trdnost, odpornost proti širjenju razpoke in žilavost, odpornost proti abrazijskem delovanju z vodo nošenih delcev, obnašanje pri krčenju, odpornost proti udarcem in odpornost proti utrujanju.

### 3.5.1 Tlačna trdnost

Metoda določanja tlačne trdnosti betona je opisana v standardu SIST EN 12390-3. Z jeklenimi vlakni v betonu lahko dosežemo do 25 % večjo tlačno trdnost v primerjavi z običajnimi betoni. Pri prostorninskem deležu dodanih jeklenih vlaken, manjšim od 2 %, za betone normalnih trdnosti pa je povečanje tlačne trdnosti zaradi vlaken zanemarljivo za vse namene projektiranja. Razlika v modulu elastičnosti, v primerjavi z običajnimi betoni, je zanemarljiva. Po drugi strani pa vlakna pripomorejo k zelo povečani duktilnosti betona (Slika 13). Mikroarmiran beton lahko absorbira veliko več energije pred zlomom v primerjavi z običajnimi betoni.

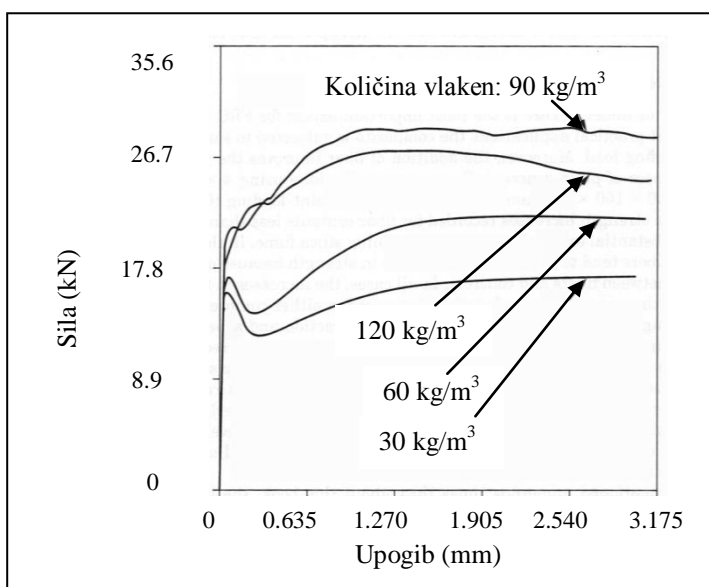
S povečevanjem količine in razmerja dolžina – premer betonu dodanih jeklenih vlaken se povečuje duktilnost mikroarmiranega betona (Balaguru, Shah, 1992).



Slika 13: Diagram napetost – deformacija v tlaku za betone normalne trdnosti, na obeh koncih zakrivljena jeklena vlakna, dolžine 50 mm, rezana iz hladno vlečene žice (Balaguru, Shah, 1992)

### 3.5.2 Obnašanje pri upogibu

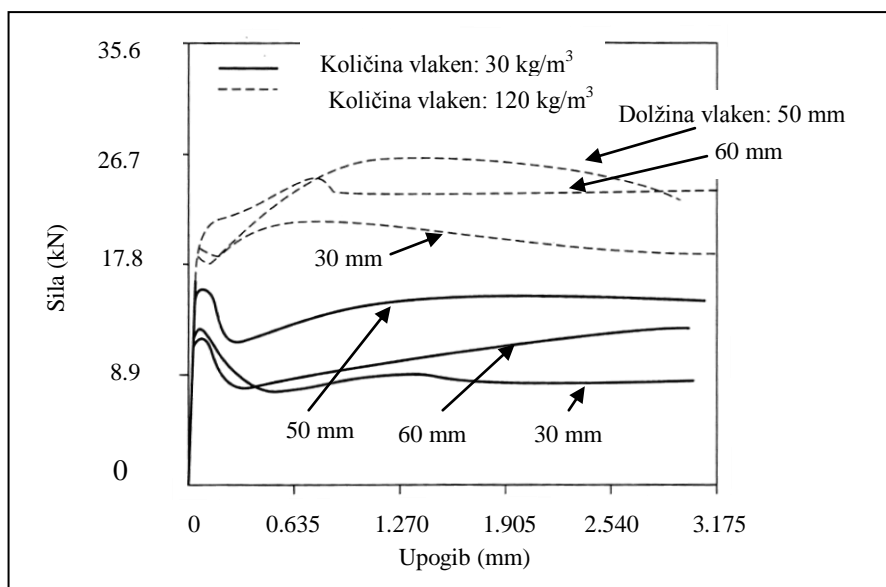
Metoda določanja upogibne trdnosti strjenega betona je opisana v standardu SIST EN 12390-5. Obnašanje pri upogibu je najpomembnejša lastnost mikroarmiranega betona, ker je le-ta pri večini uporabe podvržen upogibnim obtežbam. Dodana jeklena vlakna izboljšajo upogibno trdnost betona. Za betone, ki vsebujejo manj vlaken kot  $90 \text{ kg/m}^3$  betona, se povečanje upogibne trdnosti zaradi vlaken ne sme upoštevati pri projektiranju konstrukcijskih elementov. Faktorji, ki vplivajo na upogibno trdnost mikroarmiranega betona, so: tip vlaken, geometrija vlaken, količina vlaken v betonu in sestava betonske strukture.



Slika 14: Vpliv količine betonu dodanih vlaken na diagram sila–upogib. Dolžina jeklenih vlaken je 50 mm, premer 0.5 mm, vlakna so z zakrivljenima konicama (Balaguru, Shah, 1992)

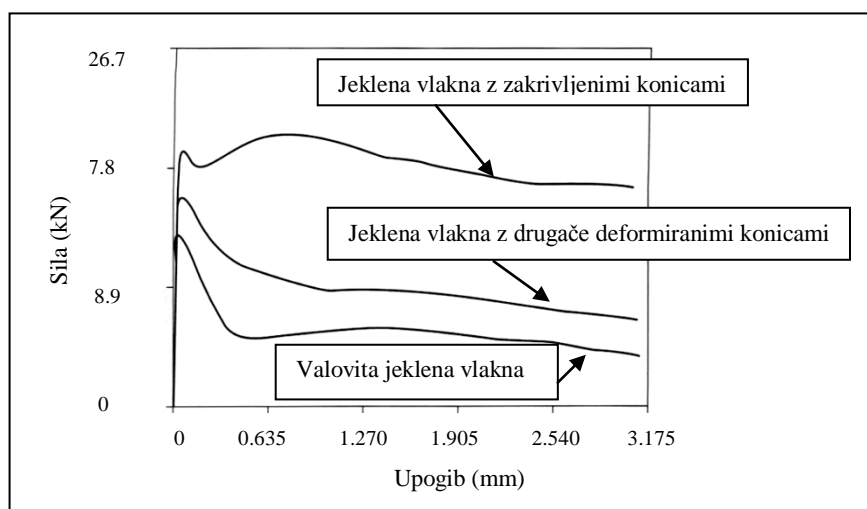
Izboljšanje v kapaciteti absorbirane energije pri količini betonu dodanih vlaken do  $30 \text{ kg/m}^3$  betona je veliko večje kot pri nadaljnjem večanju količine dodanih vlaken. Pri količini dodanih vlaken 30 in  $60 \text{ kg/m}^3$  betona se pojavi padec krivulje kmalu po prvem lomu. Velikost padca se zmanjšuje s povečevanjem količine betonu dodanih vlaken. S povečevanjem količine vlaken se povečuje žilavost mikroarmiranega betona (Slika 14).





Slika 15: Vpliv dolžine vlaken na diagram sila – upogib. Vsa jeklena vlakna so z zakrivljenimi konicami, rezana iz žice. Vlakna dolžine 30 in 50 mm so premera 0.5 mm, dolžine 60 mm pa premera 0.8 mm (Balaguru, Shah, 1992)

Z daljšimi vlakni, z višjim razmerjem dolžina – premer vlaken se dosega povečevanje upogibne trdnosti in kapacitete absorbirane energije. V praksi velikokrat uporabljena jeklena vlakna so dolžine 50 mm, z zakrivljenimi konicami, izdelana iz hladno vlečene žice, saj se z njimi doseže visoko upogibno trdnost betona, kar prikazujeta Slika 15 in Slika 16 (Balaguru, Shah, 1992).



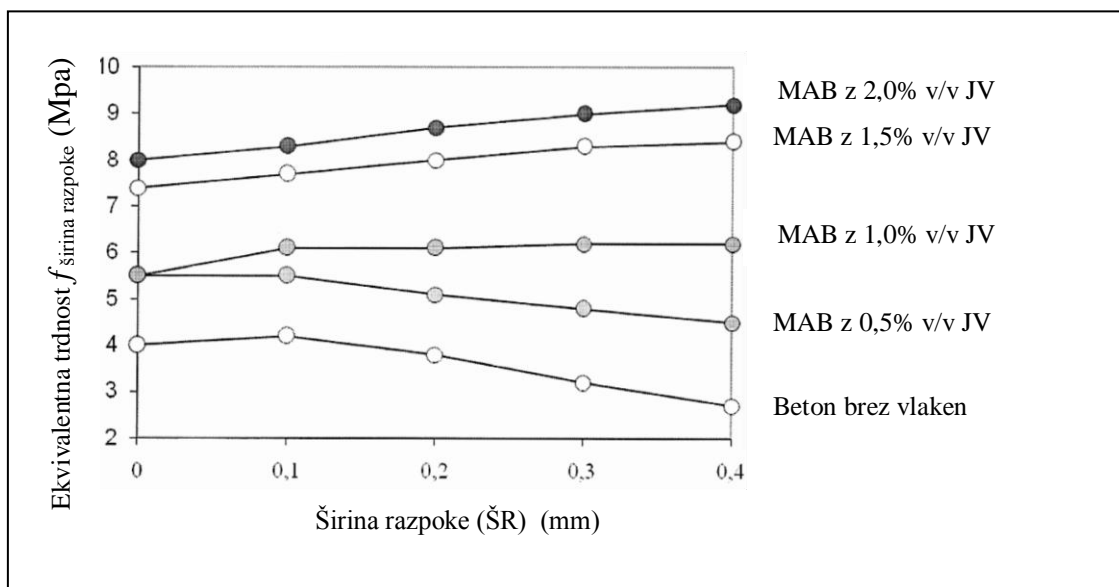
Slika 16: Vpliv geometrije vlaken na diagram sila-upogib (Balaguru, Shah, 1992)

### 3.5.3 Odpornost mikroarmiranega betona proti širjenju razpoke in žilavost

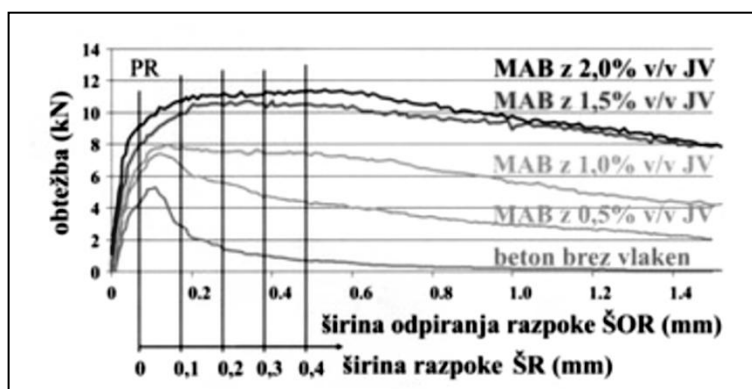
Preskus odpornosti betona proti širjenju razpoke se izvaja z metodo, imenovano cepitev z zagozdo, ki ponazarja stabilne lomno mehanske preskuse betonov. Je dokaj nova metoda in je nadomestila metodo tritočkovnega preskusa na zarezani prizmi, razvila pa sta jo Linsbauer in Tschegg (1986). Preskus cepitve z zagozdo torej lahko enačimo s tritočkovnim upogibnim preskusom, vendar prihaja pri medsebojnih primerjavah rezultatov obeh metod preskusov tudi do 15 % odstopanja.

Preskus se izvaja na kocki z robom 15 cm in globino zareze 5 cm. Preskušanca z izrezanim pravokotnim žlebom in z zarezo na dnu žleba položimo na ravno linijsko podporo v tlačno stiskalnico. Prenosna dela, ki sta vložena v žleb, povzročata cepitev preskušanca z vtiskanjem klina. Po prvi razpoki, ko obremenitev še traja, se notranja energija sprošča s povečevanjem dolžine in širine razpoke. V mikroarmiranem betonu vlakna premoščajo razpoko in ji ne dopuščajo nadaljnega širjenja. Zato se v mikroarmiranem betonu absorbira energija, kar pomeni, da se žilavost povečuje. Površina pod diagramom obtežba – širina odpiranja razpoke (ŠOR) je merilo za absorbirano energijo betona (Slika 18). To žilavost lahko uporabimo za določitev ekvivalentne trdnosti do izbrane širine razpoke. Zato lahko odpornost betona proti širjenju razpoke merimo z ekvivalentno trdnostjo. Ekvivalentno trdnost določimo na osnovi povprečne obtežbe in predstavlja indeks žilavosti. Beton bo imel večjo odpornost proti širjenju razpoke do izbrane širine razpoke, če bo imel večjo ekvivalentno trdnost do te širine razpoke. Pri širjenju razpoke se ekvivalentne trdnosti povečujejo s povečevanjem količine dodanih jeklenih vlaken (Slika 17).

V splošnem se v izračunu za namene dimenzioniranja in določitve količine dodanih vlaken v betonu upošteva ekvivalentna trdnost betona do širine razpoke 0.2 mm, ker v splošnem take razpoke niso nevarne in niso estetsko moteče. Ena bolj pomembnih lastnosti mikroarmiranega betona v primerjavi s krhkimi običajnimi betoni je torej povečanje žilavosti in duktilnosti (Šušteršič, 2008).



Slika 17: Zmanjševanje in povečevanje ekvivalentne trdnosti v odvisnosti od širine razpoke, do širine razpoke 0.4 mm, glede na količino betonu dodanih vlaken (Šušteršič, 2008)



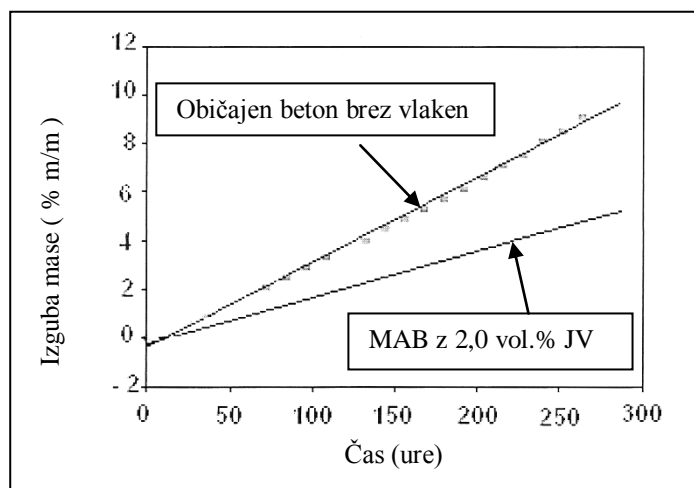
Slika 18: Širine razpok (ŠR), do katerih se računa ekvivalentna trdnost, v odvisnosti od vsebnosti vlaken v betonu, kateremu ocenjujemo odpornost proti širjenju razpoke (Šušteršič, 2008)

### 3.5.4 Odpornost betona proti abrazijskemu delovanju z vodo nošenih delcev

Preskus odpornosti betona proti abrazijskemu delovanju z vodo nošenih delcev se izvaja na preskušancu krožne oblike s premerom 29.5 cm. Preskušanec se vstavi v jekleno cilindrično posodo. Voda, ki zaradi vrtenja mešala kroži, nosi po površini betonskega preskušanca jeklene brusne kroglice, s čimer povzroča abrazijo. Preskus traja 72 ur, izgubo mase

preskušanca pa se meri vsakih 12 ur (Slika 19). Metoda preskusa je standardizirana v ZDA (ASTM C1138).

Z betonu dodanimi jeklenimi vlakni je izguba mase s časom manjša v primerjavi z običajnimi betoni (Slika 19). Ko je mikroarmiran beton izpostavljen abrazijski eroziji, sprva tem silam kljubuje le površinska malta, nato pa tudi jeklena vlakna. Boljšo odpornost proti abrazijski eroziji se pridobi z uporabo mehkejših vlaken, ki se zaradi udarjanja in brušenja abrazijskih delcev sploščijo in tako zaščitijo površino betona pred nadaljnjim propadom. Jeklena vlakna z večjo trdoto pri zahtevani visoki abrazijski odpornosti betonskega elementa niso primerna za uporabo (Šušteršič, 2008).



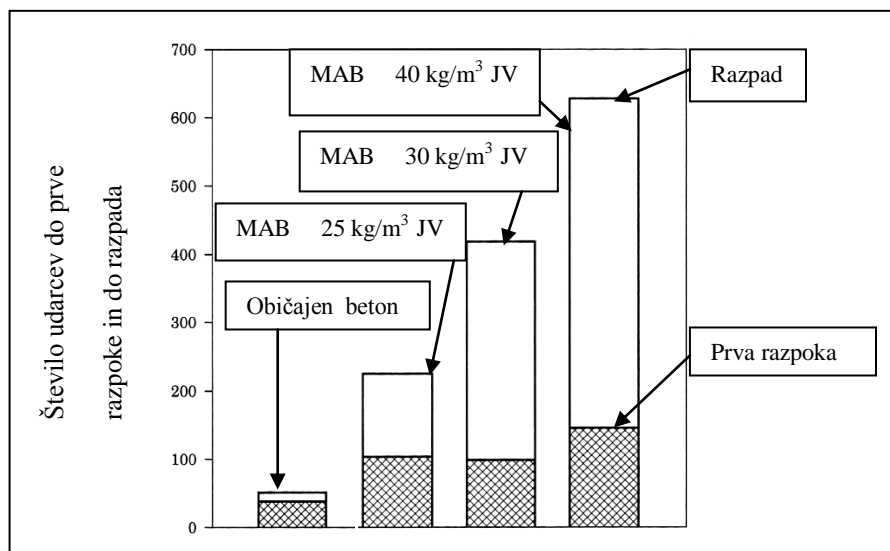
Slika 19: Razmerje med izgubo mase pri abrazijski eroziji in časom za mikroarmirani in primerljivi običajni beton. Izjemoma vsebnosti jeklenih vlaken imata obe mešanici enako sestavo (Šušteršič, 2008)

### 3.5.5 Odpornost proti udarcem

Za določanje odpornosti proti udarcem se med drugim uporablja test s spuščanjem 4.5 kg težkega kladiva na beton debeline 64 mm z višine 460 mm. Sila s kladiva se na beton prenese preko jeklene krogle, ki je nameščena na sredini na vrhu preskušanca. Preskušanec je lahko izrezan iz standardnega valja premera 150 mm in višine 300 mm. Zabeleži se število udarcev do pojava prve vidne razpoke in število udarcev, ki porušijo betonski preskušanec tako, da se betonski delci dotikajo treh od štirih jeklenih ploščic, ki so nameščene na določeni enaki

oddaljenosti od betonskega preskušanca. Ta metoda je približna in je uporabna predvsem za primerjanje udarne odpornosti običajnega in mikroarmiranega betona.

Z večanjem količine betonu dodanih vlaken se večja odpornost proti udarcem betona (Slika 20). Udarne odpornost se s staranjem betona povečuje (Balaguru, Shah, 1992).



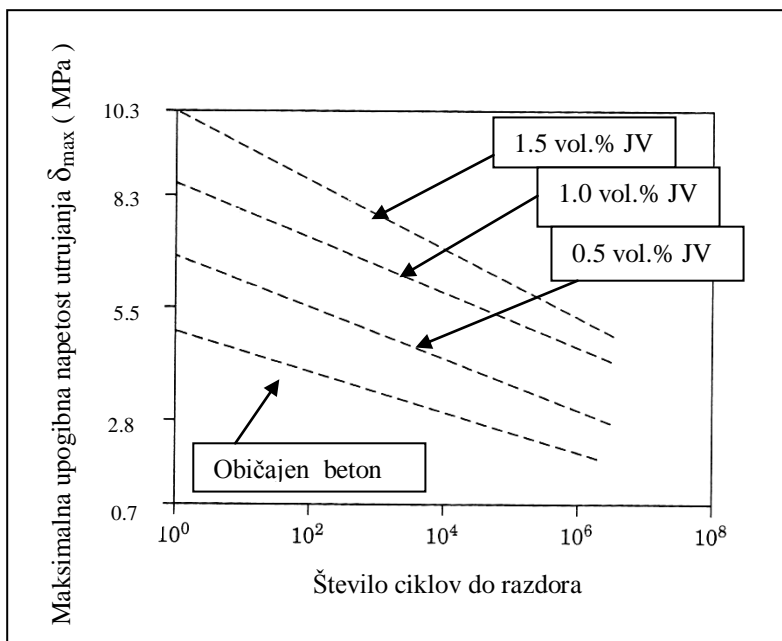
Slika 20: Primerjava udarne odpornosti pri starosti betona 28 dni. Jeklena vlakna so z zakrivljenimi konicami, faktor oblike je 100 (Balaguru, Shah, 1992)

### 3.5.6 Odpornost proti utrujanju

Odpornost proti utrujanju se pri mikroarmiranih betonih v splošnem preizkuša s triosnim upogibnim cikličnim obremenjevanjem prizme dimenzij 100 x 100 x 350 mm. Tako se direktno ponazori vpliv utrujanja pri talnih ploščah. Pri obremenitvah se izbere maksimalno in minimalno napetost. En cikel predstavlja enkratni porast od minimalne do maksimalne napetosti in padec do minimalne napetosti.

Maksimalna upogibna napetost utrujanja določenega betona je tista, pri kateri pri preskušancu po 2,000,000 ciklih ne pride do porušitve. S povečevanjem količine betonu dodanih jeklenih vlaken se povečuje odpornost proti utrujanju betona (Slika 21). Daljša jeklena vlakna z višjim faktorjem oblike pripomorejo k boljšemu rezultatu. Za povečevanje odpornosti proti utrujanju

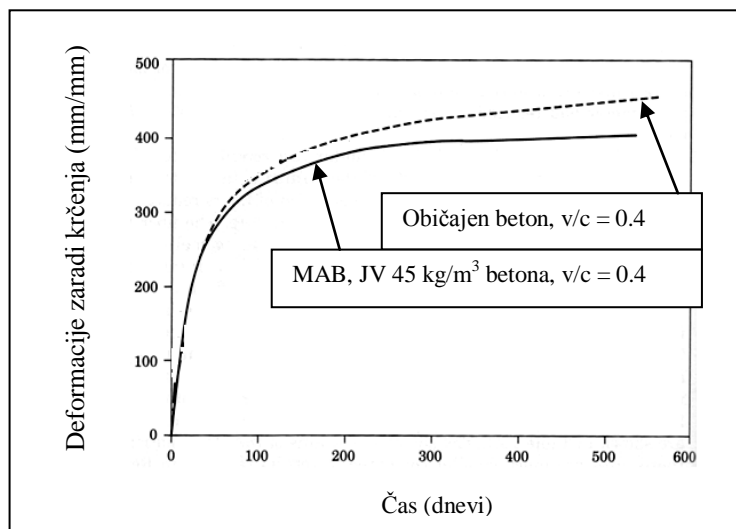
se tudi klasično armiranemu betonu dodaja jeklena vlakna. Pri tem se je pokazalo, da se vpliv dodanih jeklenih vlaken zmanjšuje s povečevanjem količine klasične armature (Balaguru, Shah, 1992).



Slika 21: Primerjava maksimalne upogibne napetosti utrujanja s številom ciklov do razdora preskušanca za primerljivi običajen in mikroarmirani beton. Uporabljena vlakna so z zakrivljenimi konicami, dolžine 25 mm, premera 0.5 mm (Balaguru, Shah, 1992)

### 3.5.7 Obnašanje pri krčenju

V splošnem dodajanje jeklenih vlaken v beton zmanjšuje deformacije zaradi krčenja betona. Preskušanci so navadno prizme pri starosti betona 28 dni. Med preskušanjem morajo biti preskušanci izpostavljeni 50-odstotni relativni vlažnosti. Vpliv vlaken na krčenje se vidno pojavi po približno 100 dneh od vgrajevanja (Slika 22). Zmanjševanje krčenja zaradi dodanih vlaken je maksimalno pri cementnih pastah, maltah in mešanicah z višjo vsebnostjo cementa. Z raznimi kemičnimi dodatki se krčenje mikroarmiranega betona lahko še dodatno zmanjša. Skrčki so navadno velikosti reda 0.0008 do 0.001 mm/mm, kar se z običajno sestavo betona lahko doseže. Pri sestavi betona moramo za maksimalno optimizacijo le-tega uporabiti čim manjše vodocementno razmerje in uporabiti maksimalno možno velikost zrn agregata (Balaguru, Shah, 1992).



Slika 22: Deformacije zaradi krčenja v odvisnosti od časa za primerljiv običajen in mikroarmiran beton (Balaguru, Shah, 1992)

### 3.6 Vključitev jeklenih vlaken v cementno pasto

#### 3.6.1 Osnovni materiali

Tri glavne komponente mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni so: cementna pasta, groba agregatna zrna in jeklena vlakna. Običajno je cementna pasta sestavljena iz portland cementa, peska, vode in dodatkov, skelet mikroarmiranih betonov pa gradijo groba agregatna zrna. Za izdelavo mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni uporabljamo rečne, lomljene, kremenčeve in umetne lahke agregate, torej agregate, ki so priporočeni tudi za izdelavo običajnega betona.

Najbolj splošno uporabljana mineralna dodatka za mikroarmirane betone z jeklenimi vlakni sta elektrofitrski pepel in mikrosilika. Elektrofitrski pepel se uporablja iz istih razlogov kot pri običajnem betonu, vendar je za mikroarmiran beton z jeklenimi vlakni še posebno pomembna njegova lastnost, da izboljša obdelavnost sveže betonske mešanice. Z dodajanjem mikrosilike pa dosežemo višjo trdnost in izboljšanje sprijemljivosti med vlakni in cementnim kamnom.

Kot smo že omenili, vključitev jeklenih vlaken v betonsko strukturo zmanjša obdelavnost sveže betonske mešanice. Zato so obvezni kemijski dodatek postali plastifikatorji ali superplastifikatorji. Uporabljajo se tudi drugi kemijski dodatki, kot so aeranti, zavlačevalci in pospeševalci vezanja, pri čemer pa je uporaba določenega dodatka, tako kot pri običajnem betonu, pogojena z namenom uporabe mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni (Bokan-Bosiljkov, 1996).

### **3.6.2 Projektiranje mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni**

Projektiranje mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni v splošnem poteka enako kot pri običajnem betonu in je odvisno od namena uporabe teh betonov. Vendar pa je potrebno zaradi vključitve jeklenih vlaken v prostorninskem deležu med 0.4 in 2.0 % upoštevati nekaj modifikacij, da se doseže ustrezna obdelavnost, enostavno mešanje in dobra porazdelitev vlaken v mešanici. Dodatek jeklenih vlaken namreč zmanjša obdelavnost mešanice (Balaguru, Shah, 1992).

Da se zagotovi enaka obdelavnost in trdnost kot pri primerljivem običajnem betonu, se pri sestavi mikroarmiranega betona zahteva večja količina cementa in večji delež finega agregata. Izkušnje kažejo, da se ob uporabi kombinacije finega in grobega agregata v primernih razmerjih zmanjša tudi težnja po tvorjenju kep (grud) jeklenih vlaken pri zamešanju. V začetkih uporabe mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni uporaba grobega agregata večjih frakcij od 19 mm ni bilo priporočljivo. Danes se uspešno uporablja tudi 38 mm frakcije agregata. Preglednica 1 prikazuje priporočeno sestavo agregata, s katero dosežemo dobro obdelovalnost mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni, Preglednica 2 pa prikazuje priporočena razmerja med sestavinami normalno težkih mikroarmiranih betonov.



Preglednica 1: Priporočena zrnavost agregata za mikroarmirane betone z jeklenimi vlakni  
 (ACI Committee 544.1R in Bokan Bosiljkov, 1996)

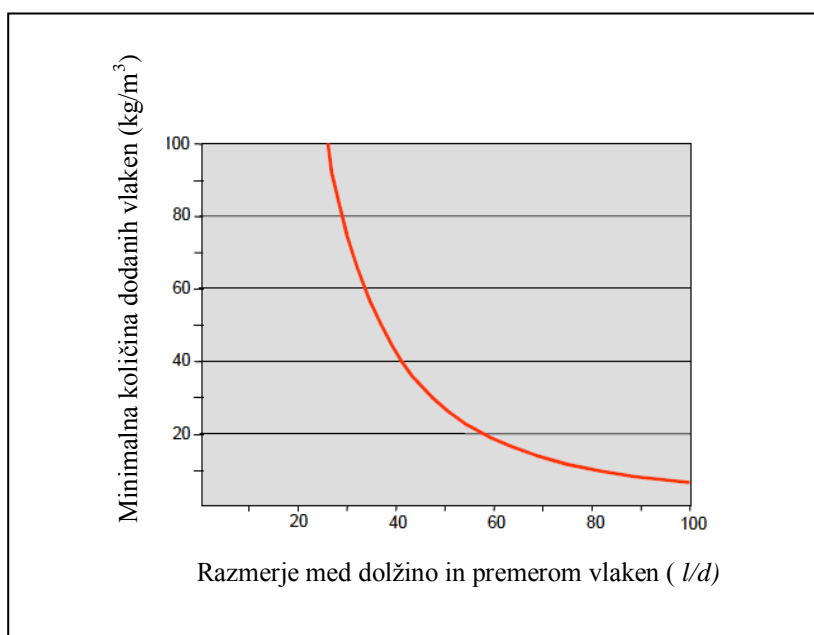
Velikost odprtin (mm)	PRESEJEK SKOZI SITO (%)				
	Premer največjega zrna				
	D <sub>max</sub> =10 mm	D <sub>max</sub> =13 mm	D <sub>max</sub> =19 mm	D <sub>max</sub> =25 mm	D <sub>max</sub> =38 mm
51	100	100	100	100	100
38	100	100	100	100	85–100
25	100	100	100	94–100	65–85
19	100	100	94–100	76–82	58–77
13	100	93–100	70–88	65–76	50–68
10	96–100	85–96	61–73	56–66	46–58
5	72–84	58–78	48–56	45–53	38–50
2,4	46–57	41–53	40–47	36–44	29–43
1,1	34–44	32–42	32–40	29–38	21–34
0,6	22–33	19–30	20–32	19–28	13–27
0,3	10–18	8–15	10–20	8–20	7–19
0,15	2–7	1–5	3–9	2–8	2–8
0,08	0–2	0–2	0–2	0–2	0–2

Preglednica 2: Razmerja med sestavinami normalno težkih mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni (ACI Committee 544.1R in Bokan Bosiljkov, 1996)

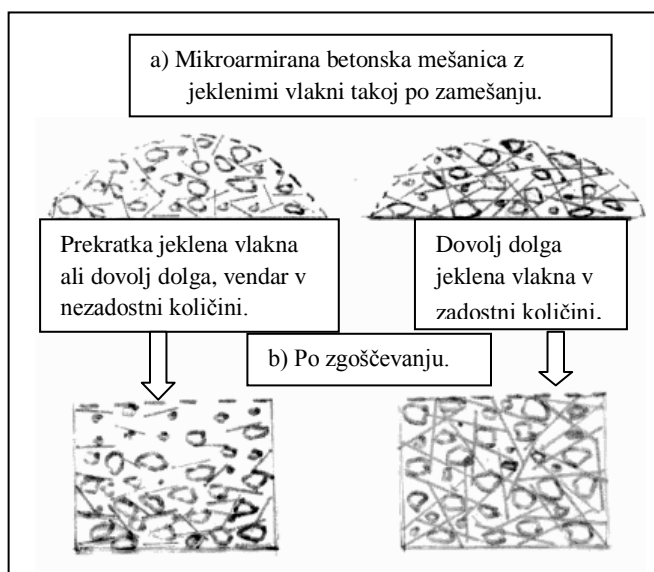
	PREMER NAJVEČJEGA ZRNA		
	D <sub>max</sub> = 10 mm	D <sub>max</sub> = 19 mm	D <sub>max</sub> = 38mm
Količina cementa	356–593 kg/m <sup>3</sup>	297–534 kg/m <sup>3</sup>	279–415 kg/m <sup>3</sup>
Vodocementno razmerje	0,35–0,45	0,35–0,50	0,35–0,55
Razmerje med finim (v tem primeru z D <sub>max</sub> =2,4 mm) in grobim agregatom	45–60 %	45–55 %	40–55 %
Delež zraka	4–8 %	4–6 %	4–5 %
Prostorninski delež vlaken (%)			
Deformirana vlakna	0,4–1,0	0,3–0,8	0,2–0,7
Gladka vlakna	0,8–2,0	0,6–1,6	0,4–1,4

### 3.6.2.1 Vpliv faktorja oblike (razmerje dolžina-premer) jeklenih vlaken na projektiranje mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni

Zelo pomemben parameter, ki med drugim vpliva na pripravo betonske mešanice, je faktor oblike (razmerje dolžina – premer) jeklenih vlaken. Čim manjši je faktor oblike, tem bolje se vlakna razporejajo v sveži betonski mešanici. S povečevanjem faktorja oblike vlaken pa se izboljšujejo mehanske lastnosti strjenega mikroarmiranega betona. Glede na velikost faktorja oblike je priporočena minimalna količina betonu dodanih vlaken, če hočemo govoriti o enakomerni razporeditvi jeklenih vlaken v betonski strukturi vgrajenega betona (Slika 24) in o izboljšanju mehanskih lastnosti betona na račun dodanih jeklenih vlaken (Slika 23). Ob upoštevanju priporočene minimalne količine betonu dodanih vlaken je maksimalna povprečna razdalja med vlakni 0.45-kratnik povprečne dolžine vlaken v betonu. Če je maksimalna povprečna razdalja med vlakni večja, potem obstaja večja verjetnost pojava razpoke v cementnem kamnu.



Slika 23: Priporočeno razmerje med faktorjem oblike in minimalno količino betonu dodanih jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami (Scancem materials, 2010)



Slika 24: Vpliv količine in dolžine betonu dodanih jeklenih vlaken na homogenost betonske strukture

Priporočena je tudi maksimalna količina betonu dodanih vlaken, kar zadeva dobro obdelavnost in vgrajevanje mikroarmirane betonske mešanice. Ta količina je odvisna od načina vgrajevanja. Razlike se pojavljajo pri vgrajevanju z uporabo črpalk za beton in ročnem oziroma ostalem strojnem vgrajevanju. Priporočena maksimalna količina betonu dodanih vlaken je pri vseh načinih vgrajevanja odvisna od razmerja dolžina – premer vlaken, oblike vlaken in maksimalnega zrna agregata (Preglednica 3 in Preglednica 4).

Preglednica 3: Maksimalna količina betonu dodanih jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami v  $\text{kg/m}^3$  betona pri ročnem oziroma strojnem vgrajevanju mikroarmiranega betona (Scancem materials, 2010)

Max. zrno agregata	Faktor oblike (razmerje dolžina-premer) jeklenih vlaken		
	60	75	100
4 mm	160	125	95
8 mm	125	100	75
16 mm	85	70	55
32 mm	50	50	30

Preglednica 4: Maksimalna količina betonu dodanih jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami v  $\text{kg/m}^3$  betona pri vgrajevanju mikroarmiranega betona z uporabo črpalk za beton (Scancem materials, 2010)

Max. zrno agregata	Faktor oblike (razmerje dolžina-premer) jeklenih vlaken		
	60	75	100
4 mm	120	95	70
8 mm	95	75	55
16 mm	65	55	40
32 mm	40	30	25

Pri zahtevah po vgrajevanju betona z uporabo črpalk za beton in po večjem faktorju oblike vlaken se priporočena maksimalna količina betonu dodanih jeklenih vlaken zmanjšuje (Preglednica 3 in Preglednica 4).

## **4 TEHNOLOŠKI POSTOPKI GRADNJE Z MIKROARMIRANIMI BETONI Z JEKLENIMI VLAKNI**

### **4.1 Kratek uvod**

Tehnološki postopki gradnje z mikroarmiranimi betoni z jeklenimi vlakni se razlikujejo glede na način vgrajevanja, natančneje zgoščevanja. Tako se jeklena vlakna pogosteje uporabljajo v naslednjih vrstah betonov:

- vibrirani betoni,
- brizgani betoni,
- prepaktirani betoni,
- samozgoščevalni betoni.

### **4.2 Vibrirani mikroarmirani betoni z jeklenimi vlakni**

To so betoni, ki so zgoščevani pod vplivom vibracij, katere se povzročajo z vibracijskimi iglami in/ali opaznimi vibratorji. Najpogosteje se jih vgrajuje na licu mesta in so na mesto vgrajevanja pripeljani v svežem stanju, nato pa so nameščeni v opaž (cast-in-place concrete). Pri mikroarmiranih betonih z jeklenimi vlakni ta način vgrajevanja v veliki meri predstavljajo industrijski tlaki, voziščne konstrukcije, talne plošče, estrihi itd..

Za projektiranje vibriranih mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni veljajo podatki in opisi v poglavju 3.6.2.

#### **4.2.1 Mešanje**

Mešanje mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni se lahko izvaja z mešalniki, ki so primerni za mešanje običajnih betonov, najprimernejši pa so prisilni mešalniki. Najpogosteje

se mešanje izvaja v mešalniku na betonarni ali avtomešalniku. Doziranje jeklenih vlaken se najpogosteje izvaja po metodi doziranja vlaken v avtomešalnik na gradbišču in po metodi doziranja jeklenih vlaken v mešalnik na betonarni.

#### 4.2.1.1 Doziranje vlaken na gradbišču v avtomešalnik

Jeklena vlakna se zadnja dodajo v boben avtomešalnika. Spodaj je opisan postopek priprave mešanice:

1. Najprej se pripravi betonska mešanica brez vlaken, običajno v mešalniku na betonarni, lahko pa tudi v avtomešalniku. Posed betonske mešanice, določen s stožcem, mora biti pred doziranjem vlaken 50–75 mm večji, kot je zahtevani končni posed, in ne sme biti manjši kot 120 mm, saj dodatek vlaken zmanjšuje konsistenco mešanice. Betonska mešanica mora biti pripravljena na podlagi vodocementnega razmerja, ki se je predhodno določil na podlagi specifikacij, ki se od betona za določeno uporabo zahtevajo.
2. Iz mešalnika na betonarni se betonsko mešanico brez jeklenih vlaken iztrese v boben avtomešalnika.
3. V mešanico, ki se v avtomešalniku meša s hitrostjo minimalno 12 obratov na minuto, se dodajo jeklena vlakna. Doziranje vlaken se običajno izvede po transportu betona na samem gradbišču. Vlakna v razsutem, individualnem stanju se v mešanico dodajajo kot sipanje, zvezno, maksimalno 60 kg/min. To se lahko izvede na naslednje načine:
  - a) Ročno sipanje vlaken v lijak avtomešalnika, preko katerega vlakna pridejo v mešanico (Slika 25). Priporoča se uporaba mreže s kvadrati dimenzij maksimalno 100 mm, skozi katero sipamo vlakna. Tako preprečimo verižno sprijemanje in tvorjenje suhih kep (grud) vlaken.



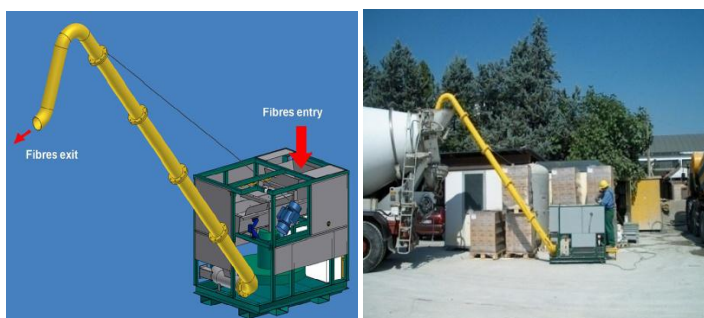
Slika 25: Prikaz ročnega sipanja jeklenih vlaken v boben avtomešalnika

- b) Vlakna dodamo v boben avtomešalnika po tekočem traku (Slika 26). Priporoča se sejanje jeklenih vlaken skozi mrežo s kvadrati dimenzij 100 mm v lijak, skozi katerega vlakna padajo na tekoči trak in po tem traku pridejo v boben avtomešalnika.



Slika 26: Jeklena vlakna po tekočem traku pridejo v boben avtomešalnika

- c) Vlakna dodamo v boben avtomešalnika s posebnim puhalom, ki vlakna s pomočjo stisnjenega zraka vnaša v mešanico (Slika 27). Paziti je potrebno, da intenziteta vpihovanja vlaken ni prevelika, saj bi se v nasprotnem primeru iz mešanice, skupno s stisnjnim zrakom, odvajala nezanemarljiva količina vode.



Slika 27: Vpihovanje jeklenih vlaken v boben avtomešalnika s puhalo

Pomembno je, da vlakna ne tvorijo suhih kep (grud) ali se verižno sprijemajo, še preden so dodana v mešanico. Če že skepana vlakna pridejo v mešanico, jih mešalnik težko v celoti razbije, kar vodi v nehomogenost porazdelitve vlaken v mešanici. Vlakna morajo v bobnu avtomešalnika pristati neposredno v mešanico. Ko so vsa vlakna dozirana, se rotacija bobna upočasni in se nadaljuje še za 50–100 obratov. V času je to 1 min/m<sup>3</sup> mešane betonske mešanice, vendar skupno ne manj kot 5 minut.

Uporaba tekočega traku in ročnega dodajanja vlaken se je izkazala za uspešno tudi pri kombinaciji različnih tipov in vrst vlaken. Ta metoda doziranja je primerna predvsem za betonska dela, kjer je potrebna manjša količina mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni.

#### 4.2.1.2 Doziranje vlaken v mešalnik na betonarni

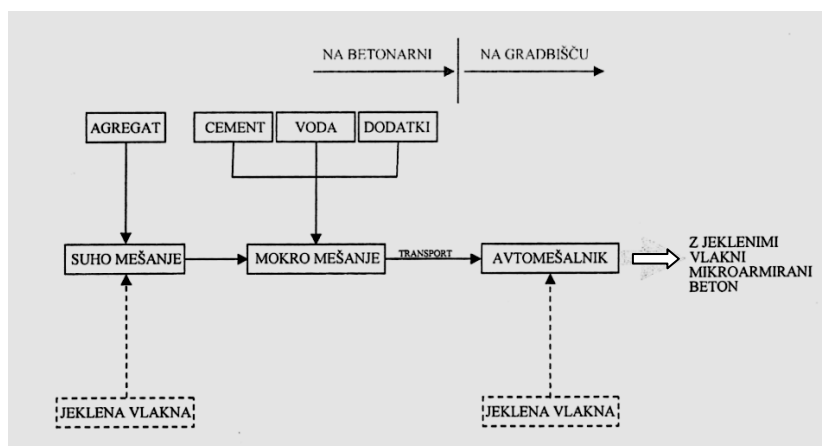
Vlakna se ob zamešanju dodajo v mešalnik v betonarni po tekočem traku, in sicer sočasno z doziranjem agregata. To se lahko izvede na dva načina:

- a) Vlakna se dodajajo ročno, sočasno z doziranjem agregata, ki potuje po tekočem traku v mešalnik. Dodajanje vlaken na agregat je potrebno čim bolj enakomerno razporediti tako, da agregat ves čas prihaja v mešalec skupno z jeklenimi vlakni.
- b) Vlakna se dodajo ročno ali s tekočim trakom kot samostojni dodatek v tehtalno posodo, neposredno po doziranju vseh frakcij agregata ali pa vmes, med doziranjem finih in grobih frakcij agregata. Transport suhe mešanice agregata in vlaken iz tehtalne posode v mešalnik povzroči, da se jeklena vlakna pomešajo z agregatom. Nato se doda cement, suhe dodatke in 1/3 vse potrebne vode. Plastifikator in ostale tekoče dodatke se pomeša s preostalo vodo in skupno izlije v mešalnik. Po končanem mešanju se mikroarmirano betonsko mešanico iztrese v avtomešalnik.

Metoda doziranja vlaken v mešalnik na betonarni, sočasno z agregatom, se uspešno uporablja pri betonskih delih, kjer je potrebna velika količina mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni, saj je celoten postopek mešanja hitrejši v primerjavi z doziranjem vlaken v avtomešalnik. V kolikor doziranje vlaken v mešalnik na betonarni sočasno z agregatom ni



omogočeno, se lahko vlakna dozira po enakih postopkih, ki so primerni za doziranje vlaken v avtomešalnik na gradbišču.



Slika 28: Tehnološki cikel možnosti dodajanja jeklenih vlaken v mešanico na betonarni in na gradbišču

Avtomešalniki, ki prevažajo mikroarmiran beton z večjimi volumskimi deleži dodanih jeklenih vlaken, so lahko natovorjeni maksimalno do 85 % njihove polne kapacitete. Ta omejitev je potrebna, ker je navadno z jeklenimi vlakni mikroarmiran beton bolj koheziven od običajnega, zaradi česar je potrebna več moči avtomešalnika za vrtenje bobna.

#### 4.2.1.3 Avtomatizirani dozirni sistemi jeklenih vlaken

Na tržišču so prisotni avtomatizirani sistemi doziranja jeklenih vlaken v betonsko mešanico, ki pripomorejo k izboljšanju homogenosti porazdelitve vlaken v mešanici, k izničenju pojava kepanja vlaken, k izboljšavi točnosti količine doziranja, k povečanju varnosti osebja in skrajšanju časa, potrebnega za pripravo vlaknaste betonske mešanice.

Najpogosteje uporabljeni je avtomatizirani sistem doziranja, pri katerem se jeklena vlakna iz embalaže iztrese v posebno cilindrično posodo, v kateri je spirala, po kateri jeklena vlakna s pomočjo vibracij, ki jih povzročajo elektromotorji, potujejo do tekočega traku. Nato se jeklena vlakna po tekočem traku, lahko tudi skupno z agregatom, transportirajo do mešalnika na betonarni ali neposredno v avtomešalnik (Slika 29). Tak sistem doziranja se dobro obnese

pri doziranju vlaken, zlepljenih v snope, pri individualnih vlaknih pa se hitrost doziranja zelo upočasni. V manjših izvedbah so take cilindrične naprave primerne tudi za doziranje jeklenih vlaken na samem kraju vgrajevanja betona (na gradbišču).



Slika 29: Avtomatizirani dozirni sistem jeklenih vlaken s posebno cilindrično napravo

V primeru uporabe jeklenih vlaken v vodotopnih embalažah (vrečah) se uporablja posebna naprava, sestavljena iz tekočega traku in dvigala, ki jeklena vlakna dostavi v rotirajoči bobenski mešalec na betonarni (Slika 30). Na tekoči trak je potrebno ročno namestiti jeklena vlakna v vrečah. Nato jih avtomatiziran sistem po potrebi dostavi do dvigala, preko katerega jeklena vlakna pridejo v mešalec.

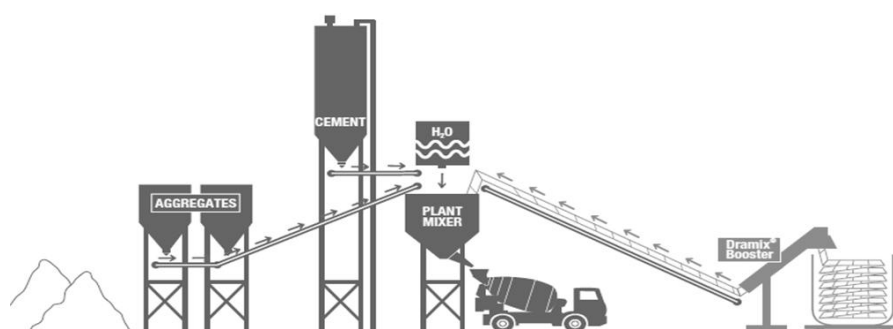


Slika 30: Avtomatizirani sistem doziranja vlaken v vodotopnih vrečah z dvigalom

V primeru uporabe jeklenih vlaken, ki so v manjših količinah pakirana v vodotopnih zavojih, kateri so med seboj verižno povezani, se uporablja magnetni avtomatizirani sistem doziranja (Slika 31 in Slika 32). Preko magnetnega vpliva se verižno povezani zavoji po žlebu transportirajo v mešalnik na betonarni. S takim sistemom se pridobi zelo dobro homogenost porazdelitve vlaken v betonu.



Slika 31: Vodotopni zavoj jeklenih vlaken (levo), verižno povezani zavoji (v sredi), magnetni transport verižnih zavojev v mešalec (desno)



Slika 32: Shematski prikaz doziranja jeklenih vlaken v vodotopnih zavojih

#### 4.2.1.4 Razlogi pojava kepanja jeklenih vlaken

Tvorjenje suhih kep ali verižno sprijemanje vlaken se velikokrat pojavi zaradi nepravilnega rokovanja z njimi pri doziranju, še preden vlakna pridejo v betonsko mešanico. Kepanje vlaken se lahko pojavi tudi zato, ker so vlakna bila dodana v mešanico po taki poti, da so padala ena na druga in tvorila kepe v mešalniku. To se navadno zgodi takrat, ko so vlakna prehitro dozirana v mešanico, ali takrat, ko mešanica ni dovolj tekoča.

Razlog za tvorjenje kep je tudi dodajanje prevelike količine vlaken v mešanico. Več kot 2 % prostorninskega deleža ali več kot 1 % za vlakna z visokim razmerjem dolžina – premer, ni priporočljivo dodajati mešanici. Ob doziranju vlaken v mešalnik kot prvo sestavino se bodo vlakna skepala, saj ni ničesar, kar bi vlakna držalo narazen. K pojavu kepanja jeklenih vlaken pripomorejo tudi izrabljena mešalna rezila v mešalniku. Najpogostejši vzrok za tvorjenje kep vlaken pa je predolgo mešanje, ki je največkrat posledica zastojev zaradi slabe organizacije gradbenih del.

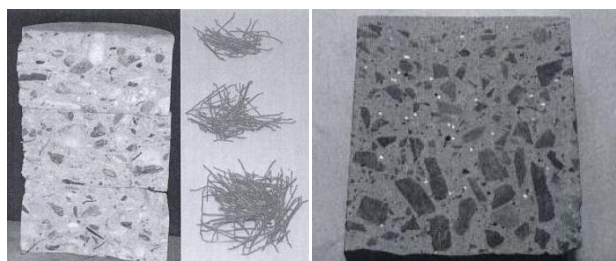


Slika 33: V iz industrijskega tlaka izrezanem valju se opazi kepa (gruda) jeklenih vlaken, kar predstavlja nehomogenost porazdelitve jeklenih vlaken v strjenem betonu

#### 4.2.2 Vgrajevanje

Navadno se mikroarmiran beton z jeklenimi vlakni, s primernim vodocementnim razmerjem, pojavlja težko obdelovalen v primerjavi s primerljivimi običajnimi betoni. Vendar uporaba igličnih vibratorjev in dodatkov za zmanjševanje vodocementnega razmerja in povečevanje konsistence mešanice (plastifikatorjev in superplastifikatorjev) zadostuje za relativno lahko vgrajevanje navidezno težko obdelovalne mikroarmirane betonske mešanice.

Uporaba manjših količin določenih tipov jeklenih vlaken omogočajo lahko vgrajevanje tudi brez vibriranja ali dodatkov za zmanjševanje vode v mešanici. Vendar je vgrajevanje mikroarmiranih betonov brez vibriranja odsvetovano, ker bo brez zgoščevanja beton manj gost, imel preveč ali na določenih mestih prevelike zračne pore in bo imel slabšo vez z morebiti prisotno klasično jekleno armaturo.



Slika 34: Dejanska razporeditev oziroma segregacija jeklenih vlaken v strjenem betonskem valju, izrezanem iz industrijskega tlaka (levo) in segregacija grobega agregata v strjenem mikroarmiranem betonu, izrezanem iz industrijskega tlaka (desno)

Običajno vodocementno razmerje mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni je v okviru 0.35 do 0.50. Vsa dodatna voda zmanjša kvaliteto mešanice in povzroči krvavenje ter segregacijo.

Osebjem v betonarni in operaterji avtomešalnikov morajo biti poučeni, da ne dodajajo vode v mešalnik na podlagi izgleda mešanice in njihovih izkušenj z običajnimi betonskimi mešanicami. Če se mikroarmiran beton že izkaže za težko obdelovalnega, se ga po potrebi na gradbišču pod tehnološkim nadzorom popravi z ustreznimi dodatki.

Med pripravo in vgrajevanjem mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni se mora izvajati stalna vizualna kontrola. Izvajati se morajo tudi meritve svežega betona, kot so konsistenca, vsebnost por, prostorninska masa in vodocementno razmerje. Na gradbišču oziroma na kraju vgrajevanja je potrebna priprava kalupnih preskušancev za preskuse strjenega betona, kot so tlačna trdnost, upogibna trdnost, žilavost, vodotesnost, odpornost na vpliv zmrzovanja in tajanja z ali brez prisotnosti odtaljevalnih soli in abrazijska odpornost. Vse zahtevane preiskave morajo biti navedene v projektu betona.

Samo vgrajevanje mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni poteka enako kot pri običajnem betonu. V večini primerov se beton na pripravljeno podlago oziroma v opaž iztrese neposredno iz bobna avtomešalnika po drči (Slika 35). Lahko se zgodi, da je prenos mikroarmiranega betona iz avtomešalnika nekoliko težaven. Dobro narejena mikroarmirana mešanica namreč običajno le komajda drsi po drči, ki služi za raztovarjanje betonske mešanice iz bobna avtomešalnika, zato je občasno potrebna pomoč operaterja tako, da poveča naklon drče ali z lopato ali drugim pripomočkom ročno pospešuje poljenje mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni po drči avtomešalnika.

Za težje dostopna mesta pa se običajno uporablja demperje, posode za beton ali črpanje s črpalčkami za beton. Nekaj pomembnih točk pri črpanju mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni:

- Uporabljamo črpalčko, ki je sposobna uravnavati pretok in tlak.
- Uporabimo cev premera 150 mm.

- Če je mogoče, se izognemo prilagodljivi cevi.
- Zagotovimo mrežo s kvadrati dimenzij 50 x 75 mm in s tem preprečimo vnos morebitnih kep vlaken v cev črpalke.
- Ne sme se poskušati črpati mikroarmirane mešanice, če le-ta vsebuje preveč vode in je preveč tekoča. Pritisk črpalke namreč lahko povzroči, da se tekoča pasta in fina malta iztisne naprej pred ostalo mešanico. Tako pridejo odseki betona, ki vsebujejo le vlakna in grobi agregat brez malte. To je lahko rezultat mešanice, ki je premokra. Pri presuhi mešanici se to ne more zgoditi. Enako velja tudi za črpanje običajnih betonskih mešanic.



Slika 35: Vgrajevanje mikroarmiranega betona preko drče avtomešalnika (levo) in preko črpalke za beton (desno)

#### 4.2.3 Obdelovanje površine

Mikroarmiran beton z jeklenimi vlakni je lahko zaključno obdelan z opremo, primerno za običajne betone, vendar je potrebno nekaj prilagoditev v tehnologiji in izdelavi. Obdelava površine je zelo pomembna faza gradnje predvsem industrijskih tlakov. Zato se opisi postopkov obdelave betonske površine, ki sledijo v nadaljevanju, nanašajo predvsem na industrijske mikroarmirane betonske tlake.

Površinsko nevidnost vlaken v vgrajenem betonu in zmanjšanje poroznosti betonske površine se doseže z vibracijsko ravnalko, ki površino izravna in zgosti (Slika 36). Ravnalka mora biti narejena iz kovine in imeti rahlo zaobljene robove. Njen vibracijski vpliv sega do 16 mm pod obdelovano betonsko površino.

Kovinska gladilka je lahko uporabljena za zaglajevanje kakršnih koli razcepov na površini plošče, ki jih je povzročila vibracijska ravnalka. Kjer uporaba vibracijske ravnalke ni možna, se namesto nje uporabi le kovinsko gladilko ali poseben valj. Lesenih gladilk se ne sme uporabljati, ker se z njimi lahko privzdiguje vlakna in tako poškoduje betonsko površino. Ko je površina izravnana in obdelana, se lahko, v kolikor je to potrebno, izvede dodatna obdelava površine. Obdelava površine se lahko izvede tudi s posebnimi laserskimi gladili (Slika 36).

Paziti je potrebno, da prekomerno ne obdelujemo površine, saj to povzroči, da se fini delci betonske mešanice začnejo zbirati na površju. To se pokaže v obliki finih razpok v cementni skorji, običajno v času sušenja betona. Če pride do krvavenja ali do zbiranja finih delcev na površju, je potrebno vrhnji sloj z ravnalko odstraniti in ga nadomestiti z novim.

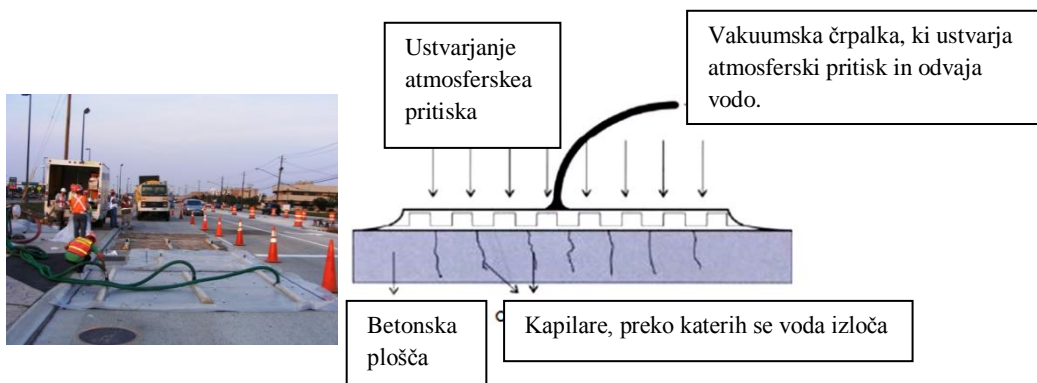


Slika 36: Obdelava površine z vibracijskimi ravnalkami (levo), laserskimi gladili (v sredini) in kovinskimi gladilkami (desno)

Za odstranitev odvečne količine vode v sveže vgrajenem mikroarmiranem betonskem ploskovnem elementu (talna plošča, industrijski tlak, ...) se lahko, tako kot pri običajnih betonih, uporabi postopek vakuumiranja, pri katerem se takoj po izravnavi betonske plošče z ravnalkami in gladilkami le-to prekrije s posebnimi filtrirnimi plastmi, nato pa še z vrhnjo PVC prevleko, v kateri so odprtine, kamor se vstavijo cevi črpalk. Tako se med vrhnjo prevleko in filtrirnimi plastmi ustvari atmosferski pritisk, ki deluje na betonsko ploščo in iz nje iztiska odvečno vodo (Slika 37). Na ta način se za 15–25 % zmanjša vsebnost vode v sveže vgrajenem betonu. Postopek traja 1.5 do 2 minuti za vsak centimeter debeline mikroarmirane betonske plošče. Po končanem vakumiranju je sveži beton osušen do te stopnje, da se lahko po njem hodi brez puščanja odtisov. Vakuumiranju navadno sledi



dodatna obdelava betonske površine z rotirajočimi gladili, saj je po odstranitvi filtrirnih plasti na površini plošče vidna neenakomerna tekstura.



Slika 37: Shematski prikaz vakuumiranja betonske plošče

#### 4.2.3.1 Dodatna obdelava površine

Po končanem delu z ravnalkami in gladilkami je potrebno površino pustiti običajno za 2–3 ure pri normalnih pogojih, oziroma toliko časa, dokler ni mogoča nadaljnja obdelava brez poškodb površine. Kjer precizna obdelava površine ni zahtevana, nadaljnja obdelava ni potrebna. Če je tekstura površine zahtevana, se za to uporablja metlo ali valjar. Vlečenje vrečevine se ne sme uporabljati za doseg te texture, saj se z njo lahko dvigne vlakna in s tem poškoduje površino. Dodatna obdelava površine se velikokrat izvaja s kovinskimi gladilkami ali strojno z napravami, imenovanimi rotacijska gladila. S kovinskimi gladilkami se doseže skoraj popolno ravnost površine in se prikrije ter zakoplje v splošnem vsa jeklena vlakna, ki so ostala na površini, vendar pustijo na betonski površini rahlo teksturo. Zato se pri zahtevah po gladki površini betona, brez texture, uporabljajo rotirajoča gladila (Slika 38).



Slika 38: Dve različni izvedbi rotacijskih gladil, imenovanih tudi helikopterji



Pri dodatni obdelavi površine bolj obremenjenih betonskih tlakov in estrihov se za oplemenitenje betonske površine pogosto uporabljajo mineralni posipi. To so posipi, ki vsebujejo mešanico trdih mineralov, kot sta kremen ali korund. Mineralni posipi izboljšajo mehanske lastnosti betonske površine, predvsem pa pripomorejo k odpornosti proti obrusu strjenega betona. Nanos posipa na betonsko površino se izvede pri normalnih pogojih običajno v 2–3 urah od vgradnje betona. To se običajno izvede s strojnimi ali ročnimi posipalniki (Slika 39). Površino se nato zaglajuje z rotacijskimi gladili, dokler se mineralni posip popolnoma ne vtisne v podlago in veže vlago iz nje. S posipanjem in zaglajevanjem nadaljujemo, dokler se na površini betona še pojavlja cementno mleko oziroma dokler ne porabimo predvidene količine materiala po m<sup>2</sup> površine. Med glajenjem postopoma zmanjšujemo nagib lopatic rotacijskega gladila. Pri končni obdelavi nastavimo minimalni kot lopatic s podlago. Na težko dostopnih mestih (v kotih, tik ob steni) posip zaglajujemo ročno s kovinskimi gladilkami.



Slika 39: Izvedba nanosa mineralnega posipa (levo) in končan industrijski tlak z mineralnim posipom in dodatno obdelano površino (desno)

Tako kot pri običajnih betonih, je tudi pri mikroarmiranih pogosta dodatna obdelava površine zunanjih ploskovnih elementov (voziščne konstrukcije, pločniki ...) z metličenjem (Slika 40).



Slika 40: Metličenje mikroarmirane betonske površine

#### 4.2.4 Popravljanje napak

Popravljanje napak, kot so luknjičavost in vdrtnine, se izvaja enako kot pri običajnih betonih. Če je potrebna odstranitev z jeklenimi vlakni armiranega betona, je ta zaradi njegove večje žilavosti mnogo zahtevnejša v primerjavi z običajnimi betoni. Odstranitev je najuspešnejša z rezanjem na manjše dele. Jeklena vlakna so manj dovzetna za korozijo kot klasična jeklena armatura, ker so glede na njihovo površino v večji meri obdana s cementnim kamnom. Lahko pa do korozije pride pri vlaknih, ki so pozicionirana tik pod betonsko površino (do 5 mm), vendar so posledice zgolj estetske narave v obliki rjavih madežev in nimajo pomembnega vpliva na mehanske lastnosti betona (Slika 41).



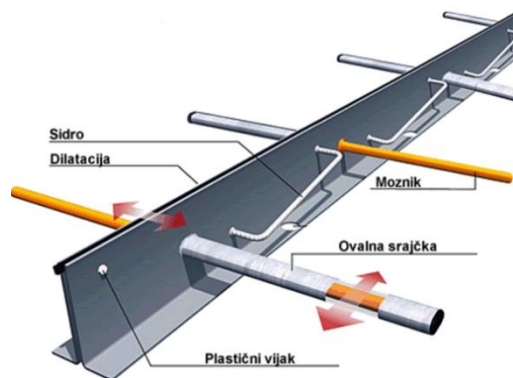
Slika 41: Korozija jeklenih vlaken, ki so do 5 mm pod površino, po 12 letih izpostavljenosti zunanjim vplivom v industrijskem okolju

#### 4.2.5 Stiki

##### 4.2.5.1 Prostorski stiki

Prostorski stiki omejujejo na betonski plošči posamezna polja vgrajevanja betona, skladno s planirano razporeditvijo stikov. Če je betoniranje prekinjeno za toliko časa, da se začne beton strjevati, je potrebno izdelati prostorski stik. Na področjih, kjer tlak ni obremenjen s prometom, so stiki lahko prazni, v nasprotnem primeru pa morajo biti zapolnjeni s polnilom. Na področjih, ki so obremenjena s težkim prometom ali drugo težko obremenitvijo, se priporoča, da so prostorski stiki izvedeni z mozniki. Pri notranjih betonskih ploščah večjih

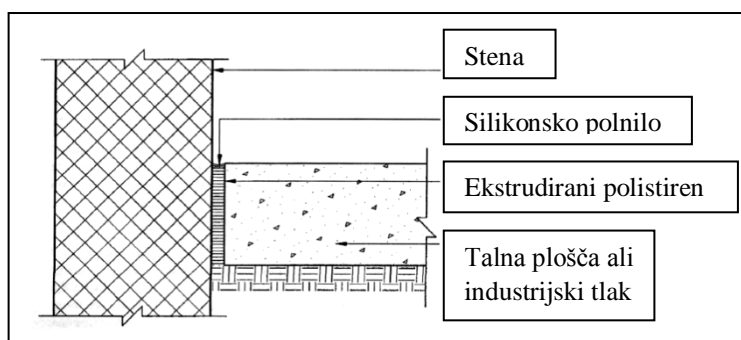
dimenzij in pri vseh zunanjih se mora izvajati prostorske dilatacije oziroma stike, ki zagotovijo prekinitev po celotni debelini plošče. Obstaja zelo veliko tovrstnih izvedb, prevladujejo pa izvedbe prostorskih stikov s posebnimi mozniki (Slika 42).



Slika 42: Ena izmed možnih variant izvedbe prostorskega stika

#### 4.2.5.2 Izolacijski stiki

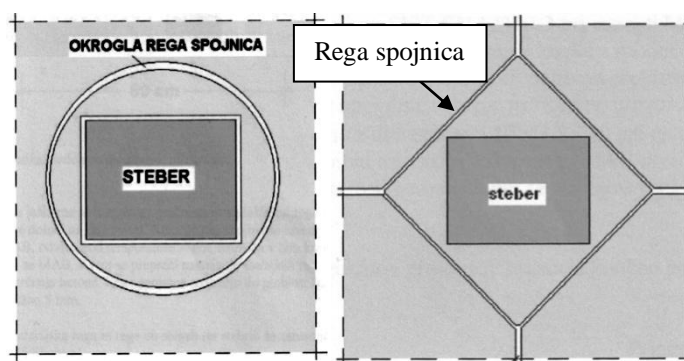
Izolacijski stiki se uporabljajo povsod, kjer je potrebno med tlakom in konstrukcijskimi elementi objekta zagotoviti popolno prostost gibanja v vertikalni in horizontalni smeri. Izolacijski stiki se uporabljajo na stikih plošče s stenami, stebri, temelji strojne opreme in z ovirami, kot so jaški, kanali, zbiralniki in stopnišča. Izolacijski stiki so izvedeni z vstavljanjem polnila, navadno ekstrudiranega polistirena debeline 1–2 cm, med ploščo in konstrukcijski element (steber, stena, jaški, ...). Segati mora skozi celotno debelino plošče in ne sme segati višje od nje (Slika 43).



Slika 43: Izvedba izolacijskega stika plošče s steno

#### 4.2.5.3 Navidezni stiki (navidezne rege spojnice)

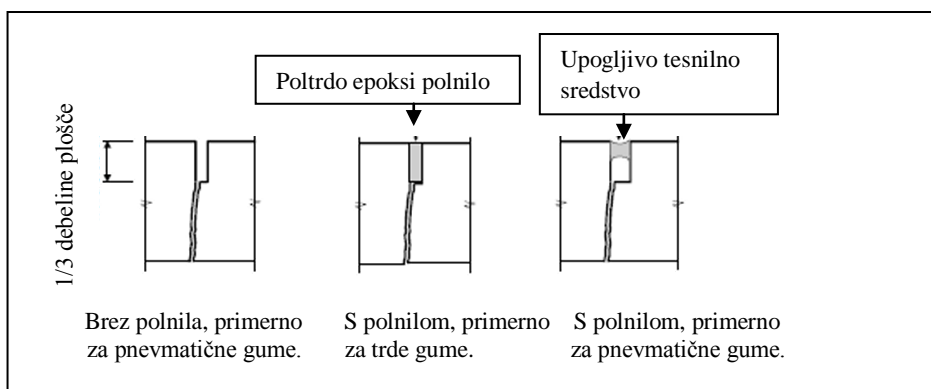
Navidezni stiki oziroma navidezne rege spojnice so potrebne zaradi krčenja betona, ki se pojavlja pri temperaturnih spremembah betona in pri procesu strjevanja. Njihova izdelava je potrebna tudi okoli morebitnih ostrih robov, ki prekinjajo talno ploščo, kot so na primer stebri. Pri talnih ploščah se najlažje izvedejo z rezanjem. Rezanje se lahko izvede v 12–36 urah po zaključni obdelavi plošče. Stik oziroma rezanje opravimo na mestih plošče, kjer si želimo imeti kontrolirane razpoke zaradi krčenja. Te razpoke se pojavijo pod zarezanim delom po debelini plošče (Slika 45). Zarezani del stika mora segati od  $1/3$  do  $1/2$  v debelino plošče. Če sega manj kot toliko, se pojavijo višje natezne napetosti v betonu, ki so povečane zaradi večjega prereza plošče v predelu pod zarezo, zato razpoke ne nastanejo v stiku, kot bi si želeli, temveč drugje v plošči. Pri zelo tankih talnih ploščah se stik izvede s prerezom skozi celotno debelino. Okoli stebrov je najboljša izvedba reg spojnic v krožni obliki, lahko pa se jih izvede tudi v kvadratni obliki (Slika 44).



Slika 44: Prikaz izvedbe navideznih reg spojnic okoli stebrov

Z uporabo mikroarmiranega betona se razdalje med stiki oziroma dilatacijami, lahko tri ali večkratno povečajo v primerjavi z običajnim betonom. Za koliko točno se lahko razdalja poveča, je odvisno od tipa in količine betonu dodanih vlaken. Pri določitvi razdalj med stiki se upošteva razmerje sestavin mikroarmirane betonske mešanice, debelina plošče, trdnost tal in drugi relevantni faktorji. V splošnem je maksimalna razdalja med izvedenimi stiki klasično armiranega betona določena kot 33-kratnik debeline talne plošče oziroma ne več kot 6 m za standardne pogoje pri izvedbi plošče. Krajša dolžina stika je lahko maksimalno za polovico manjša od daljše dolžine. Polje stika mora biti kvadratne ali pravokotne oblike. Rezani del

stika je potrebno zamašiti s silikonskimi mešanicami. Tako se prepreči vdor vode v notranjost plošče in posledično pojav korozije vlaken, ki so postali izpostavljeni z izrezom navideznega stika in z razpokami zaradi krčenja (Slika 45). Na glavnih transportnih poteh ne sme biti vzdolžnih stikov.



Slika 45: Detajl navidezne rege spojnice in potek razpoke

Rezanje navideznih reg spojnic se izvede po približno 12–36 urah od vgraditve betona, odvisno od temperature zraka, oziroma v čim krajšem času, ko je že možno rezati strjujoči se beton (Slika 46). S tem se prepreči nastajanje slučajnih razpok zaradi reološkega krčenja betona.



Slika 46: Izvedba rezanja navideznih reg spojnic (levo) in namestitev polnila (desno)

#### 4.2.6 Nega in zaščita

Obdelavi površine sledi intenzivna nega betona, ki se izvaja enako kot pri običajnih betonih. Uveljavljena postopka sta intenzivna mokra nega in pokrivanje s PVC folijo. Minimalni čas

intenzivne nege je 14 dni. Med rezanjem reg spojníc se na teh mestih za čas rezanja PVC folija odstrani in se po končanem rezanju zopet namesti. Med časom intenzivne nege betonski element ne sme biti izpostavljen nikakršni večji zunanji obtežbi.

Nega mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni in zaščita pred zmrzovanjem ali izjemno visokimi in nizkimi temperaturami mora biti izvedena na enak način kot pri običajnih betonih. Z jeklenimi vlakni ojačan beton se pogosto uporablja v tankih odsekih kot obloga. Taki betoni imajo ponavadi veliko vsebnost cementa in so posebno neodporni na razpokanje zaradi plastičnega krčenja. To se zgodi takrat, ko je evaporacija vode iz površine betona visoka. V takih pogojih je beton še posebej potrebno zaščititi pred soncem in vetrom.

### **4.3 Mikroarmirani brizgani betoni z jeklenimi vlakni**

Izraz brizgani beton predstavlja beton, ki ga z visoko hitrostjo nanašamo na podlago. Brizgane betone se lahko ojača z jeklenimi, steklenimi, sintetičnimi ali naravnimi vlakni, glede uporabnosti pa prevladujejo sintetična in jeklena vlakna. Z brizganemu betonu dodanimi vlakni se izboljšajo njegove mehanske lastnosti, med drugim žilavost, duktilnost, odpornost proti udarcem, odpornost proti utrujanju in upogibna trdnost. Z dodatkom vlaken v beton lahko v splošnem izločimo uporabo armaturnih mrež in predorskih lokov.

Mikroarmirani brizgani beton z jeklenimi vlakni (steel fiber reinforced shotcrete – SFRS) se uporablja pri oblogah v rudnikih in tunelih, pri stabilizacijah skalnatih brežin, pri gradnji lupinastih kupol in hidrotehničnih objektov, pri sanacijah in ojačitvah objektov in pri izdelavi ognjevarnih oblog.

#### **4.3.1 Projektiranje mikroarmiranih brizganih betonov z jeklenimi vlakni**

Pri prvih uporabah mikroarmiranih brizganih betonov z jeklenimi vlakni so uporabljali betonsko mešanico, ki je v splošnem vsebovala le fini agregat. Sedaj se uporablja tudi 10- in večmilimetrski agregat in manjšo vsebnost cementa, s čimer je zmanjšano krčenje brizganega

betona. Količina brizganemu betonu dodanih jeklenih vlaken se giblje v prostorninskem deležu 0.5–2 %. Tipično območje sestave mešanice pred izvedbo brizganja je prikazano v Preglednici 5. Ker je pri izvedbi brizganja odboj od podlage jeklenih vlaken večji od odboja agregata, je količina vlaken v mešanici, prikazani v Preglednici 5, večja, kot bo dejanska količina vlaken v vgrajenem brizganem betonu. Obenem je pri izvedbi brizganja običajno večji odboj agregatnih kot cementnih delcev, zato ima vgrajen brizgan beton večjo vsebnost cementa kot pred izvedbo brizganja.

V veliki meri se pri mikroarmiranih brizganih betonih uporablja jeklena vlakna, ki so deformirana po celi dolžini in z zakrivljenimi ali drugače deformiranimi konicami. Uporabljajo se tako individualna kot v snope zlepljena vlakna. Običajna dolžina uporabljenih jeklenih vlaken je 19–32 mm. Pri tej dolžini vlaken je brizganje mikroarmiranega brizganega betona skozi 50 mm cev relativno enostavno. S krajšimi jeklenimi vlakni se lažje izvede mešanje in brizganje mikroarmiranih brizganih betonov, obenem pa je odboj krajših jeklenih vlaken pri izvedbi brizganja manjši. Uporaba daljših jeklenih vlaken pa vodi v pridobitev boljših mehanskih lastnosti betona, kot je med drugim žilavost in odpornost proti širjenju razpok. Zato optimalna dolžina jeklenih vlaken za uporabo v brizganem betonu znaša 25 mm (Balaguru, Shah, 1992).

Preglednica 5: Tipično območje sestave mešanice mikroarmiranega brizganega betona z jeklenimi vlakni pred izvedbo brizganja (Balaguru, Shah, 1992)

Material	PREMER NAJVEČJEGA ZRNA AGREGATA	
	Dmax = 6 mm	Dmax = 10 mm
Cement	446–558 (kg/m <sup>3</sup> )	445 (kg/m <sup>3</sup> )
Pesek (Dmax = 6 mm)	1679–1483 (kg/m <sup>3</sup> )	880–697 (kg/m <sup>3</sup> )
Agregat (Dmax = 9 mm)	/	700–875 (kg/m <sup>3</sup> )
Jeklena vlakna	39–157 (kg/m <sup>3</sup> )	39–150 (kg/m <sup>3</sup> )
Pospešilo	(0,5–2%) varira	varira
Vodocementno razmerje	0,4–0,45 (kg/m <sup>3</sup> )	0,4–0,45 (kg/m <sup>3</sup> )

Preglednica 6: Minimalna priporočena količina brizganemu betonu dodanih jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami (Scancem materials, 2010)

Faktor oblike ( $l/d$ )	40	45	50	55	60	65	70
Minimalna količina brizganemu betonu dodanih jeklenih vlaken ( $\text{kg/m}^3$ betona)	65	50	40	35	30	25	25

Priporočena je minimalna količina brizganemu betonu dodanih jeklenih vlaken, ki je večja od minimalne priporočene količine običajnim betonom dodanih jeklenih vlaken (Preglednica 6).

### 4.3.2 Mešanje in brizganje

Mešanje in dodajanje sestavin mešanice se izvaja različno glede na način brizganja. Poznamo suhi in mokri postopek brizganja.

#### 4.3.2.1 Suhi postopek brizganja

Večino mikroarmiranih brizganih betonov z jeklenimi vlakni se vgrajuje po suhem postopku brizganja. Obstajata dve metodi priprave mešanice po suhem postopku brizganja, ki sta si različni v uporabi naprav, primernih za izvedbo brizganja. Prva metoda uporablja naprave, primerne za brizganje običajnih brizganih betonov, druga pa uporablja prilagojene izhodne šobe.

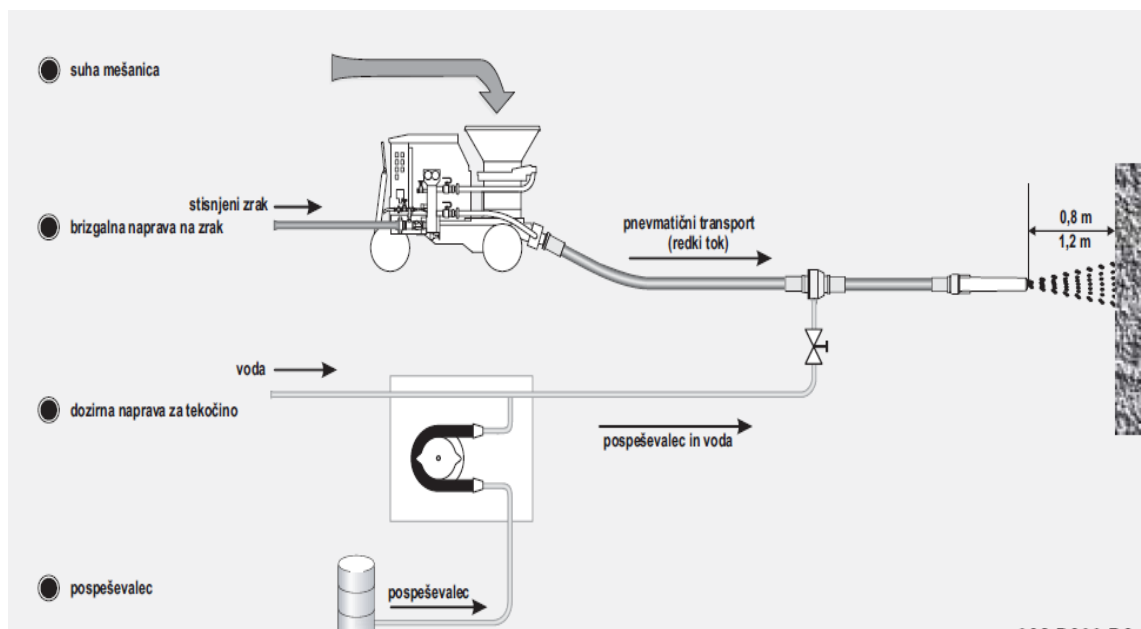
##### 4.3.2.1.1 Uporaba naprav, primernih za brizganje običajnih brizganih betonov

Jeklena vlakna se dodajo v lijak naprave za brizganje, skupno s suhimi sestavinami (agregat, cement). Brizganje mikroarmiranega betona se izvaja z napravami, ki so primerne za suhi postopek brizganja običajnih brizganih betonov. Postopek izvedbe brizganja je sledeč:

1. Suhe sestavine, skupaj z jeklenimi vlakni, se doda v boben avtomešalnika ali v mešalnik na betonarni in premeša. Na tržišču so prisotne tudi predhodno pripravljene suhe sestavine, ki so pakirane v papirnate ali sintetične vreče.



2. Z avtomešalnikom se suhe sestavine prepelje na gradbišče in se jih preko 63 mm sita iztrese v lijak, ki je del naprave za brizganje. V primeru uporabe suhih sestavin v vrečah je potrebno sestavine pred iztrenom v lijak naprave za brizganje ovlažiti z vodo v količini 6 % celotne teže sestavin.
3. Material se iz lijaka naprave za brizganje po cevi transportira do izhodne šobe s pomočjo dozirnega sistema v napravi ali stisnjenega zraka. V izhodni šobi je vgrajen sistem, ki v suho mešanico dodaja vodo in po potrebi dodatke pod pritiskom tako, da se sestavine dobro premešajo. Brizgani beton zapusti šobo pri visoki hitrosti in zavzame svojo končno lego (Slika 47).

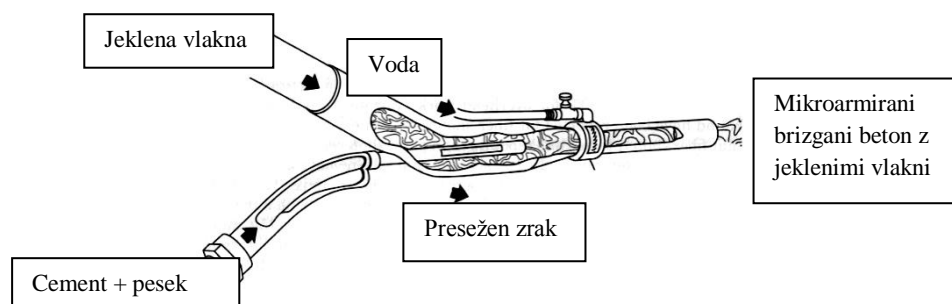


Slika 47: Shematičen prikaz suhega postopka brizganja

#### 4.3.2.1.2 Uporaba prilagojene izhodne šobe

Jeklena vlakna se dodajo suhi mešanici v izhodni šobi, ki je posebej prilagojena uporabi mikroarmiranih brizganih betonov. Naprave za brizganje, ki z dozirnim sistemom ali s stisnjnim zrakom po cevi transportirajo suho mešanico do izhodne šobe, so enake tistim, ki se uporabljajo pri običajnih brizganih betonih. Postopek izvedbe brizganja je sledeč:

1. Suhe sestavine, brez jeklenih vlaken, se doda v boben avtomešalnika ali v mešalnik na betonarni in premeša. Na tržišču so prisotne tudi predhodno pripravljene suhe sestavine brez jeklenih vlaken, ki so pakirane v papirnate ali sintetične vreče.
2. Z avtomešalnikom se te sestavine prepelje na gradbišče in se jih preko 63 mm sita iztrese v lijak naprave za brizganje. V primeru uporabe suhih sestavin v vrečah je potrebno sestavine pred iztrenom v lijak naprave za brizganje ovlažiti z vodo v količini do 6 % celotne teže sestavin.
3. Material se iz lijaka naprave za brizganje po cevi prenese do izhodne šobe s pomočjo stisnjenega zraka. V šobo je vgrajen sistem, ki v suho mešanico dodaja vodo in po potrebi dodatke. V šobo je vgrajen tudi sistem dodajanja jeklenih vlaken, ki do šobe pridejo po cevi s stisnjanim zrakom. Brizgani beton zapusti šobo pri visoki hitrosti in zavzame svojo končno lego (Slika 48).



Slika 48: Sistem izhodne šobe, ki je primeren za suhi postopek brizganja mikroarmiranega brizganega betona z jeklenimi vlakni

Pri suhem postopku brizganja je omogočeno sprotno prilagajanje količine dodane vode in s tem konsistence brizganega betona različnim pogojem podlage. V primerjavi z mokrim postopkom je suhi postopek primernejši za obloge manjših površin. Primernejši je tudi tam, kjer je material na mesto vgrajevanja potrebno pripeljati iz bolj oddaljenih betonarn, saj bi pri mokrem postopku predčasno prišlo do hidratacije cementa v betonski mešanici.

Uporaba suhih sestavin, pakiranih v vrečah, je primerna pri izvedbi manjših površin brizganja in tam, kjer je malo manevrskega prostora za potrebe avtomešalnika ali drugih vozil, s katerimi se dostavlja suhe sestavine betona do mesta vgrajevanja (tuneli, rudniki, ...).

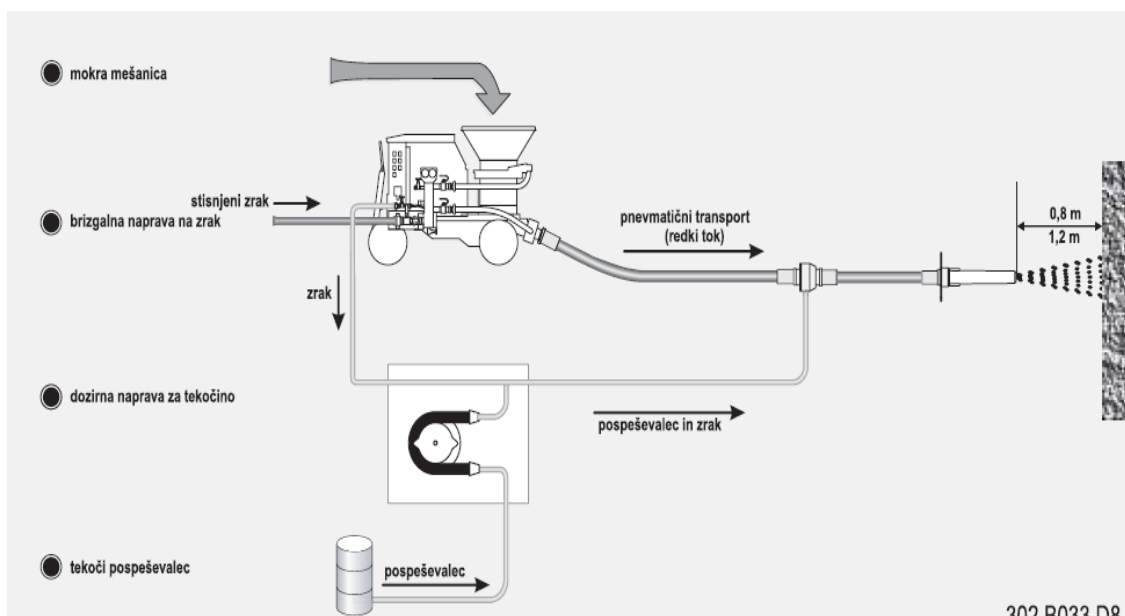
#### 4.3.2.2 Mokri postopek brizganja

Pri mokrem postopku brizganja se gotovi, sveži beton postopoma iztresa v lijak naprave za brizganje. Obstajata dve metodi priprave betonske mešanice, ki sta opisani v nadaljevanju.

##### 4.3.2.2.1 Uporaba naprav, primernih za brizganje običajnih brizganih betonov

Vse sestavine mikroarmiranega brizganega betona se mešajo enako kot pri običajnih vibriranih mikroarmiranih betonih z jeklenimi vlakni in se brizgajo z napravami, ki so primerne za mokri postopek brizganja običajnih brizganih betonov (Slika 49).

Mikroarmiran beton se iz avtomešalnika preko 63 mm sita postopoma iztresa v lijak naprave za brizganje. Da v napravo za brizganje ne pride nobena kepa vlaken, je priporočeno, da je sito podvrženo vibracijam.



Slika 49: Shematičen prikaz mokrega postopka brizganja

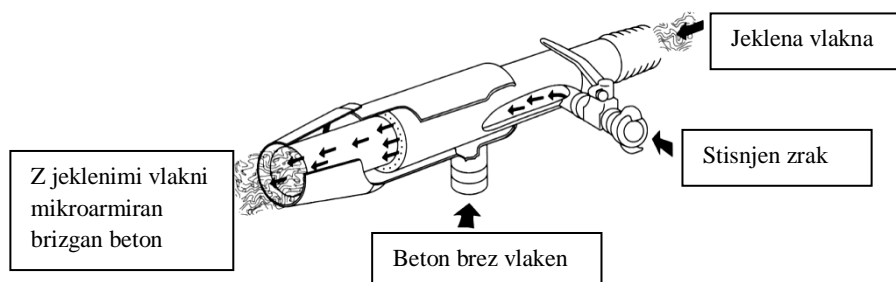
Mokri postopek brizganja je primeren pri večjih površinah, kjer je potrebna velika količina brizganega betona v čim krajšem času. Ta način brizganja se uporablja tudi pri avtomatiziranih sistemih za brizganje betona, s katerimi se doseže boljše kvaliteto vgrajenega brizganega betona in izboljša produktivnost (Slika 50). Pri mokrem postopku brizganja je odboj jeklenih vlaken ob nanosu betona na podlago manjši kot pri suhem postopku.



Slika 50: Avtomatiziran sistem za brizganje betona

#### 4.3.2.2 Uporaba prilagojene izhodne šobe

Jeklena vlakna se dodajo mokri betonski mešanici v izhodni šobi, ki je posebej prilagojena brizganju mikroarmiranih betonov (Slika 51). Naprave za brizganje, ki z dozirnim sistemom ali s stisnjenim zrakom transportirajo mokro mešanico do izhodne šobe, so enake tistim, ki se uporabljajo pri običajnih brizganih betonih.

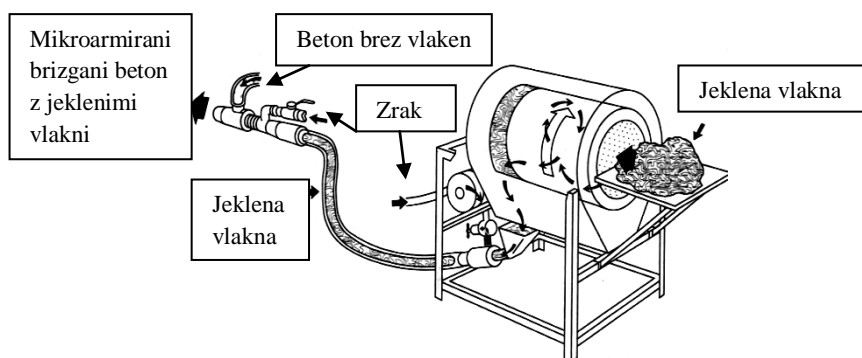


Slika 51: Sistem izhodne šobe, primeren za mokri postopek brizganja z jeklenimi vlakni mikroarmiranega betona

Dodajanje jeklenih vlaken v sistemu izhodne šobe se je izkazalo za učinkovito tako pri suhem kot mokrem postopku brizganja, predvsem pri zahtevah po mikroarmiranem betonu z večjim

volumskim deležem in večjim faktorjem oblike (tudi do 125) dodanih jeklenih vlaken. S tem načinom doziranja se popolnoma prepreči tvorjenje kep (grud) vlaken.

Dozatorji jeklenih vlaken, ki se uporabljajo pri dodajanju le-teh v sistemu izhodne šobe, so na tržišču prisotni v številnih izvedbah (Slika 52). Lahko so samostojni ali pa so integrirani z napravo za brizganje betona.



Slika 52: Prikaz delovanja enega izmed dozatorjev jeklenih vlaken za dodajanje le-teh v sistemu izhodne šobe

Obdelovanje površine sveže vgrajenega mikroarmiranega brizganega betona z jeklenimi vlakni, kjer je to potrebno, se izvaja z zaglajevanjem s kovinskimi gladili. Pri nanosu mikroarmiranega betona so jeklena vlakna pogosto vidna na površini, kjer so korozijsko izpostavljena, kar sicer ne vpliva na mehanske lastnosti brizganega betona, ima pa negativen vizualni učinek, ki se pojavi v obliki rjavih madežev. Zato se po površini mikroarmiranega brizganega betona lahko nanese 12 mm debelo plast običajnega brizganega betona in se na ta način pojavu rjavih madežev izogne. Nega mikroarmiranega brizganega betona se v splošnem vrši enako kot pri običajnih brizganih betonih. (Balaguru, Shah, 1992)

#### 4.4 Mikroarmirani prepaktirani betoni z jeklenimi vlakni

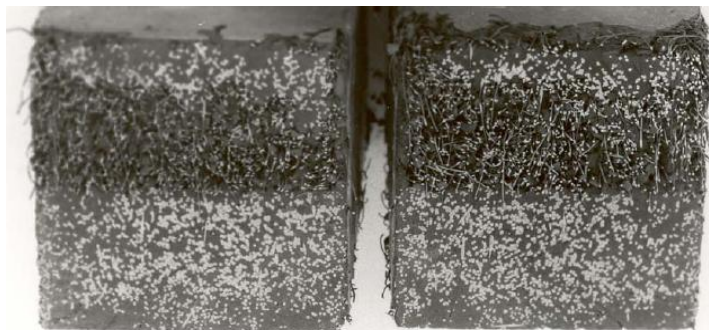
Običajni prepaktirani betoni so med opaž ali v model vgrajeni po postopku prepaktiranja. Ta postopek se izvaja tako, da se agregat določene frakcije najprej nasuje med opaž, nato pa se nanj izliva redka cementna pasta.

Mikroarmirani prepaktirani betoni z jeklenimi vlakni, v svetu poznani kot slurry-infiltrated fiber concrete – SIFCON, so poseben tip mikroarmiranih betonov, v katerih količina jeklenih vlaken presega prostorninski delež 2 % in doseže tudi 27 %. Taka betonska struktura se uvršča med betone visoke zmogljivosti in je sposobna prevzeti zelo visoke napetosti ter pri tem absorbirati veliko količino energije pred porušitvijo.

#### 4.4.1 Projektiranje mikroarmiranih prepaktiranih betonov z jeklenimi vlakni

Glavni sestavini teh betonov sta jeklena vlakna in cementna pasta, ki lahko vsebuje le cement, fini agregat in druge dodatke, kot so elektrofilterski pepel ali mikrosilika. V večini primerov so v mešanici prisotni plastifikatorji v količini 2–5 % teže cementa, kar povečuje pretočnost redke malte brez povečanja vodocementnega razmerja. Priporočeno vodocementno razmerje je 0.3–0.4. Razmerje cementa in finega agregata v mešanici je omejeno na 1 proti 2. Z dodatkom elektrofilterskega pepela se lahko nadomesti okoli 20 % cementa (Balaguru, Shah, 1992).

Najpogosteje uporabljana so jeklena vlakna s kolenasto zakrivljenimi konicami, krožnega prereza, dolžine 30–60 mm in s faktorjem oblike 60–100, lahko pa se uporablja vse možne oblike in tipe vlaken. Optimalna količina jeklenih vlaken v prepaktiranem mikroarmiranem betonu za doseg optimalnih trdnosti je v splošnem 10 % prostorninskega deleža, odvisna pa je od oblike in dimenzij vlaken. Običajna količina jeklenih vlaken v takem betonu se giblje v prostorninskem deležu 8–12 %, maksimalna pa 27 vol.%.



Slika 53: Prelom prizme iz prepaktiranega mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni

#### 4.4.2 Vgrajevanje

Mikroarmirani prepaktirani betoni z jeklenimi vlakni so vgrajevani po postopku prepaktiranja, pri katerem so vlakna, ki so v individualni obliki, ročno ali z dozirnimi napravami nasuta v jekleni ali leseni opaž ali na drugo podlago tako, da tvorijo posteljico vlaken. Nato se v opaž neposredno na vlakna izliva redko cementno pasto tako, da ta zapolni prazen prostor med vlakni (Slika 54). Priporoča se rahlo vibriranje opaža ali modela, da redka pasta popolnoma oblije jeklena vlakna.



Slika 54: Izlivanje redke cementne paste neposredno na jeklena vlakna v opažu

Na tržišču so prisotna tudi prepletena jeklena vlakna, ki skupaj tvorijo gosto, nekaj centimetrov debelo plast (Slika 55), ki se namesti v opaž in nanjo izliva cementno pasto. V svetu je ta način izvedbe prepaktiranega mikroarmiranega betona poznan kot slurry-infiltrated mat concrete (SIMCON).



Slika 55: Prepletena jeklena vlakna, ki tvorijo gosto plast

#### 4.5 Mikroarmirani samozgoščevalni betoni z jeklenimi vlakni

Samozgoščevalni beton, v svetu poznan kot self-compacting concrete (SCC), je po definiciji beton, ki je samo zaradi delovanja lastne teže in lastne sposobnosti tečenja sposoben

popolnoma zapolniti opaž poljubne oblike, tesno obliti nameščeno armaturo, se odzračiti in znivelirati, ne da bi pri tem segregiral. Pomembno je poudariti, da v tem primeru ne gre za še eden poseben visokozmogljiv beton. To ni beton, za katerega bi obstajala natančno določena receptura ali bi bilo podano ozko območje, v katerem se lahko sestavine spreminjajo. Samozgoščevalnost je izraz, ki se nanaša izključno na lastnosti betonske mešanice v svežem stanju, ki mora imeti po eni strani ekstremno sposobnost tečenja, po drugi strani pa mora biti stabilnost njene strukture tako visoka, da je pasta (mešanica vode in cementa ter ostalih finih delcev) še sposobna preprečiti segregacijo grobega agregata in ga med tečenjem betona ves čas transportirati s seboj. Samozgoščevalni beton pa mora imeti tudi visoko sposobnost prehajanja skozi ozke predele med armaturnimi palicami ali med armaturo in opažem. V strjenem stanju lahko tak beton izpolnjuje enake zahteve glede mehanskih in obstojnostnih karakteristik kot običajni beton ali pa zahteve, ki so značilne za različne visokozmogljive betone (Bokan Bosiljkov, 2007).

Uporaba jeklenih vlaken v mikroarmiranih samozgoščevalnih betonih, v svetu poznanih kot self-compacted steel fiber reinforced concrete (SCSFRC), podobno kot uvedba jeklenih vlaken v vibrirani mikroarmirani beton, vodi v izboljšanje mehanskih lastnosti in pomembno vpliva na obdelovalnost samozgoščevalnih betonov. Pogosto se uporablja jeklena vlakna z zakrivljenimi konicami ali kako drugače deformirana.

#### **4.5.1 Projektiranje mikroarmiranih samozgoščevalnih betonov z jeklenimi vlakni**

Osnovni materiali za izdelavo mikroarmiranega samozgoščevalnega betona so v bistvu enaki kot pri običajnem vibriranem mikroarmiranem betonu, razlike pa so v količinah teh materialov. Tako je potrebno za izdelavo mikroarmiranega samozgoščevalnega betona v mešanico vključiti večji delež finih delcev in omejiti delež grobega agregata, katerega največje zrno naj ne bi bilo večje od 19 mm. Poleg tega pa je obvezna uporaba relativno velike količine superplastifikatorja, s katerim pri enakem povečanju sposobnosti tečenja znižamo plastično viskoznost betona bistveno manj kot z vodo. V določenih primerih je potrebna tudi uporaba dodatka za reguliranje viskoznosti.



Skupna količina finih delcev v mikroarmiranih samozgoščevalnih betonih je relativno velika. Zato poleg ustrezne količine cementa za zahtevano trdnost in/ali obstojnost betona vključimo v samozgoščevalni beton praviloma še mineralni dodatek tipa I (kamena moka, pigment) ali mineralni dodatek tipa II (elektrofilterski pepel, mikrosilika, mleta granulirana plavžna žlindra). Pri tem pa ni pomemben le dodan delež mineralnega dodatka, ampak tudi njegova zrnavostna sestava (predvsem glede na zrnavostno sestavo cementa) ter površinske lastnosti delcev. Pri samozgoščevalnem betonu je namreč zelo pomembno, da ima mineralni dodatek tudi polnilni učinek, saj se na ta način zmanjša potreba po vodi. Zato je potrebno izbrati mineralni dodatek, katerega delci so bolj fini od delcev izbranega cementa (Bokan Bosiljkov, 2007).

Običajna količina samozgoščevalnemu betonu dodanih jeklenih vlaken je v prostorninskem deležu 0.25–1.5 % in je odvisna od oblike vlaken, sestave mešanice, načina mešanja in obdelovalnosti sveže mešanice. Pri količini dodanih vlaken 1.5 % se sposobnost tečenja mešanice močno zmanjša, vsebnost zraka pa močno poveča, zato naj bi bila to zgornja meja količine takemu betonu dodanih jeklenih vlaken. V Preglednici 7 je podana primerna sestava mikroarmirane samozgoščevalne betonske mešanice z 0.5, 1.0 in 1.5-odstotnim prostorninskim deležem jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami, narejenih iz hladno vlečene žice, dolžine 50 mm in premera 0.5 mm (Miao, 2003).

Preglednica 7: Primerne sestave mikroarmiranih samozgoščevalnih betonskih mešanic  
 (Miao, 2003)

	Sestava betonske mešanice		
	0.5 vol.% JV	1.0 vol.% JV	1.5 vol.% JV
Cement (kg/m <sup>3</sup> )	244	244	244
Voda (kg/m <sup>3</sup> )	174	174	174
Žlindra (kg/m <sup>3</sup> )	128	128	128
Elektrofilterski pepel (kg/m <sup>3</sup> )	170	170	170
Droben agregat (kg/m <sup>3</sup> ) (D <sub>MAX</sub> =5 mm)	768	759	750
Grobi agregat (kg/m <sup>3</sup> ) (D <sub>MAX</sub> = 10 mm)	832	822	812
Jeklina vlakna (kg/m <sup>3</sup> )	39	78	117
Superplastifikator (kg/m <sup>3</sup> )	11,7	11,7	11,7
Vsebnost zraka (%)	1,09	2,02	3,74
Prostorninska masa (kg/m <sup>3</sup> )	2364	2366	2369

Za preverjanje ključnih lastnosti samozgoščevalnega betona so pomembne metode preiskav obdelovalnosti, ki so primerne tudi za mikroarmirane samozgoščevalne betone z jeklenimi vlakni.

#### **4.5.2 Mešanje**

Mikroarmirane samozgoščevalne betonske mešanice se v splošnem pripravljajo in mešajo v mešalnikih na betonarni, saj je sekvenca dodajanja sestavin in čas mešanja pri teh betonih ključnega pomena. Vendar je priprava in mešanje mešanice mogoča tudi v avtomešalniku in v ostalih mešalnikih. Uporaba mešalnikov večjih kapacitet je bolj učinkovita, kar pomeni, da mora biti čas mešanja v manjših mešalnikih daljši. Uveljavljen postopek priprave mešanice je sledeč:

1. V mešalnik na betonarni doziramo ves agregat in ga mešamo 1.5 min.
2. Dodamo cement, mineralne dodatke in 1/3 vode ter mešamo nadaljnjih 1.5 min.
3. Plastifikator pomešamo s preostalo vodo, skupno izlijemo v mešalec in mešamo nadaljnje 3 min.
4. Z avtomatiziranimi sistemi doziranja, po tekočem traku ali ročno, dodamo jeklena vlakna in mešamo 4 min.
5. Mešanico se iztrese v avtomešalnik, ki ne sme biti napolnjen z več kot 80 % kapacitete mešalnega bobna, in dostavi na gradbišče.

Ob dodajanju in mešanju sestavin mikroarmirane samozgoščevalne betonske mešanice v avtomešalniku je potrebna hitrost vrtenja mešalnega bobna 15–25 obratov/min. Lahko se pojavi nihanje kvalitete in konsistence mešanice z vsakim naslednjim zamešanjem (Miao, 2003).

#### **4.5.3 Vgrajevanje in obdelava površine**

Vgrajevanje in obdelava površine poteka enako kot pri običajnih samozgoščevalnih betonih. Pri uporabi v ploskovnih elementih, kot so estrihi ali talne plošče, se vgrajevanje vrši enako

kot pri vibriranih betonih, le da je izpuščena faza zgoščevanja (vibriranja). Kjer so vidne nepravilnosti na površini, se jih odpravi z uporabo kovinskih gladilk. Zaradi vidne teksture na betonski površini se, kjer je to zahtevano, vrši dodatna obdelava površine, ki je enaka kot pri mikroarmiranih vibriranih betonih z jeklenimi vlakni. Za oplemenitenje betonske površine se lahko uporablja mineralne posipe, pri čemer je postopek izvedbe enak kot pri vibriranih mikroarmiranih betonih. Pri uporabi v stebrih, stenah in drugih podobnih elementih se vgrajevanje v opaž izvaja s črpalkami za beton, in sicer po metodi gravitacije (od zgoraj navzdol) ali pod pritiskom (od spodaj navzgor) (Slika 56).



Slika 56: Prikaz vgrajevanja z jeklenimi vlakni mikroarmiranega samozgoščevalnega betona v opaž iz črpalke po metodi gravitacije (levo) in pod pritiskom (desno)

#### 4.5.4 Nega

Negi vseh samozgoščevalnih betonov je potrebno posvečati večjo pozornost kakor vibriranim, saj se površina samozgoščevalnega betona izsušuje hitreje zaradi večje prostornine cementne paste, nizkega razmerja med vodo in finimi delci ter odsotnosti cementnega mleka na površini betona, saj je krvavenje betona izjemno majhno ali pa ga ni (Bokan Bosiljkov, 2007).

## **5 UPORABA MIKROARMIRANIH BETONOV Z JEKLENIMI VLAKNI**

### **5.1 Uvod**

V splošnem velja, da se mikroarmiran beton z jeklenimi vlakni lahko uporablja v nosilni konstrukciji le v dopolnilni, pomožni vlogi pri preprečitvi pojava razpok, pri izboljšanju odpornosti proti udarnim in dinamični obtežbam in pri izboljšanju odpornosti proti utrujanju. V konstrukcijskem elementu, kjer bo prisotna upogibna ali osna natezna napetost, na primer v nosilcu ali stebru, mora biti jeklena armatura sposobna sama prenašati natezne napetosti.

Veliko raziskav je bilo opravljenih na temo uporabljanja jeklenih vlaken v kombinaciji s klasično jekleno armaturo. Raziskave so pokazale, da je povečanje upogibne trdnosti, povečanje strižne odpornosti in zmanjšanje utrujanja materiala z uporabo jeklenih vlaken v betonu dosegljivo. Pri uporabi, kjer prisotnost neprekinjene ojačitve betona ni bistvena glede varnosti in neokrnjenosti konstrukcije, se lahko izboljšanja upogibne trdnosti zaradi dodatka jeklenih vlaken upošteva pri zmanjšanju debeline betonskega elementa, pri izboljšanju učinkovitosti ali zmanjšanju količine klasične jeklene armature.

Jeklena vlakna se uporabljajo za pripravo lahkih, normalno težkih in težkih mikroarmiranih betonov, ki jih vgrajujemo in zgoščujemo na različne načine. Pogosto se uporablja hibridnost različnih dimenzij, vrst in tipov vlaken, saj se na ta način pridobi optimalne lastnosti mikroarmirane betonske strukture, za različne namene uporabe (ACI Committee 544.1R).

V nadaljevanju sledijo opisi najpogostejše uporabe mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni v Sloveniji.

### **5.2 Industrijski tlaki**

Uporaba mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni pri industrijskih talnih ploščah obsega 60 % celotne njegove uporabe. S tovrstno uporabo se pridobi številne tehnične prednosti

industrijskega tlaka, kot so povečana odpornost proti dinamičnim obremenitvam, ekstremno povečanje razdalj med stiki, izboljšana kontrola razpok, povečanje nosilnosti, odpornost stikov proti poškodbam in drugo. Klasična armatura postane nepotrebna, zato vgrajevanje mikroarmiranega betona s črpalkami pogosto ni potrebno, kar znižuje stroške gradnje. Občutno se zmanjša tudi potreben čas za izdelavo industrijskega tlaka ali talne plošče.

Kombiniranje klasične armature in mikroarmature z jeklenimi vlakni se v praksi malokrat uporablja, čeprav se na ta način pridobi izjemno dobre mehanske lastnosti produktov takšne gradnje. Vzrok za to se pripisuje precejšnemu povečanju stroškov take gradnje.

Preglednica 8: Informativne potrebne količine doziranja jeklenih vlaken (v kg/m<sup>3</sup> betona) z zakrivljenimi konicami, dolžine 50 mm in premera 1 mm v beton C25/30, če hočemo z vlakni nadomestiti dvojno klasično armaturo v industrijskem tlaku ali talni plošči (Arcelormittal, 2010)

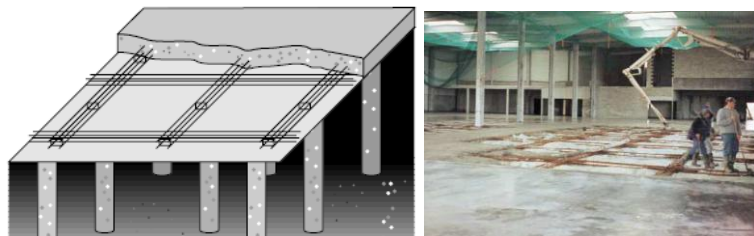
Dvojna (pozitivna in negativna) klasična mrežna armatura s 30 mm prekrivnim slojem betona C25/30	Debelina industrijskega tlaka ali talne plošče (cm)															
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Q131 or Ø5/150/150	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Q188 A or Ø6/150/150	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Q221 or Ø7/175/175	30	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Q257 A or Ø7/150/150	35	30	30	30	25	25	25	25	25	25	20	20	20	20	20	20
Q295 or Ø8/175/175	40	40	35	35	30	30	30	30	25	25	25	25	25	25	20	20
Q335 A or Ø8/150/150		50	45	40	40	35	35	30	30	30	30	25	25	25	25	25
Q377 A or Ø7/100/100				50	45	40	40	35	35	35	30	30	30	30	30	25
Q443 or Ø10/175/175								50	45	45	40	40	35	35	35	30
Q513 A or Ø8/100/100												50	45	45	40	40

Potrebne količine betonu dodanih jeklenih vlaken so podane v kg/m<sup>3</sup> betona

### 5.3 Talne plošče na pilotih

Temeljenje talnih plošč s piloti se izvede pri gradnji na slabo nosilnih temeljnih tleh. Z uporabo mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni je pri takih ploščah klasična armatura

potrebna le na pozicijah linijske povezave posameznih pilotov (Slika 57). Maksimalna razdalja med piloti je 5 m, obtežba talne plošče na pilotih pa naj ne bi presegala  $50 \text{ kN/m}^2$  (Bekaert, 2010).



Slika 57: Prikaz pozicije potrebne klasične armature

Glavne prednosti uporabe mikroarmiranega betona pri gradnji talnih plošč na pilotih so:

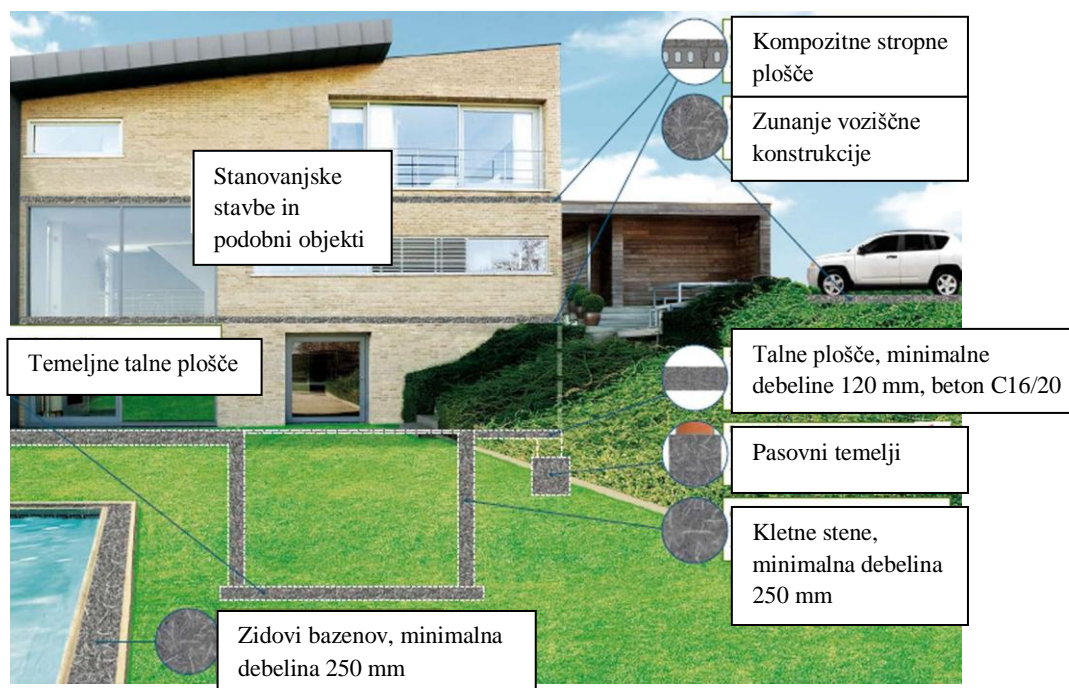
- Prihranimo do 40 % časa, ker:
  - vgrajevanje dvoslojne klasične armature ni potrebno,
  - kape pilotov niso potrebne,
  - uporaba predhodno izdelanih armaturnih košev omogoča vgrajevanje in obdelavo površine mikroarmiranega betona z laserskimi gladili in vibrirnimi letvami.
  
- Znižanje stroškov do 20 %, ker:
  - je potreba po jeklu zmanjšana do 40 %,
  - zmanjšajo se stroški dela.

#### 5.4 Uporaba v stanovanjskih stavbah in podobnih objektih

V stanovanjskih stavbah in podobnih objektih se z jeklenimi vlakni mikroarmirani betoni pojavljajo samostojno ali v povezavi s klasično armaturo pri talnih ploščah, temeljnih talnih ploščah, estrihah, kletnih stenah, zunanjih dovoznih voziščnih konstrukcijah, pasovnih temeljih in kletnih stenah (Slika 58) (Bekaert, 2010).

Glavne prednosti za uporabo mikroarmiranega betona pri izdelavi estrihov v stanovanjski gradnji so, da ne potrebujemo nobene posebne naprave za vgrajevanje, ni zahtevnega

prenašanja in polaganja armature, poveča se upogibna nosilnost in krajši čas izdelave. Pri estrihah se uspešno uporablja tudi sinergija jeklenih in polimernih vlaken.



Slika 58: Prikaz uporabe mikroarmiranega betona v stanovanjskih stavbah (Bekaert, 2010)

Pri temeljnih talnih ploščah, talnih ploščah, pasovnih temeljih in kletnih stenah se glavne prednosti gradnje z mikroarmiranim betonom kažejo v hitrejši in prilagodljivejši izvedbi. Zaradi velikih obremenitev se uporablja tudi kombinacija klasične in mikroarmature, pri čemer uporaba jeklenih vlaken vodi v zmanjšanje statično potrebne klasične armature. Vgrajevanje podložnega betona pri mikroarmiranem betonu brez prisotnosti klasične armature ni potrebno. V primeru uporabe pri gradnji zunanjih in notranjih sten je okoli odprtini potrebno namestiti tudi klasično armaturo.

## 5.5 Tankoslojne preplastitve iz mikroarmiranega betona visoke zmogljivosti kot hidroizlacijski obrabni sloj mostov

Hidroizolacije cestnih objektov so na močnejše obremenjenih cestah stalen problem. Tovrstni betoni se za tankoslojne preplastitve (Slika 59) uporabljajo zaradi njihove tesnosti in



prostorske stabilnosti, zaradi prisotnosti vlaken, ki jih je lahko volumensko zelo veliko (tudi izraz prepaktirani mikroarmirani betoni), pa se izjemno poveča duktilnost, žilavost, odpornost proti širjenju razpok kljub visoki doseženi trdnosti, dosežena je visoka stopnja odpornosti proti prodoru vode in obrabi površine. Preplastitve so v splošnem debeline 4 do 5 cm, lahko pa tudi do 15 cm (Šušteršič, 2008).

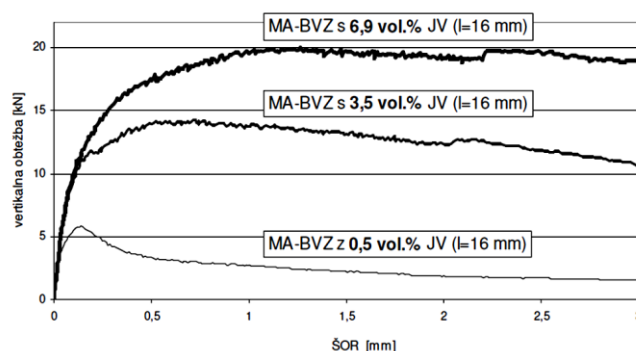


Slika 59: Površina preplastitve mostu čez Kokro pri sotočju z Rupovščico v Kranju (levo) in mostu čez Savo Bohinjko pri Mačkovcu (desno)

Pri izvedbi tankoslojne preplastitve čez Savo v Globokem so po površinski obdelavi voziščne plošče takoj pristopili k pripravi površine za izdelavo hidroizolacijskega-obrabnega sloja. Z namenom, da bi dosegli čim boljše sprejemljivost, so po površini sveže vgrajenega betona najprej potresli jeklena vlakna (približno  $200 \text{ g/m}^2$ ), ki so jih nato utirali v beton z lesenim nabijalom. Na tako pripravljeno površino so začeli nanašati vlakna, ki so jih razgrinjali enakomerno po celi površini v sloju z debelino 1 cm. S polimerom modificirano malto (PMM) so pripravljali v protitočnem gradbiščnem mešalniku, v katerega so dodajali predhodno izmerjene količine posameznih komponent. Tako pripravljena PMM se je vlivala na vgrajena jeklena vlakna. Po površinskem utiranju PMM med vlakna je sledil površinski posip s kremenčevim peskom. Po določenem času so pričeli s strojno površinsko obdelavo. Sledilo je ročno zaglajevanje in nato površinska obdelava z metličanjem. Po približno dveh letih eksploatacije so na nekaj mestih ugotovili odstopanje preplastitve od voziščne plošče. Ne glede na zgoraj ugotovljeno pomanjkljivost izdelave visokozmogljivih mikroarmiranih betonov z veliko količino vlaken (prepaktirani betoni) obstaja že brez tega vprašanje o možnosti kakovostne izdelave te vrste betona v praksi – na gradbišču. Ker je zaradi svojih



dobrih lastnosti beton z veliko količino vlaken zelo primeren za izdelavo tankoslojne preplastitve kot hidroizolacijsko-obrabni sloj mostov, so pristopili k intenzivnemu razvoju, pri čemer poskušajo pripraviti celotni visokozmogljivi mikroarmirani beton z veliko količino vlaken (6.9 vol.%) že v betonarni. V svežem stanju imajo taki betoni dobro obdelovalnost in vgradljivost, v strjenem stanju pa izkazujejo visoko stopnjo duktilnega obnašanja pri visokih trdnostih (Slika 60) (Šušteršič, 2008).



Slika 60: Vpliv količine jeklenih vlaken (dodanih med mešanjem betona) na povečanje duktilnega obnašanja visozmogljivih mikroarmiranih betonov pri starosti 7 dni (Šušteršič, 2008)

## 5.6 Prefabricirani betonski izdelki

### 5.6.1 Visokozmogljivi prednapeti železniški pragovi

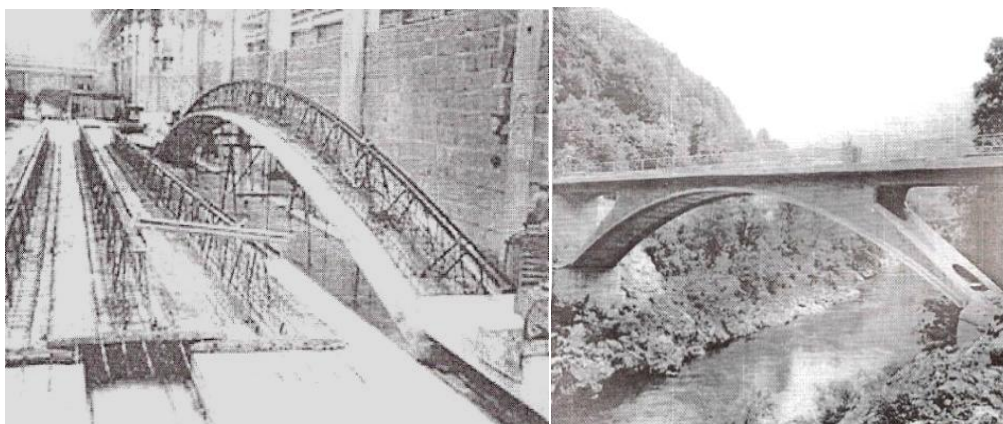
Prednapeti železniški pragovi iz mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni (Slika 61) imajo bistveno izboljšanje mehanskih lastnosti v primerjavi s prednapetimi pragovi iz običajnega betona. Ker so mehanske lastnosti praga direktno povezane s sestavo betona, iz katerega je izdelan, je možno prirejati te mehanske lastnosti praga. To pomeni, da se lahko izdelava več vrst pragov v odvisnosti od zahtev na progah, na katere se pragovi vgradijo. Zaradi poligonalnega poteka kablov in oblike naležne ploskve je razvit tudi poseben, dokaj nov stroj za proizvodnjo takih pragov, ki omogoča istočasno prednapenjanje vrvi, vibriranje betona in oblikovanje naležne ploskve (Šušteršič, 2008).



Slika 61: Vgrajeni visokozmogljivi mikroarmirani betonski pragovi na železniški progi Ljubljana–Postojna

### 5.6.2 Tanke prednapete plošče

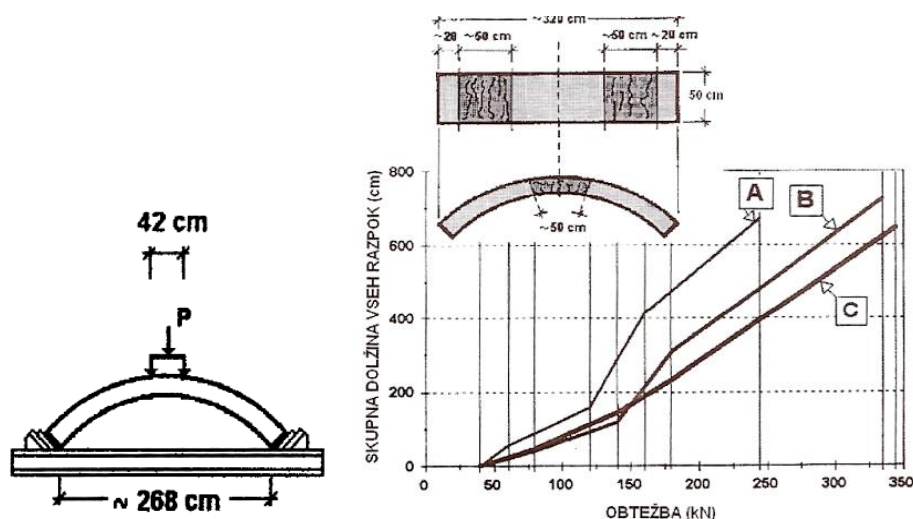
Tanke prednapete plošče, debeline 4 cm, narejene iz mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni, se uporabljajo kot izgubljeni opaž pri gradnji ločnih mostov (Slika 62). Zanimivo je, da se plošče izdelajo na ravni površini v proizvodnem obratu, nato pa se jih v 24 do 48 urah od vgraditve betona ukrivi v obliki loka, brez pojava razpok. Do sedaj se tanke prednapete plošče uporabljajo pri razponih do 40 m. Njihov potencial še ni polno izkoriščen (Šušteršič, 2008).



Slika 62: Ravne in v loku oblikovane tanke prednapete plošče v proizvodnem obratu (levo) in zgrajeni ločni most čez Sočo blizu Doblarja (desno)

### 5.6.3 Panelne plošče iz mikroarmiranega betona za podgrajevanje jamskih prehodov

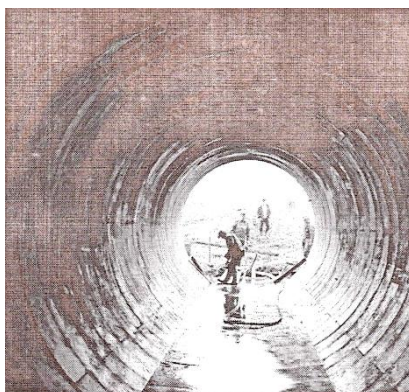
V bližnji preteklosti se je podgrajevanje jamskih prehodov izvajalo s klasično armiranimi panelnimi ploščami, pri katerih je prihajalo do strižnih porušitev. Na podlagi zahteve po trajnejši oblogi se je modificiral mikroarmirani beton z jeklenimi vlakni v kombinaciji z minimalnim številom armaturnih palic in stremen, se pravi, da je bila prisotna le konstruktivna armatura. Pomembna izboljšava se kaže v duktilnem obnašanju porušitve panelne plošče v laboratoriju (Preglednica 9). Vidno izboljšavo panelne plošče iz mikroarmiranega betona predstavlja tudi sposobnost preprečevanja širjenja razpok (Slika 63). Podobne panelne plošče se uporablja tudi za gradnjo vodnih rovov (Slika 64) (Šušteršič, 2008).



Slika 63: Shematičen prikaz načina obremenjevanja panelne plošče v laboratoriju (levo) in prikaz skupne dolžine vseh razpok A, B, C v odvisnosti od obtežbe (desno) (Šušteršič, 2008)

Preglednica 9: Pregled opravljenih meritev z ugotovitvami (Šušteršič, 2008)

oznaka panelne plošče	$D_{max}$	jeklena vlakna (vol.%)	armatura		$F_{max, povpr}$ (kN)	način porušitve
	(mm)		palice	stremena		
A	32	0	2×3Ø12mm	Ø6mm/15cm	245,6	strižna
B	16	0,5	-	-	335,5	upogibna
C	16	0,5	2×3Ø8mm	Ø6mm/50cm	345,8	duktilno obnašanje



Slika 64: Vodni rov Drtijiščica. Notranja obloga: paneli širine 75 cm in debeline 12 cm

## 5.7 Sanacije

Mikroarmirani betoni in malte z jeklenimi vlakni so idealen kompozit za izvajanje sanacij, saj se ga lahko vgrajuje v tankih plasteh, brez klasične armature, in ima dobro odpornost proti širjenju razpok. Prav tako ima odlično sposobnost sprijetja s starimi betoni, kar je pri sanacijah velikokrat ključnega pomena. Kot sanacijski material se uporablja pri energetskih, hidrotehničnih, premostitvenih in kulturno-zgodovinskih objektih. Z njim se uspešno sanira tudi v požaru poškodovane konstrukcije, predore in cestišča (Leskovar, 2008). Pri sanacijah se pogosto uporablja kombinacija več vrst vlaken, predvsem polimernih in jeklenih. S tem se doseže maksimalna optimizacija betona kot kompozita za posamezen namen uporabe.

V primeru sanacije finalnega sloja obstoječih industrijskih tlakov se sanacije navadno izvajajo z uporabo mikroarmiranih betonov s polimernimi vlakni. V primeru sanacij finalnega sloja, kjer je zaradi velikih odstopanj od zahtevane ravnosti potrebna izravnava v večjih debelinah, se za izravnavo uporabljajo tudi z jeklenimi vlakni mikroarmirani betoni.

## 5.8 Hidrotehnični objekti

V Sloveniji so se izkušnje z uporabo z jeklenimi vlakni ojačanega betona začele pridobivati pri gradnji hidroelektrarne Vrhovo, ki je prva v verigi savskih hidroelektarn. Takrat so se

izdelale študije abrazijsko odpornih mikroarmiranih betonov. Na splošno so uporabljeni z jeklenimi vlakni mikroarmirani betoni izpolnili zahtevo glede abrazijske odpornosti, kar je bilo potrjeno z meritvami obrabe betonskih površin. Problematičnost njihove uporabe pa se je pokazala pri pripravi mešanic v betonarni in še posebej pri vgrajevanju ter zagotavljanju kvalitetnega stika med primarnim betonom in mikroarmirano betonsko oblogo. Na Vrhovem so postavili poskusna polja na lokaciji prelivnih polj, na podlagi katerih so prišli do poglobitvenih spoznanj in uvedli primerne postopke vgrajevanja in mešanja z jeklenimi vlakni mikroarmiranih betonov.

Uporabljena sestava betona pri vgradnji abrazijsko odpornih betonskih oblogah na prelivnih poljih HE Vrhovo je vsebovala polipropilenska in jeklana (z zakrivljenimi konicami, dolžine 16 mm, debeline 0.5 mm) vlakna, največje zrno agregata pa je bilo 16 mm. Pri kasnejši vgradnji betonskih oblog na prelivnih poljih HE Boštanj pa so zaradi boljše vgradljivosti izbrali sestavo z največjim zrnem agregata 8 mm. Obe sestavi se uvrščata v razred visokotrdnih betonov (Preglednica 10).

Preglednica 10: Pregled uporabljenih receptur betonskih mešanic pri HE Vrhovo in HE Boštanj za 1 m<sup>3</sup> betona (Kryžanowski, 2009)

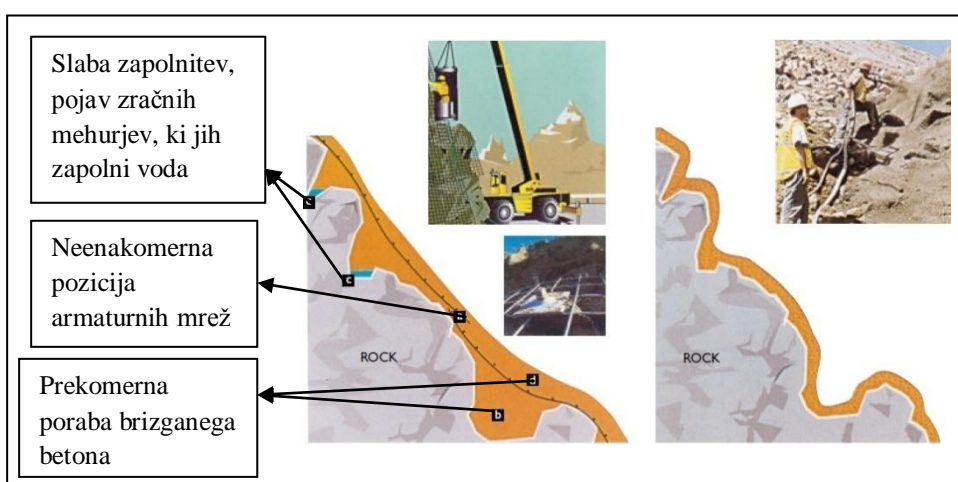
Sestava betonskih mešanic		HE Vrhovo	HE Boštanj
Cement	Kg	440	450
Razmerje V/C		0,391	0,414
superplastifikator	m/m% na maso cementa	0,9	0,9
Mineralni dodatek (SiO <sub>2</sub> >90%)	m/m% na maso cementa	5	5
Jeklana vlakna	v/v%	0,5	0,5
Polipropilenska vlakna (L=10 mm)	v/v%	0,05	0,05
Frakcije prodnatega agregata ( mm)			
0-4	v/v%	48	69
0-8		15	31
8-16		37	/

Mikroarmirani betoni se velikokrat uporabljajo pri sanaciji abrazijskih in kavitacijskih poškodb betonskih površin na vodnih zgradbah. Zaradi ustrežnejših karakteristik v primerjavi z običajnimi betoni se mikroarmirani betoni vse bolj uveljavljajo tudi kot samostojni material

pri gradnji kritičnih odsekov na vodnih zgradbah. V več primerih so izkazali zadovoljivo odpornost na udarno abrazijo, povzročeno z večjimi frakcijami plavin pri velikih hitrostih toka. Razlog za to je povečana žilavost materiala in povezanost betonske strukture z vlakni, kar zelo otežuje drobljenje betona in omejuje plavljenje okruškov. Odpornost visokotrdnih betonov na abrazijsko erozijo je pri uporabi daljših jeklenih vlaken (nad 50 mm), v primerjavi s primerljivim betonom brez vlaken, večja tudi za 30 %, medtem ko je pri krajših jeklenih vlaknih (30mm) ta razlika minimalna (Kryžanowski, 2009).

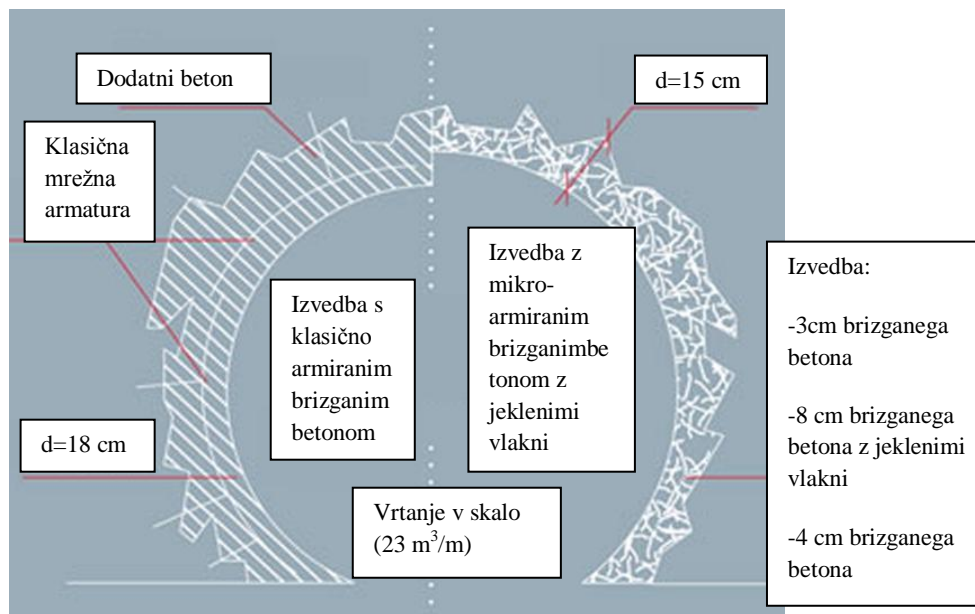
## 5.9 Brizgane betonske obloge

Tehnične prednosti mikroarmiranih brizganih betonov se kažejo med drugim v povečanju odpornosti proti dinamični obremenitvi, večji začetni trdnosti in nosilnosti ter večji odpornosti proti mehanskim poškodbam. Varnost pri delu se pomembno izboljša. Možnost pojava zračnih mehurjev v betonu se izniči. Jeklena vlakna v brizganih betonih pripomorejo k manjši porabi betona, saj moramo pri klasični uporabi upoštevati prekritje armaturne mreže, ki je od podlage nameščena na določeni, velikokrat neenakomerni oddaljenosti (Slika 65).



Slika 65: Izvedba brizgane obloge s klasično armiranim brizganim betonom (levo) in z mikroarmiranim brizganim betonom z jeklenimi vlakni (desno)





Slika 66: Prikaz izvedbene primerjave gradnje obloge predora z mikroarmiranim in klasično armiranim brizganim betonom (Krampe Harex, 2010)

Brizgane betonske obloge z jeklenimi vlakni se uporabljajo za podzemne obloge v tunelih in rudnikih (Slika 66), za stabilizacijo kamnitega ali zemeljskega pobočja ob avtocestah in železniških progah ter pri izkopu gradbenih jam (Slika 65).

Mikroarmiran beton z jeklenimi vlakni ima številne možnosti končne uporabe, ki so v svetu veliko bolj izkoriščene kot v Sloveniji. Glavni razlog za to je nepoznavanje mikroarmiranega betona kot materiala in tehnoloških postopkov gradnje z njimi.

## **6 STROŠKOVNA, IZVEDBENA IN KAKOVOSTNA PRIMERJAVA INDUSTRIJSKEGA TLAKA, GRAJENEGA S KLASIČNO ARMIRANIM IN Z MIKROARMIRANIM BETONONOM Z JEKLENIMI VLAKNI**

### **6.1 Uvod**

Mikroarmiran beton z jeklenimi vlakni se zelo pogosto uporablja pri gradnji industrijskih tlakov. To so tlaki za večnamensko industrijsko uporabo, kot so na primer transportne poti v obratih, skladiščne površine, tlaki v delavnicah, laboratorijih in podobno. V najširšem pomenu spadajo pod industrijske tlake vsi tlaki, ki se nahajajo v stanovanjih in ki se ne uporabljajo kot voziščne konstrukcije zunaj industrijskih hal. Na njih je predvidena vožnja z industrijskimi vozili, bodisi s pnevmatikami, z mehкими polnimi kolesi ali s trdimi polnimi kolesi in težkimi tovari.

V okviru stroškovne, izvedbene in kakovostne primerjave gradnje industrijskega tlaka s klasično armiranim in mikroarmiranim betonom smo izdelali statične in kalkulacijske izračune obravnavanih primerov tlakov, na podlagi katerih smo prišli do ugotovitev, ki jih bomo v nadaljevanju predstavili. Znotraj mikroarmiranih betonskih tlakov smo opredelili tri variante izvedb, ki se medsebojno razlikujejo v razdaljah med stiki, izvedenimi z rezanjem navideznih reg spojníc.

### **6.2 Osnovne predpostavke**

Predvidena je izvedba industrijskega tlaka, ki leži na dobro komprimirani ( $E_{V2} > 100$  Mpa) tamponski podlagi, katera je prekrita s PVC folijo. Predpostavlja se, da bo med uporabo predmetnega industrijskega tlaka znašala koristna osna obtežba viličarja  $Q_k = 90$  kN. Predvidena koristna površinska obtežba skladišča po celotni površini tlaka znaša  $15$  kN/m<sup>2</sup>. Industrijski tlak je dimenzij  $20 \times 12$  m, njegova debelina pa znaša  $200$  mm. Celoten industrijski tlak se betonira enopotezno in se ga razdeli na polja z rezanjem navideznih reg



spojnic. Zgoščevanje betona se izvrši z vibracijskimi iglami, vgrajevanje pa poteka s pomočjo avtočrpalke. Konsistenčna stopnja svežega mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni na gradbišču, merjena po metodi poseda stožca, naj znaša 120-160 cm. Obdelava površine se izvaja z rotacijskimi gladili.

## 6.3 Mikroarmirani betonski industrijski tlak

### 6.3.1 Kriteriji kakovosti mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni

#### 6.3.1.1 Kriteriji kakovosti za mikroarmiran beton pri velikosti polja stikov 20 x 12 m (brez navideznih reg spojníc)

Na osnovi statičnega izračuna (**Priloga A**) bi moral mikroarmiran beton, ki je predviden za izdelavo industrijskega tlaka z debelino  $d = 200$  mm, za polje stikov velikosti 20 x 12 m (brez stikov oziroma navideznih reg spojníc) izpolnjevati naslednje kriterije:

- tlačna trdnost C 25/30,
- upogibna natezna trdnost (povprečna največja trdnost  $f_u \geq 5,5$  N/mm<sup>2</sup>), meritve na prizmi, z dimenzijami 10 x 10 x 40 cm z zarezo na sredini prizme pri starosti 28 dni,
- krčenje betona (največji dovoljeni povprečni skrček pri šestih mesecih je 0,8 mm/m),
- povprečna največja cepilna trdnost  $f_{ct} \geq 3,7$  N/mm<sup>2</sup>, meritve na kocki z robom 15 cm pri starosti betona 28 dni po metodi cepitve z zagozdo,
- odpornost proti širjenju razpok (povprečna ekvivalentna trdnost do širine razpoke 0,2 mm  $f_{0,2} \geq 2,8$  N/mm<sup>2</sup>), meritve na kocki z robom 15 cm pri starosti betona 28 dni po metodi cepitve z zagozdo,
- odpornost proti prodoru vode (največja globina prodora vode manjša od 3 cm)

#### 6.3.1.2 Kriteriji kakovosti za mikroarmiran beton pri velikosti polj stikov 12 x 10 m

Na osnovi statičnega izračuna (**Priloga A**) bi moral mikroarmiran beton, ki je predviden za

izdelavo industrijskega tlaka z debelino  $d = 200$  mm, za polje stikov velikosti  $6 \times 5$  m, večinoma izpolnjevati enake kriterije kot pri polju  $20 \times 12$  m, razlike pa so pri povprečni največji cepilni trdnosti in odpornosti proti širjenju razpok:

- povprečna največja cepilna trdnost  $f_{ct} \geq 2,2$  N/mm<sup>2</sup>, meritve na kocki z robom 15 cm pri starosti betona 28 dni po metodi cepitve z zagozdo,
- odpornost proti širjenju razpok (povprečna ekvivalentna trdnost do širine razpoke 0,2 mm  $f_{0,2} \geq 1,7$  N/mm<sup>2</sup>), meritve na kocki z robom 15 cm pri starosti betona 28 dni po metodi cepitve z zagozdo.

#### 6.3.1.3 Kriteriji kakovosti za mikroarmiran beton pri velikosti polj stikov $6 \times 5$ m

Na osnovi statičnega izračuna (**Priloga A**) bi moral mikroarmiran beton, ki se uporablja za izdelavo industrijskega tlaka z debelino  $d = 200$  mm za polje velikosti stikov  $6 \times 5$  m večinoma izpolnjevati enake kriterije kot pri polju  $20 \times 12$  m. Razlike pa so pri povprečni največji cepilni trdnosti in odpornosti proti širjenju razpok:

- povprečna največja cepilna trdnost  $f_{ct} \geq 1,0$  N/mm<sup>2</sup>, meritve na kocki z robom 15 cm pri starosti betona 28 dni po metodi cepitve z zagozdo,
- odpornost proti širjenju razpok (povprečna ekvivalentna trdnost do širine razpoke 0,2 mm  $f_{0,2} \geq 0,7$  N/mm<sup>2</sup>), meritve na kocki z robom 15 cm pri starosti betona 28 dni po metodi cepitve z zagozdo.

#### 6.3.2 Sestava mikroarmiranega betona za predviden industrijski tlak

Sestava betona mora zagotoviti, da bodo zadovoljeni vsi kriteriji kakovosti za mikroarmiran beton. V praksi se pri sestavi mikroarmiranega betona z vsebnostjo vlaken v prostorninskem deležu do 2 % uporabi kar primerno sestavo običajnega betona, kateremu so nato dodana vlakna. Pri tem je potrebno ustrezen prostorninski delež agregata zamenjati z jeklenimi vlakni, pri čemer se krivulja zrnivosti agregata ne sme spremeniti. Zaradi tega se z dodajanjem jeklenih vlaken povečuje projektirana prostorninska masa betona.

Primer ene izmed možnih sestav običajnega betona, primerne za modifikacijo v mikroarmirani beton z jeklenimi vlakni (za 1 m<sup>3</sup> betona):

- Oznaka betona C25/30-*XC4/XC3*/D<sub>max</sub>22/C10.02/S3/PV-II
- Cement (CEM II/A-S 42,5R Ahnovo).....360 kg
- Zamesna voda.....181 l ((v/c)<sub>tot</sub>=0.50)
- Plastifikator Delta Extra.....1.08 l
- Agregat D<sub>max</sub>= 22 mm – drobljeni kamni agregat separacije Laže:
  - 0–2 mm.....564.4 kg
  - 0–4 mm.....376.5 kg
  - 4–8 mm .....95.4 kg
  - 8–16 mm.....378.4 kg
  - 16–22 mm.....472.5 kg
- Projektirana prostorninska masa svežega betona: 2429.3 kg/m<sup>3</sup>

Zgoraj navedena sestava betona ustreza zahtevanim karakteristikam za uporabo v klasično armirani betonski izvedbi obravnavanega industrijskega tlaka.

### 6.3.2.1 Količina betonu dodanih jeklenih vlaken

Količino betonu dodanih jeklenih vlaken se določi na osnovi statičnih izračunov in rezultatov laboratorijskih preskusov (najpomembnejša sta upogibni preskus in cepilni preskus z zagozdo). Najpogosteje se uporabljajo vlakna z zakrivljenimi konicami, saj se z njimi pridobi zelo dobre mehanske lastnosti mikroarmiranega betona. Pogosto se uporabi dve različni dimenziji ali obliki vlaken v eni betonski mešanici. Optimalna količina dodanih vlaken se lahko določi le z obravnavanjem vsakega primera uporabe v gradnji posebej, glede na zahtevane lastnosti grajenega betonskega elementa.

Ni nujno, da se z večanjem pričakovanih zunanjih obtežb povečuje tudi količina betonu dodanih vlaken, saj imajo največkrat glavno vlogo pri določitvi količine vlaken napetosti zaradi krčenja in ne največje upogibne natezne napetosti. To pomeni, da je v splošnem,

predvsem pa pri velikih razdaljah med stiki, že sama količina betonu dodanih vlaken, ki je potrebna za doseg zahtevane cepilne trdnosti veliko prevelika, kar se tiče doseganja zahtevane upogibne trdnosti. Tudi zato smo pri statičnem izračunu glede zunanjih obremenitev mikroarmiranega industrijskega tlaka še dodatno vedno na varni strani.

Na podlagi statičnega izračuna (**Priloga A**) je podjetje IRMA, d.o.o., na osnovi njihovih laboratorijskih preiskav mikroarmiranega betona z jeklenimi vlakni določilo potrebne količine betonu dodanih jeklenih vlaken.

Z večanjem razdalj med stiki se povečuje količina betonu dodanih jeklenih vlaken, saj se napetosti in deformacije zaradi krčenja povečujejo. Za obravnavan industrijski tlak so primerne naslednje količine betonu dodanih jeklenih vlaken z zakrivljenimi konicami, izdelanih iz hladno vlečene žice, proizvajalca IRI, d.d.:

- Polje stika 20 m x 12 m:
  - JV 50/16.....30 kg/m<sup>3</sup>
  - JV 50/30.....20 kg/m<sup>3</sup>
  - ┆ Povprečen faktor oblike vlaken: 43
    - Povprečna dolžina vlaken: 22 mm
    - Prostorninski delež jeklenih vlaken: 0.6 %
  
- Polje stika 12 m x 10 m:
  - JV 50/16.....20 kg/m<sup>3</sup>
  - JV 50/30.....20 kg/m<sup>3</sup>
  - ┆ Povprečen faktor oblike vlaken: 46
    - Povprečna dolžina vlaken: 23 mm
    - Prostorninski delež jeklenih vlaken: 0.5 %
  
- Polje stika 6 m x 5 m:
  - JV 50/16.....5 kg/m<sup>3</sup>
  - JV 50/30.....20 kg/m<sup>3</sup>
  - ┆ Povprečen faktor oblike vlaken: 54,4
    - Povprečna dolžina vlaken: 27 mm
    - Prostorninski delež jeklenih vlaken: 0.3 %

Jeklena vlakna JV 50/16 so dolžine 16 mm in premera 0.5 mm. Število teh vlaken je 40800 vlaken/kg. Priporoča se doziranje od  $10 \text{ kg/m}^3$ . Faktor oblike znaša 32. Natezna trdnost vlaken je 800 MPa. Narejena so iz hladno vlečene jeklene žice krožnega preseka.

Jeklena vlakna JV 50/30 so dolžine 30 mm in premera 0.5 mm. Število teh vlaken je 20400 vlaken/kg. Priporočeno doziranje je od  $20 \text{ kg/m}^3$ . Faktor oblike znaša 60. Natezna trdnost vlaken je 900 MPa. Narejena so iz hladno vlečene jeklene žice krožnega preseka.

## **6.4 Klasično armirani betonski industrijski tlak**

### **6.4.1 Mrežna jeklena armatura**

Za obravnavan industrijski tlak na podlagi statičnega izračuna (**Priloga B**), ki ga je izdelalo podjetje Proding, d.o.o., določimo zgornjo in spodnjo mrežno armaturo Q283, dimenzij 220 x 500 cm. Preklop med mrežami mora biti minimalno 30 cm. Oddaljenost težišča zgornje armature od površine betonskega tlaka je 3.5 cm. Na isti oddaljenosti je težišče spodnje armature od spodnjega dela prečnega prereza tlaka.

### **6.4.2 Razdalje med stiki (navideznimi regami spojnicami)**

Dimenzije polj stikov (navideznih reg spojnic) so 6 x 5 m, izbrano glede na dimenzije industrijskega tlaka. Po priporočilih je maksimalna razdalja med stiki določena kot 33-kratnik debeline plošče.

Primerna sestava betona je identična sestavi, opisani v poglavju 6.3.2.

## 6.5 Kalkulativni izračuni

Kalkulativni izračuni (**Priloga C**) za vse obravnavane izvedbe industrijskega tlaka so izdelani na podlagi normativov podjetja Energoplan, d.o.o., brez upoštevanja popustov in pribitkov na postavke in brez davka na dodano vrednost (DDV). Upoštevana so vsa glavna dela znotraj zemeljskih, betonskih in armiranobetonskih ter tesarskih del.

Pri izvedbi z mikroarmiranim betonom z jeklenimi vlakni ni potrebe po dobavi in vgrajevanju armature. Pogosto se izniči tudi potreba po črpanju betona, vendar smo zaradi nepristranskosti tudi pri izvedbi tlaka z mikroarmiranim betonom v kalkulativnem izračunu predpostavili vgrajevanje z avtočrpalko.

## 6.6 Stroškovna primerjava

Razlike v stroških različnih variant izvedb industrijskega tlaka se v splošnem pojavljajo le zaradi razlik pri betonskih in armirano betonskih delih.

Pri kalkulativnem izračunu vidimo, da je cena betonskih del obravnavanega tlaka iz mikroarmiranega betona za 1.1 % nižja od cene betonskih in armirano betonskih del tlaka iz klasično armiranega betona pri isti velikosti polj stikov (6 x 5 m). Vrednostni delež jeklenih vlaken glede na vrednost celotnih betonskih del pri izvedbi tlaka z mikroarmiranim betonom pri polju stika 6 x 5 m je 23 %. Porabljen čas za izvedbo betonskih in armirano betonskih del se pri uporabi mikroarmiranega betona v primerjavi klasično armiranim zmanjša za 15.5 %, kar predstavlja 40 delavnih ur, ki predstavljajo dobavo in vgrajevanje armaturnih mrež pri izvedbi s klasično armiranim betonom (Slika 67). Glede na občutno pocenitev betonskih in armirano betonskih del in precejšnim prihrankom v času je izvedba industrijskega tlaka iz mikroarmiranega betona smiselna.

Pri velikosti polj stikov 12 x 10 m in pri izvedbi brez stikov (brez rezanja reg spojin) se vrednost betonskih in armirano betonskih del pri izvedbi z mikroarmiranim betonom glede na klasično armirano izvedbo tlaka poveča za 12.9 % in 22.7 %. Vrednost se poveča samo zaradi

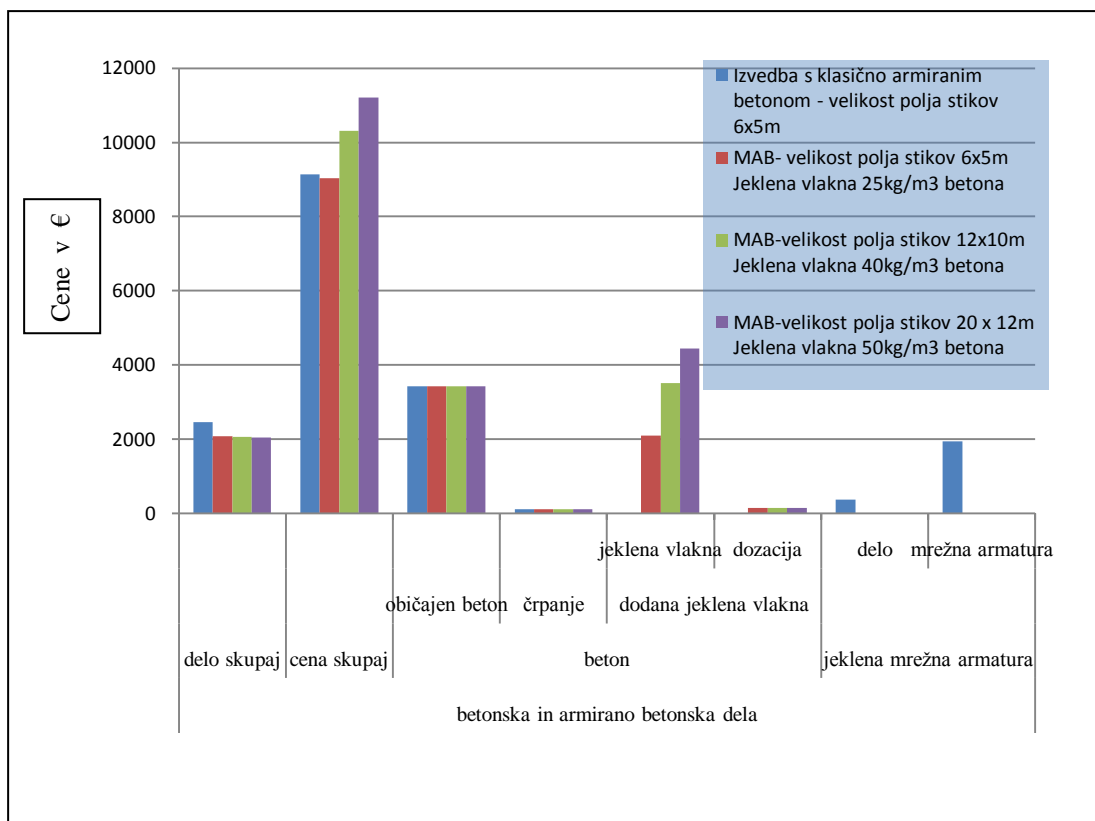
povečanja količine dodanih vlaken. Vrednostni delež jeklenih vlaken glede na vrednost celotnih betonskih del pri izvedbi tlaka iz mikroarmiranega betona je 34 % za varianto s polji stikov velikosti 12 x 10 m in 40 % za varianto brez reg (Slika 67). Prihranek v času glede na izvedbo s 5 x 6 m polji stikov je minimalen, nastane pa zaradi manjših razdalj rezanja reg, pri polju brez reg pa je izključena tudi namestitev silikonskega kita v rege spojnice.

V kalkulacijskem izračunu smo pri vseh variantah v stroških upoštevali tudi črpanje betona s črpalko. Pri gradnji tlakov iz mikroarmiranega betona to velikokrat ni potrebno, saj ni mrežne armature, ki bi onemogočala dostop za potrebe vgrajevanja betona. Razlika zaradi tega v stroških ni bistvena.

Gradnja industrijskega tlaka z mikroarmiranimi betoni z jeklenimi vlakni je torej hitra in cenovno ugodna. Stroški gradnje hitro porastejo pri zahtevah po industrijskih tlakih s čim večjimi razdaljami med stiki ali celo brez njih. Za doseg tega cilja obstajajo tudi posebni kemični dodatki, ki se dodajo betonu, vendar je njihova cena višja od cene jeklenih vlaken. Zato se uporaba jeklenih vlaken tudi pri takih zahtevah izkaže kot ekonomična.

Življenjska doba tlaka iz mikroarmiranega betona je zaradi povečane odpornosti proti udarcem, abraziji in utrujanju daljša kot pri klasično armiranemu, zato se z njihovo uporabo izognemo tudi stroškom preplastitev v prihodnosti.

Opravljen stroškovna primerjava ne velja le za industrijske tlake. Privzame se jo lahko tudi za vse talne plošče. Pri gradnji temeljev in drugih elementov, kjer sta zahtevnost in količina nameščanja klasične armature večja, se izvedba elementa z mikroarmiranim betonom izkaže tudi kot bolj ekonomična rešitev kakor pri obravnavanem industrijskem tlaku.



Slika 67: Prikaz stroškov razčlenjenih betonskih in armirano betonskih del za klasično armiran betonski industrijski tlak in za mikroarmirane tlake z različnimi velikostmi polj stikov

## 6.7 Izvedbena primerjava

V splošnem gradnja z mikroarmiranim betonom, kar zadeva betonerska dela, poteka enako kot s klasično armiranimi betoni. Klasična armatura ni prisotna, zato delo poteka hitreje in lažje kot pri klasično armiranem betonu, saj je razgrinjanje in vibriranje betona enostavnejše. Lažje se tudi doseže zahtevano ravnost površine. Zaradi lažjega vgrajevanja se zmanjša verjetnost, da bi avtomešalniki s svežim betonom predolgo čakali na gradbišču zaradi prepočasnega vgrajevanja, kot se to z večjo verjetnostjo lahko pripeti pri gradnji s klasično armiranim betonom. Organizacija gradbenih del je pri uporabi mikroarmiranega betona enostavnejša, saj je izpuščena celotna faza dobave, skladiščenja na gradbišču, transporta in nameščanja klasične armature in tudi ne prihaja do odpadne jeklene armature.



Najpomembnejša faza zemeljskih del je vgrajevanje in utrjevanje gramoznega tampona. Nujen je doseg zahtevane zbitosti tampona, saj je industrijski tlak iz mikroarmiranega betona zelo občutljiv na nepredvidene posede temeljnih tal.

Za potrebe kontrole proizvodnje se pri mikroarmiranem betonu poleg vseh preskusov, ki se jih vrši tudi pri običajnem betonu, izvaja tudi preskus največje cepilne trdnosti in odpornosti mikroarmiranega betona proti širjenju razpoke po metodi cepitve z zagozdo, pri starosti mikroarmiranega betona 28 dni, za potrebe katerega se na gradbišču odvzamejo 3 kocke s stranico 15 cm. Ravno tako se odvzamejo 3 prizme, dimenzij 10 x 10 x 40 cm, za določitev upogibne natezne trdnosti pri starosti 28 dni.

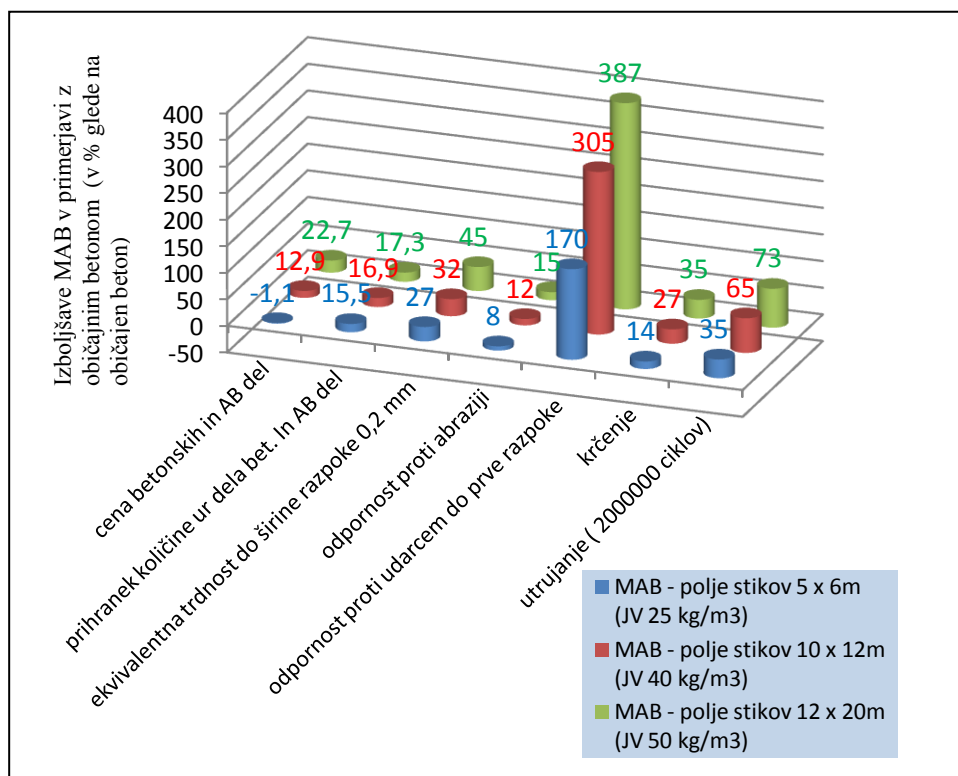
Gradnja z mikroarmiranim betonom je v primerjavi z običajnim betonom tehnološko zahtevnejša, saj je posebno pozornost potrebno nameniti doziranju jeklenih vlaken ob zamešanju in vgrajevanju mešanice.

## **6.8 Kakovostna primerjava**

V splošnem se z betonu dodanimi vlakni izboljša vse njegove mehanske lastnosti. Zanimljivo spremenjene so odpornost proti zmrzovanju in tajanju, vodotesnost, tlačna in natezna trdnost. Pri prostorninskem deležu 10 % betonu dodanih jeklenih vlaken se natezna trdnost tudi 5-krat poveča. Pri prostorninskih deležih, manjših od 2 %, ki smo jih v variantah industrijskega tlaka uporabili, pa je povečanje natezne in tlačne trdnosti zaradi dodanih vlaken minimalno. Velikosti pomembnejših izboljšav obravnavanih tlakov, ki jih pridobimo z uporabo jeklenih vlaken v betonu, so predstavljene v Sliki 68.

Izvedba navideznih reg spojnic je potrebna zaradi pojava nepovratnih (krčenje) in povratnih (širjenje in krčenje zaradi temperaturnih razlik) deformacij. Pri klasični izvedbi industrijskega tlaka bi težko dosegli večje polje stikov kot 6 x 6 m. Ob uporabi kemičnih dodatkov za zmanjševanje krčenja betona in z izvedbo sidranja betonske plošče je sicer mogoče doseči nekajkratno povečanje razdalj med stiki, vendar so vsi ti ukrepi gradnjo močno podražijo.

Z mikroarmiranim betonom se ob pravilni sestavi betona in ustrezno količino dodanih jeklenih vlaken lahko doseže tudi polje stikov v velikosti 50 x 50 m. V dveh izmed obravnavanih variantah tlaka iz mikroarmiranega betona so predvidene rege spojnice. Robovi teh reg so pri klasično armiranemu industrijskemu tlaku zelo obremenjeni in nagnjeni h poškodbam, pri mikroarmiranem betonskem tlaku pa so v samem robu stika razporejena jeklena vlakna, ki poškodbe preprečujejo.



Slika 68: Deležni prikaz pomembnejših izboljšav, ki jih prinaša gradnja z mikroarmiranim betonom z jeklenimi vlakni glede na gradnjo s klasično armiranim betonom za obravnavani industrijski tlak

Utrufanje, odpornost proti udarcem in abrazijska odpornost so lastnosti betona, ki se z dodanimi jeklenimi vlakni močno izboljšajo. Zaradi teh lastnosti bo industrijski tlak iz mikroarmiranega betona dlje časa služil namenu kot tlak iz klasično armiranega betona.

## 7 ZAKLJUČKI

V nalogi smo obširneje predstavili problematiko tehnologije gradnje mikroarmiranih betonov z jeklenimi vlakni. Če povzamemo, smo v splošnem ugotovili naslednje:

Jeklena vlakna v betonu v splošnem izboljšajo vse pomembnejše mehanske lastnosti strjenega betona, vendar je potrebno pri tem upoštevati, da se zmanjša obdelavnost sveže betonske mešanice in je zato tehnologija gradnje mikroarmiranih betonov zahtevnejša. Za zagotovitev ustrezne konsistence pri vgrajevanju je zatorej potrebno dodati posebne dodatke (plastifikatorje oziroma superplastifikatorje), ki omogočajo boljšo obdelavnost svežega betona pri vgrajevanju.

Posebno pozornost je potrebno nameniti tehnologiji izvedbe pri doziranju jeklenih vlaken ob zamešanju, ki je odvisna od tipa jeklenih in načina doziranja vlaken v mešalnik. Končni cilj pri vgradnji mikroarmiranega betona je zagotovitev enakomerne porazdelitve vlaken v betonski strukturi. Ob nepravilnem doziranju jeklenih vlaken v mešanico, se vlakna skepajo. To pomeni, da bodo vlakna v strjenem betonu nehomogeno porazdeljena, posledično pa bo prišlo do lokalnih oslabitev betonskega konstrukcijskega elementa.

Z uporabo krajših jeklenih vlaken v betonu je obdelavnost in homogenost sveže betonske mešanice boljša, po drugi strani pa so mehanske lastnosti strjenega betona slabše v primerjavi z betoni z dodatkom daljših vlaken. V praksi praviloma iščemo tehnološki optimum, kjer imata dobra obdelavnost in homogenost porazdelitve vlaken prednost pred izboljšanjem mehanskih lastnosti strjenega betona. Zato se v praksi za ojačitev betona pogosto uporabljajo krajša jeklena vlakna, mehanske lastnosti pa izboljšamo z večjo količino dodanih vlaken, kot bi bilo potrebno v primeru uporabe daljših vlaken.

V okviru naloge smo naredili tudi primerjalno analizo izvedbe industrijskih tlakov z običajnim betonom in mikroarmiranim betonom z jeklenimi vlakni, pri kateri smo ugotovili naslednje:

Rezultati stroškovne, izvedbene in kakovostne primerjave industrijskega tlaka, grajenega z mikroarmiranim betonom z jeklenimi vlakni in klasično armiranim betonom, kažejo na to, da je z uporabo jeklenih vlaken izboljšana kakovost tlakov, njihova izvedba pa je lažja in hitrejša ter nenazadnje tudi ekonomsko upravičena.

Mikroarmiran beton z jeklenimi vlakni ima številne možnosti končne uporabe, ki so v svetu bolj izkoriščene kot v Sloveniji. Glavni razlog za to je nepoznavanje mikroarmiranega betona kot materiala in problematika doziranja vlaken v mešanico ter samega mešanja. Gradbeni izvajalci imajo utečen postopek gradnje s klasično armiranim betonom in dobro poznajo njegove prednosti in slabosti, zato se večino gradenj izvaja z običajnimi betoni. Vendar se bo v bližnji prihodnosti mikroarmiran beton z jeklenimi vlakni, zaradi njegovih dobrih mehanskih lastnosti in cenovne dostopnosti, v gradbeništvu uporabljal za vse namene in v vseh okoliščinah.

## VIRI

ACI Committee 544.1R. State-of-art report on fiber reinforced concrete, Farmington hills, American concrete institute: 66 str.

ACI Committee 544.2R. Measurement of properties of fiber reinforced concrete, Farmington hills, American concrete institute: 11 str.

ACI Committee 544.3R. Guide for specifying, proportioning, mixing, placing and finishing steel fiber reinforced concrete, Farmington hills, American concrete institute: 10 str.

ACI Committee 544.4R. Design considerations for steel fiber reinforced concrete, Farmington hills, American concrete institute: 18 str.

ArcelorMittal.

<http://www.arcelormittal.com/distributionsolutions/repository/fanny/Flooring-UK.pdf>

(20.10.2010)

Balaguru, P. N., Shah, S. P. 1992. Fiber-reinforced cement composites, New York, McGraw: 523 str.

Banthia, N. 2008. Fiber reinforced concrete for smart, durable and sustainable infrastructure. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 2008. 15. Slovenski kolokvij o betonih – Industrijski tlaki, Ljubljana, 9. September 2008, Zbornik gradiv in referatov: str. 47–61.

Bekaert.

<http://www.bekaert.com/en/Product%20Catalog/Application/Construction/Concrete%20reinforcement.aspx?Industry={4FF19777-D0F7-413A-B75C-321C9E85D6F}&ProductCategory={C4F50332-AB47-4095-B56B-96964A7F18EF}> (10.03.2010)

Bokan Bosiljkov, V. 1996. Modificirani betoni pri visokih temperaturah. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 184 str.

Bokan Bosiljkov, V. 2007. Samozgoščevalni betoni. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 2007. 14. slovenski kolokvij o betonih – Posebne lastnosti betonov z dodatki, Ljubljana, 29. maj 2007, Zbornik gradiv in referatov: str. 47–59.

Ercegovič, R. 2005. Diagnostika tlakov. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 2005. 12. slovenski kolokvij o betonih – Novosti pri gradnji tlakov, Ljubljana, 25. maj 2005, Zbornik gradiv in referatov: str. 69–76.

Granfol, R. Cementni industrijski tlaki: Parametri za pravilno zasnovano tlaka. Kema.  
[http://www.kema.si/upload/File/Tlaki\\_predstavitev.pdf](http://www.kema.si/upload/File/Tlaki_predstavitev.pdf) (15.05.2010)

Jelušič, M., 2009. Tlačna trdnost vlaknastih betonov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer: 70 str.

Krampe Harex.  
<http://www.krampeharex.com/index.htm> (21.07.2010)

Kryžanowski, A. 2009. Abrazijska odpornost betonskih površin na vodnih zgradbah. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 148 str.

Leskovar, I. 2008. Dosežki IRMA pri sanacijah betonskih konstrukcij v obdobju 1993-2008. V: 15. Slovenski kolokvij o betonih – Industrijski tlaki, Ljubljana, 9. september 2008, Zbornik gradiv in referatov: str. 27–34.

Leskovar, I. 2005. Tlaki v visokoregalnih skladiščih. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 2005. 12. slovenski kolokvij o betonih – Novosti pri gradnji tlakov, Ljubljana, 25. maj 2005, Zbornik gradiv in referatov: str. 63–67.

Miao, B., Chern, J., Yang, C. 2003. Influences of fiber content on properties of self-compacting steel fiber reinforced concrete. V: Journal of Chinese institute of engineers, 26, 4: 523–530.

Pšunder, M., Klanšek, U., Šuman, N. 2008. Organizacija grajenja. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo: 146 str.

Rajh, G. 2010. Pomen zgodnje trdnosti mikroarmiranih brizganih betonov pri projektiranju betonskih oblog predorov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Konstrukcijska smer: 78 str.

Scancem materials, Products for engineered concrete.

<http://www.scancemmaterials.com/index.html> (05.06.2010)

Sasse, R. 2005. Zahteve in kriteriji za izvajanje industrijskih tlakov. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 2005. 12. slovenski kolokvij o betonih – Novosti pri gradnji tlakov, Ljubljana, 25. maj 2005, Zbornik gradiv in referatov: str. 7–18.

SIST EN 14889-1:2006. Vlakna za beton – 1. Del: Jeklena vlakna – Definicije, specifikacije in skladnost: 26 str.

SIST EN 14845-2:2006. Metode za preskušanje vlaken v betonu – 2. Del: Vpliv na beton: 5 str.

SIST EN 14721:2005. Preskusna metoda za beton s kovinskimi vlakni – Merjenje deleža vlaken v svežem in strjenem betonu: 7 str.

SIST EN 14651:2005. Preskusna metoda za beton s kovinskimi vlakni – Merjenje upogibne natezne trdnosti: 15 str.

SIST EN 206-1: 2003. Beton–1. Del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost: 72 str.

Šalajna, A. 1998. Preskušanje tlakov. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 1998. 5. Slovenski kolokvij o betonih – Industrijski tlaki, Ljubljana, 21. maj 1998, Zbornik gradiv in referatov: str. 65–68.

Šušteršič, J. 2008. Dosežki IRMA v tehnologiji betona v obdobju 1993–2008. V: Zajc, A. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Korla, J. (ur.). 2008. 15. Slovenski kolokvij o betonih – Industrijski tlaki, Ljubljana, 9. September 2008, Zbornik gradiv in referatov: str. 5–25.

Šušteršič, J., Zajc, A. 2005. Značilnosti vezi med sloji betona. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 2005. 12. slovenski kolokvij o betonih – Novosti pri gradnji tlakov, Ljubljana, 25. maj 2005, Zbornik gradiv in referatov: str. 33–40.

Šušteršič, J. 2005. Betoni za industrijske tlake in njihovo certificiranje. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 2005. 12. slovenski kolokvij o betonih – Novosti pri gradnji tlakov, Ljubljana, 25. maj 2005, Zbornik gradiv in referatov: str. 25–31.

Šušteršič, J. 1998. Betonski industrijski tlaki. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 1998. 5. Slovenski kolokvij o betonih – Industrijski tlaki, Ljubljana, 21. maj 1998, Zbornik gradiv in referatov: str. 35–40.



The university of Sheffield. Fibre reinforced concrete.

<http://ecolanes.shef.ac.uk/diss/seminar/2-Iasi-2008/3.pdf> (14.10.2010)

Zajc, A. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Korla, J. (ur.). 2008. 15. Slovenski kolokvij o betonih – Industrijski tlaki, Ljubljana, 9. september 2008, Zbornik gradiv in referatov: 68 str.

Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 2005. 12. slovenski kolokvij o betonih – Novosti pri gradnji tlakov, Ljubljana, 25. maj 2005, Zbornik gradiv in referatov: 80 str.

Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 1998. 5. Slovenski kolokvij o betonih – Industrijski tlaki, Ljubljana, 21. maj 1998, Zbornik gradiv in referatov: 68 str.

Zajc, A. 2005. Preskusne metode za materiale in industrijske tlake. V: Zajc, A. (ur.), Ukrainczyk, V. (ur.), Šušteršič, J. (ur.), Leskovar, I. (ur.), Bernik, M. (ur.), Dobnikar, V. (ur.). 2005. 12. slovenski kolokvij o betonih – Novosti pri gradnji tlakov, Ljubljana, 25. maj 2005, Zbornik gradiv in referatov: str. 19–23.

## **PRILOGE**



**PRILOGA A: Statični izračuni treh variant izvedb mikroarmiranega betonskega industrijskega tlaka**



# 1 Statični izračuni treh variant izvedb mikroarmiranega betonskega industrijskega tlaka

## 1.1 Osnovne predpostavke

Predvidena je izvedba industrijskega tlaka, ki leži na dobro komprimirani ( $E_{V2} > 100$  Mpa) tamponski podlagi, ki je prekrita s PVC folijo. Predpostavlja se, da bo med uporabo predmetne talne plošče znašala koristna osna obtežba viličarja FL4,  $Q_k = 90 \text{ kN} / 2 = 45 \text{ kN}$ .

Koristna površinska obtežba skladišča znaša  $15 \text{ kN/m}^2$ . Industrijski tlak je dimenzije  $20 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ . Debelina plošče  $d = 200 \text{ mm}$ .

Ker se napetosti pri nerazpokanem stanju izračunajo z uporabo Westergaardove teorije elastičnosti talne plošče na gosti tekoči (prožni ali Winklerjevi) podlagi pri delovanju koncentrirane obtežbe, se ob upoštevanju predvidenih zunanjih obtežb obravnavane talne plošče oziroma industrijskega tlaka in dinamičnega koeficienta, izračuna koncentrirana obtežba, ki znaša  $63 \text{ kN}$ .

## 1.2 Izračun napetosti zaradi delovanja zunanje obtežbe

Za parametre izračuna so privzete naslednje vrednosti:

- $P_{\max} = 63 \text{ kN}$
- $E_{MAB} = 35 \text{ kN/mm}^2$
- $k = 0,1 \text{ N/mm}^2$

$k$ .....modul reakcije tal, odvisen od tega ali plošča nalega na toplotno izolacijo ( $k = 0,05 \text{ N/mm}^2$ ) ali neposredno na tampon,

$E_{MAB}$ ....modul elastičnosti mikroarmiranega betona

Z upoštevanjem kolesnega pritiska viličarja s pnevmatiko dobimo vrednost  $a$  in  $b$ :

$$a = \sqrt{\frac{P_{\max}}{2 \times \pi}} = 101,73 \text{ mm} < 1,72 \times 200 \text{ mm} = 344 \text{ mm}$$

$$b = \sqrt{1,6 \times a^2 + d^2} - 0,675 \times d = 101,73 \text{ mm}$$

Največja upogibna natezna napetost, ko deluje zunanja obtežba na sredini plošče:

$$\sigma_{max} = 0,32 \times \frac{P_{max}}{d^2} \times \log \frac{0,36 \times E_{MAB} \times d^3}{k \times b^4}$$

Po vstavitvi zgoraj privzetih vrednosti dobimo:

$$\sigma_{max} = 2,0 \text{ N/mm}^2 < f_u/\gamma_u = 5,5/1,4 = 3,93 \text{ N/mm}^2$$

Pri tem je  $f_u$  povprečna vrednost izmerjene največje upogibne trdnosti mikroarmiranega betona in  $\gamma_u$  skupni faktor varnosti.

Največja upogibna natezna napetost, ko deluje zunanja obtežba na robu plošče:

$$\sigma_{max} = 0,57 \times \frac{P_{max}}{d^2} \times \log \frac{0,2 \times E_{MAB} \times d^3}{k \times b^4}$$

Po vstavitvi zgoraj privzetih vrednosti dobimo:

$$\sigma_{max} = 3,35 \text{ N/mm}^2 < f_u/\gamma_u = 5,5/1,4 = 3,93 \text{ N/mm}^2$$

### **1.3 Izračun napetosti zaradi krčenja (nepovratnih deformacij) strjujočega se betona in povratnih deformacij (širjenje in krčenje) strjenega betona zaradi temperaturnih sprememb**

#### **1.3.1 Napetosti na sredini plošče zaradi nepovratnega krčenja**

Napetosti na sredini plošče zaradi nepovratnega krčenja strjujočega se betona izračunamo iz enačbe:

$$\sigma_{kr} = \frac{\psi \times E_{MAB} \times \varepsilon_{kr}}{1 + \phi} \leq f_{CT} ,$$

kjer pomenijo:

$\psi$ .....faktor oviranja. Njegova vrednost je odvisna od razmerja  $L/d$  ( $L$  je razdalja med stiki, dilatacijami,  $d$  pa je debelina plošče) in od koeficienta trenja med ploščo in podlago;

$E_{MAB}$ ... elastični modul betona;

$\epsilon_{kr}$ ..... deformacija betona zaradi krčenja, katere vrednost je odvisna od vrste, sestave, nege betona; vzamemo vrednost 0,08 % ;

$\phi$ .....faktor relaksacije; vzamemo vrednost 5;

$f_{CT}$ .....cepilna trdnost, določena na podlagi cepilnega preskusa na kocki z dolžino stranice 15cm. V izračunih bo  $f_{CT} = \sigma_{kr}$ ;

### 1.3.1.1 Polje stikov velikosti celotnega tlaka 20 m x 12 m (plošča brez stikov)

Po vstavitvi zgoraj privzetih vrednosti za polje stikov v velikosti celotne plošče 20 m x 12 m, dobimo:

$$\sigma_{kr} = 3,7 \text{ N/mm}^2$$

V primeru ko je ta napetost presežena, se pojavi razpoka in preprečevanje njenega širjenja je odvisno od sposobnosti betona absorbiranja energije oziroma cepilne trdnosti betona  $f_{CT}$ . Zato mora znašati ekvivalentna trdnost mikroarmiranega betona do širine razpoke 0,2 mm  $f_{0,2}$ :

$$f_{0,2} = 0.75 \times f_{CT} \geq 2,8 \text{ N/mm}^2$$

### 1.3.1.2 Polja stikov velikosti 12 m x 10 m

Po vstavitvi zgoraj privzetih vrednosti, za polje velikosti 6 m x 5 m, dobimo:

- Napetosti na sredini plošče zaradi nepovratnega krčenja:

$$\sigma_{kr} = 2,2 \text{ N/mm}^2$$



- Ekvivalentna trdnost mikroarmiranega betona do širine razpoke 0,2 mm:

$$f_{0,2} \geq 1,7 \text{ N/mm}^2$$

### **1.3.1.3 Polja stikov velikosti 6 m x 5 m**

Po vstavitvi zgoraj privzetih vrednosti, za polje velikosti 6 m x 5 m, dobimo:

- Napetosti na sredini plošče zaradi nepovratnega krčenja:

$$\sigma_{kr} = 1,0 \text{ N/mm}^2$$

- Ekvivalentna trdnost mikroarmiranega betona do širine razpoke 0,2 mm:

$$f_{0,2} \geq 0,7 \text{ N/mm}^2$$

Za napetosti na robu plošče za vse velikosti polj stikov velja, da se zaradi krčenja strjujočega se betona privzamejo vrednosti, ki so za polovico manjše od napetosti na sredini plošče. Na vogalu plošče je vrednost teh napetosti enaka nič.

### **1.3.2 Izračun napetosti zaradi temperaturnih razlik na vogalu plošče**

Pri temperaturni razliki 20 °C so napetosti zaradi temperaturnih razlik enake napetostim zaradi krčenja (nepovratnih deformacij).

**PRILOGA B:   Statični izračun in dimenzioniranje obravnavanega klasično  
armiranega betonskega industrijskega tlaka**



## Vhodni podatki - Konstrukcija, Vhodni podatki - Obtežba

### Tabele materialov

No	Naziv materiala	E[kN/m <sup>2</sup> ]	$\mu$	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\alpha$ [1/C]	Em[kN/m <sup>2</sup> ]	$\mu_m$
1	Beton C 25	2.583e+7	0.20	25.00	1.000e-5	2.583e+7	0.20

### Seti plošč

No	d[m]	e[m]	Material	Tip preračuna	Ortotropija	E2[kN/m <sup>2</sup> ]	G[kN/m <sup>2</sup> ]	$\alpha$
<1>	0.200	0.100	1	Tanka plošča	Izotropna			

### Seti površinskih podpor

Set	K,R1	K,R2	K,R3
1	6.000e+4	6.000e+4	6.000e+4

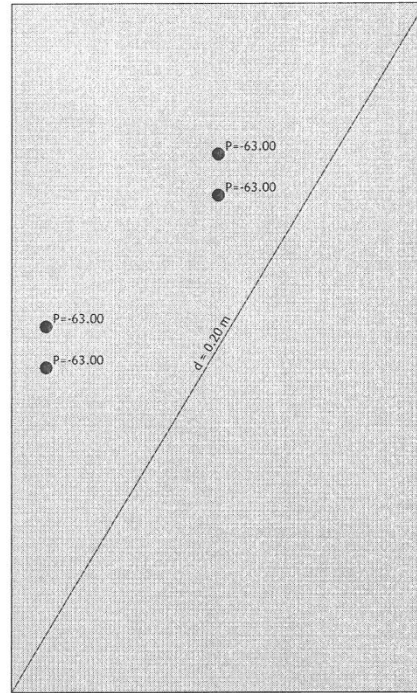
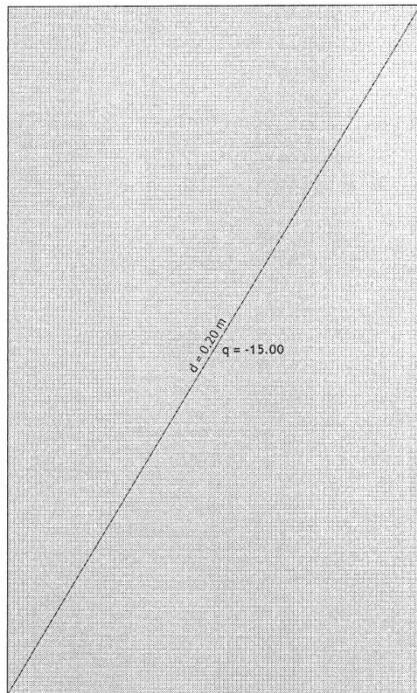
### Lista obtežnih primerov

No	Naziv
1	stalna (g)
2	koristna
3	viličar FL4
4	Komb.: I+II

No	Naziv
5	Komb.: 1.35xI+1.5xII
6	Komb.: I+III
7	Komb.: 1.35xI+1.5xIII

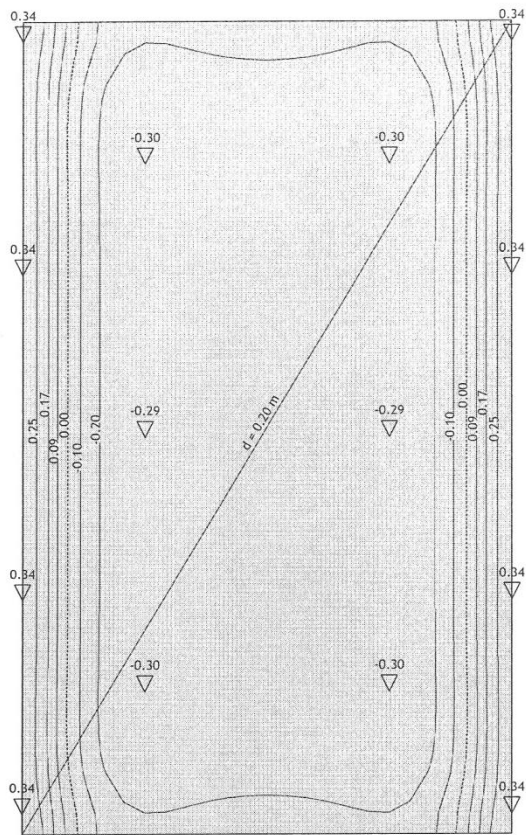
Obt. 2: koristna

Obt. 3: viličar FL4



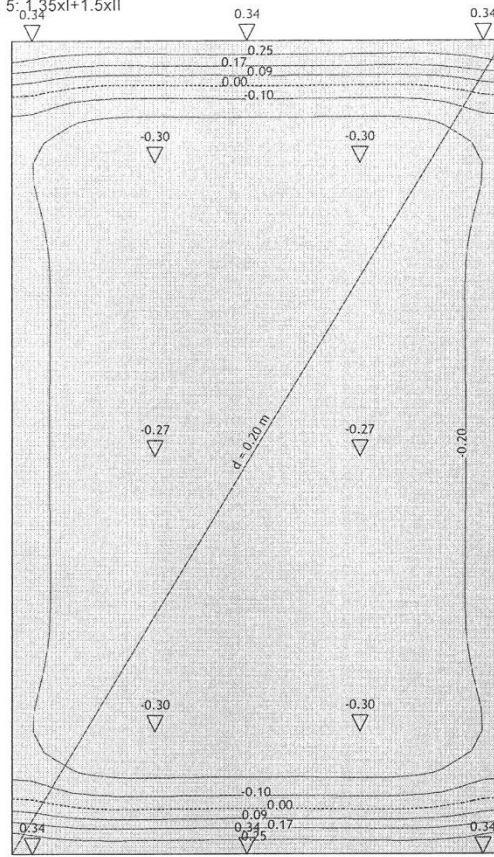
### Statiční preračun

Obt. 5: 1.35xl+1.5xII

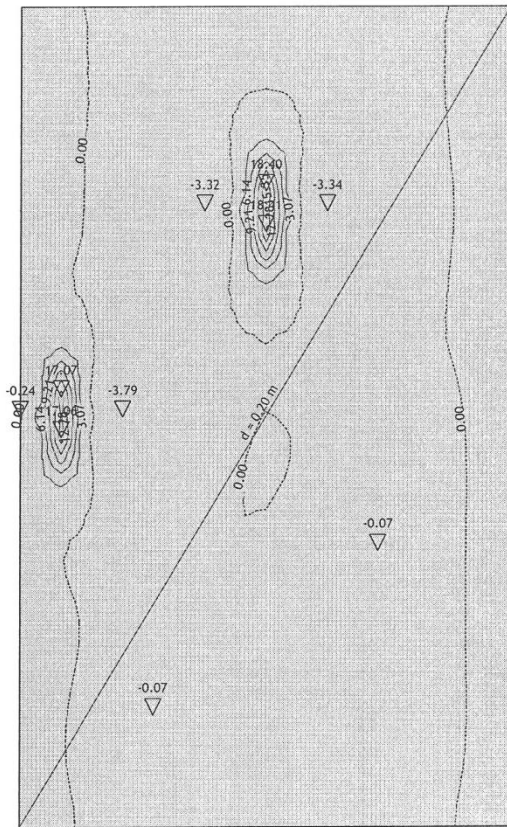


Vpříví v plošči: max  $M_x = 0.34$  / min  $M_x = -0.30$  kNm/m  
Obt. 7: 1.35xl+1.5xIII

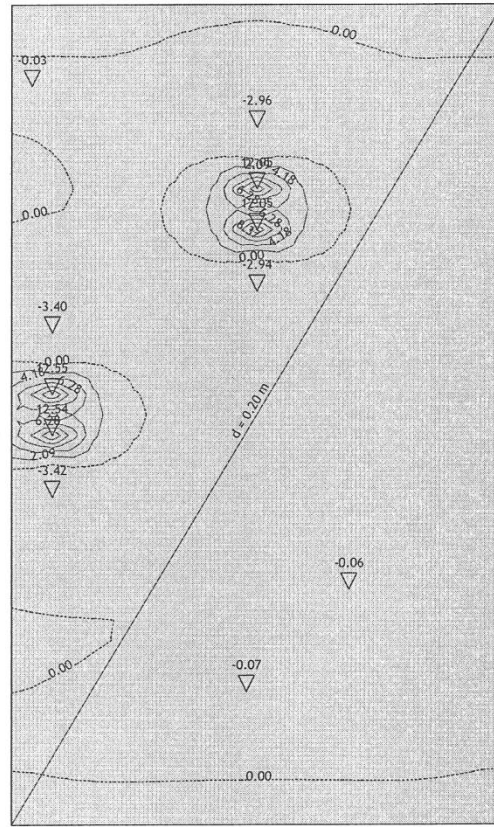
Obt. 5: 1.35xl+1.5xII



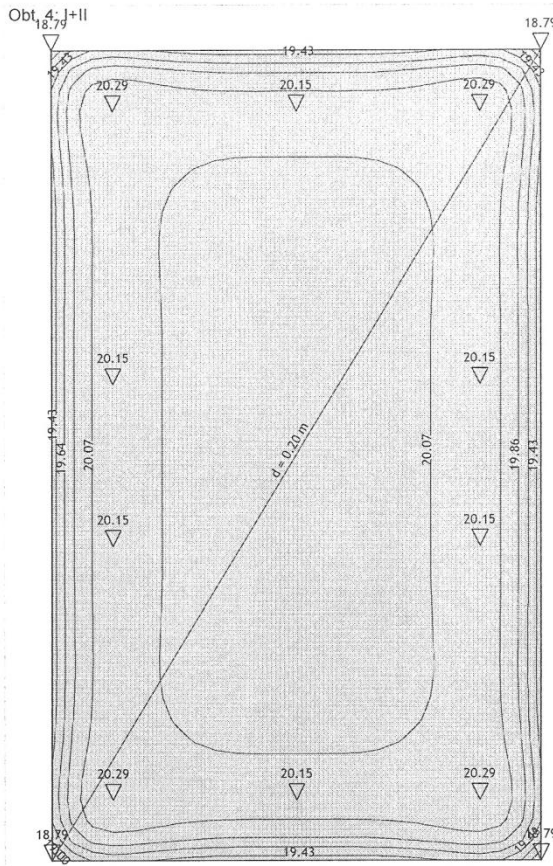
Vpříví v plošči: max  $M_y = 0.34$  / min  $M_y = -0.30$  kNm/m  
Obt. 7: 1.35xl+1.5xIII



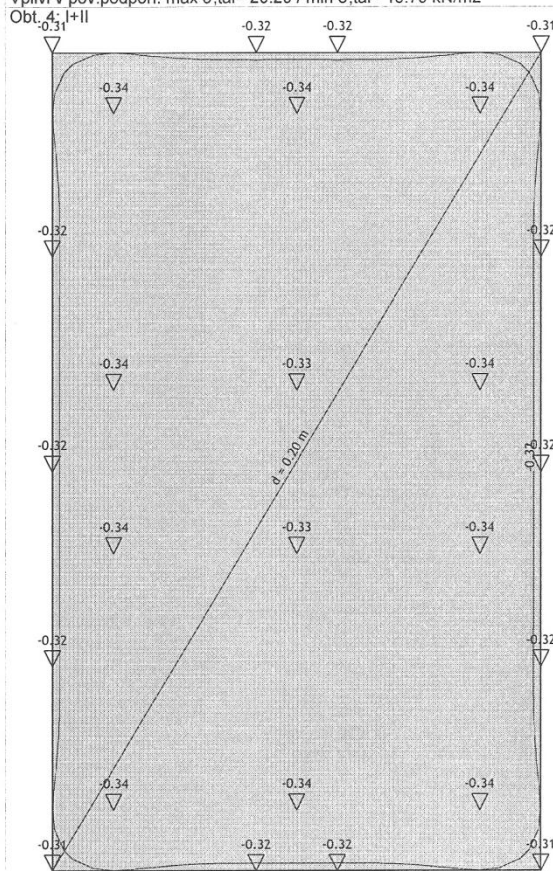
Vpříví v plošči: max  $M_x = 18.41$  / min  $M_x = -3.79$  kNm/m



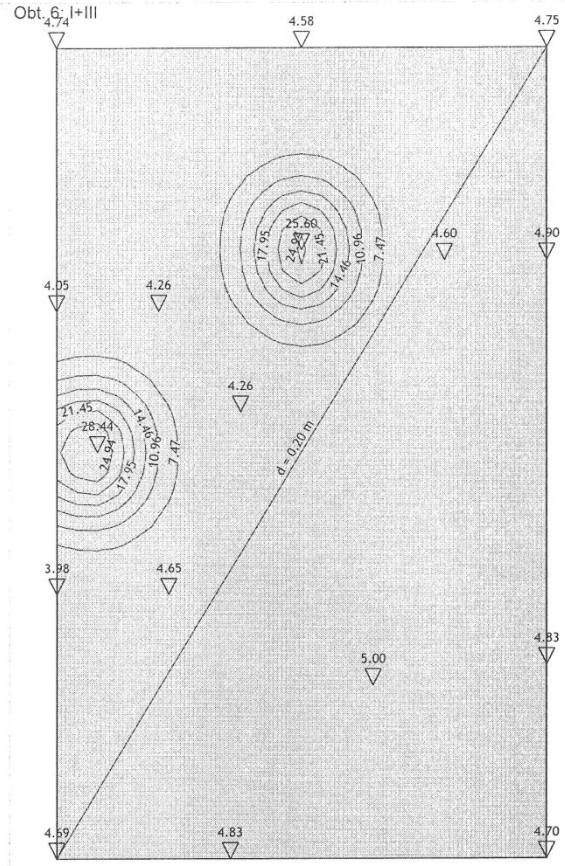
Vpříví v plošči: max  $M_y = 12.55$  / min  $M_y = -3.42$  kNm/m



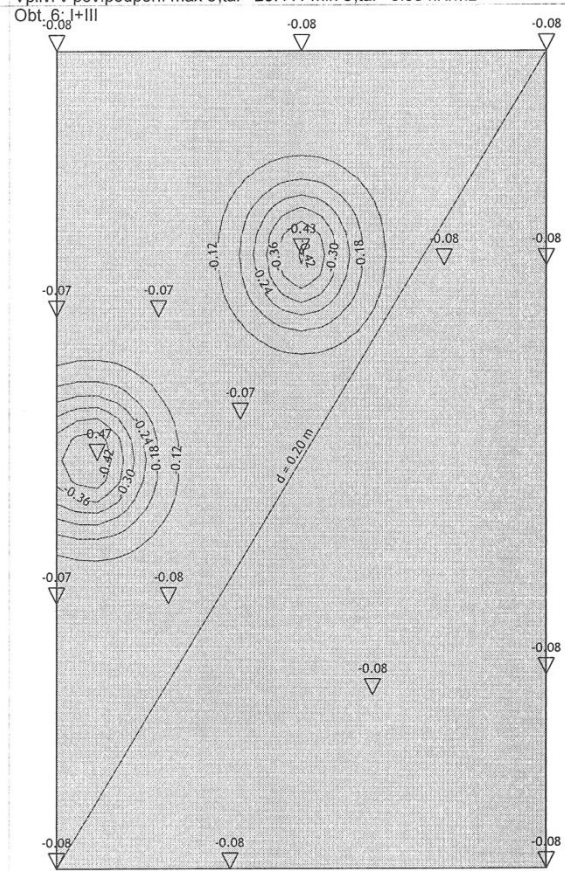
Vplivi v pov.podpori: max  $\sigma_{tal}$  = 20.29 / min  $\sigma_{tal}$  = 18.79 kN/m<sup>2</sup>



Vplivi v pov.podpori: max  $s_{tal}$  = -0.31 / min  $s_{tal}$  = -0.34 m / 1000



Vplivi v pov.podpori: max  $\sigma_{tal}$  = 28.44 / min  $\sigma_{tal}$  = 3.98 kN/m<sup>2</sup>

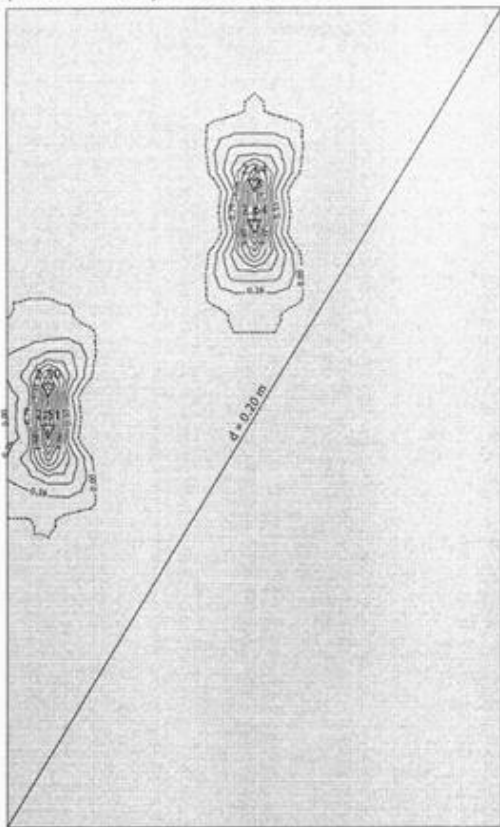


Vplivi v pov.podpori: max  $s_{tal}$  = -0.07 / min  $s_{tal}$  = -0.47 m / 1000

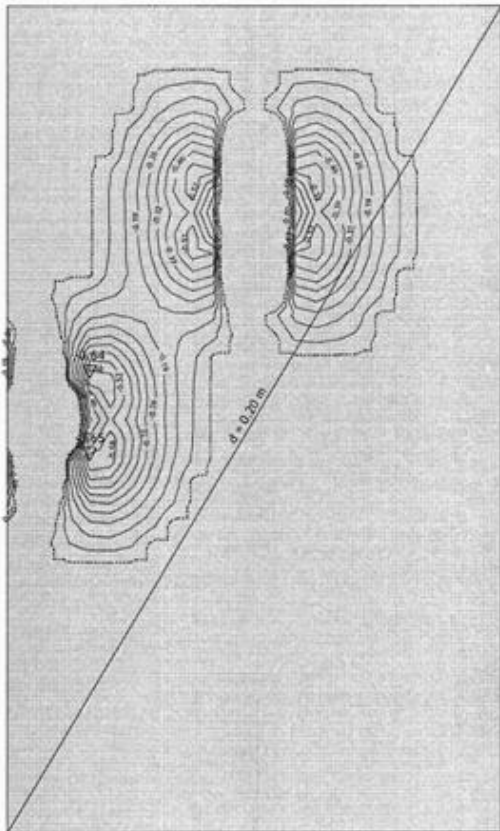


### Dimenzioniranje (beton)

Osvojena armatura  
EC 2 (EN 1992-1-1:2004), C 25, S500H, a=3.50 cm

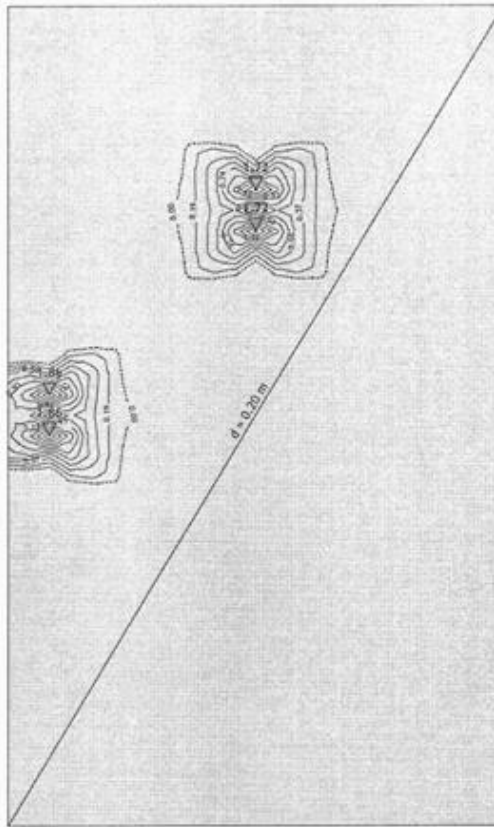


Aa - sp.cona  
Osvojena armatura  
EC 2 (EN 1992-1-1:2004), C 25, S500H, a=3.50 cm

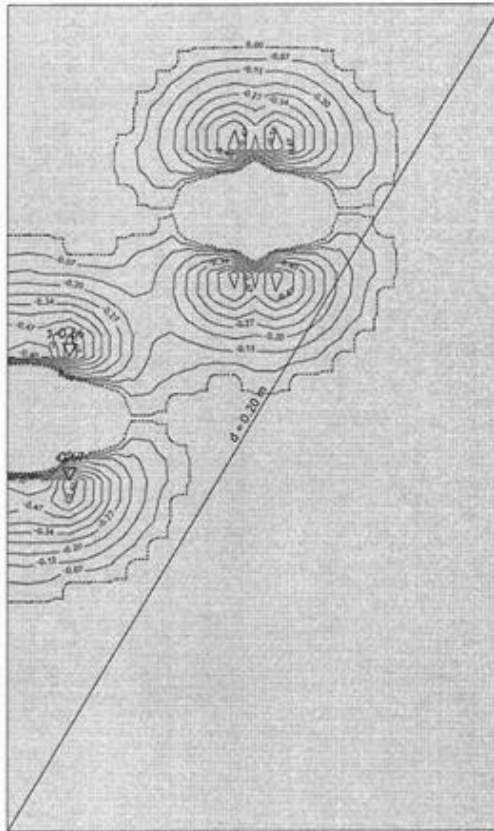


Aa - zg.cona

Osvojena armatura  
EC 2 (EN 1992-1-1:2004), C 25, S500H, a=3.50 cm

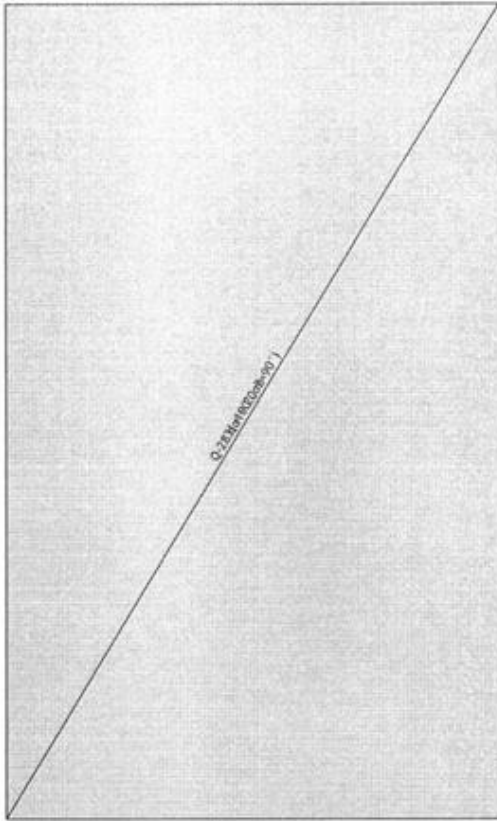


Aa - sp.cona  
Osvojena armatura  
EC 2 (EN 1992-1-1:2004), C 25, S500H, a=3.50 cm



Aa - zg.cona

Osvojena armatura  
EC 2 (EN 1992-1-1:2004), C 25, S500H, a=3.50 cm



Aa - zg.cona





**PRILOGA C: Kalkulativni izračuni in normativi gradbenih del za izvedbo  
obravnavanih variant industrijskega tlaka**



## 1 Kalkulativni izračuni

Kalkulativni izračun za izvedbo s klasično armiranim betonom je narejen na podlagi normativov podjetja Energoplan ,d.o.o., brez upoštevanja popustov in pribitkov na postavke in brez davka na dodano vrednost (DDV). Upoštevana so vsa glavna dela znotraj zemeljskih, betonskih in armirano betonskih ter tesarskih del.

Pri izvedbi z mikroarmiranim betonom z jeklenimi vlakni ni potrebe po dobavi in vgrajevanju armature. V večini se izniči tudi potreba po črpanju betona, vendar smo zaradi nepristranskosti tudi pri izvedbi z mikroarmiranim betonom predpostavili črpanje.

### 1.1 Za izvedbo s klasično armaturo

#### 1.1.1 Zemeljska dela

- Površinski strojni izkop v terenu III. kategorije s transportom in nalaganjem na kamion in odvozom na gradbiščno deponijo količine 168 m<sup>3</sup> .....630,00 €
- Planiranje in utrditev planuma izkopa v ravnem zemljišču, 240 m<sup>2</sup> .....501,60 €
- Dobava in vgrajevanje gramoznega tampona pod in med temelji do pod tlaki v plasteh po debelinah 0,20 m, z razgrinjanjem in utrjevanjem, 96 m<sup>3</sup> .....2293,40 €
- Dobava in polaganje PVC folije na tampon, 240 m<sup>2</sup> .....134,40 €
- SKUPAJ.....3,559.40 €

#### 1.1.2 Tesarska dela

- Dobava in montaža opaža roba industrijskega tlaka količine 12,80 m<sup>2</sup> .....54,50 €

### 1.1.3 Betonska in armiranobetonska dela

- Dobava in vgrajevanje armaturne mreže Q283, dimenzije 220 x 500 mm, minimalnega preklopa 300 mm (skupaj)..... 2635 kg.....2312,00 €

- delo PK železokrivca.....	17,1 ur.....	153,60 €
- delo KV železokrivca.....	17,1 ur.....	168,50 €
- delo PK delavca-gradbinca .....	6,0 ur.....	54,30 €
- poraba žgane žice za vezanje.....	0,8 kg.....	0,40 €
- poraba armaturne mreže in distančnikov .....	2699 kg.....	1943,00 €
- skupno porabljenih ur: 40 ur		

- Dobava in vgrajevanje vodotesnega betona C25/30, preseka 0,20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, zaglajen in dilatiran (navidezne rege spojnice) v poljih 6 x 5 m, količine 48 m<sup>3</sup>.....6823,20 €

-delo PK betonerca.....	57,6 ur.....	518,40 €
-delo KV betonerca.....	57,6 ur.....	570,20 €
-delo KV tesarja.....	5,8 ur.....	57,00 €
-delo KV zidarja.....	2,2 ur.....	21,60 €
-delo PK delavca gradbinca.....	10,2 ur.....	91,70 €
-delo KV delavca gradbinca.....	84,0 ur.....	831,60 €
<u>Skupaj:.....</u>	<u>217,4 ur.....</u>	<u>2090,50 €</u>

-beton C25/30.....	49,44 m <sup>3</sup> .....	3065,30 €
-superplastifikator (na gradbišču).....	11,8 kg.....	367,60 €
<u>Skupaj:.....</u>		<u>3432,90 €</u>

-avtomešalec.....	14,40 ur.....	518,70 €
-avtočrpalka.....	2,4 ur.....	120,00 €
-vibrator.....	8,6 ur.....	2,20 €
-žaga za rezanje reg spojnic.....	1,6 ur.....	8,36 €
-rezalna plošča (obraba).....	0,16 kom.....	97,00 €
-helikopter (gladilec betona).....	1,75 ur.....	472,10 €
-plastični silikonski kit.....	3,5 kg.....	10,20 €
-trikotna letvica.....	50,2 m <sup>1</sup> .....	53,70 €
-voda, predpremaz.....		17,50 €
<u>Skupaj:.....</u>		<u>1299,80 €</u>

## 1.2 Za izvedbo z mikroarmiranim betonom z jeklenimi vlakni

Količina in cena zemeljskih in tesarskih del je enaka kot pri izvedbi s klasično armiranim betonom. Klasična armatura ni prisotna. Upoštevam le betonska dela.

### 1.2.1 Betonska dela

●Dobava in vgrajevanje vodotesnega betona C25/30, preseka  $0,20 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , zaglajen in dilatiran (navidezne rege spojnice) v poljih **6x5 m**, .....48 m<sup>3</sup> .....9036,20 €

-delo PK betonerca.....	57,6 ur.....	518,40 €
-delo KV betonerca.....	57,6 ur.....	570,20 €
-delo KV tesarja.....	5,8 ur.....	57,00 €
-delo KV zidarja.....	2,2 ur.....	21,60 €
-delo PK delavca gradbinca.....	10,2 ur.....	91,70 €
-delo KV delavca gradbinca.....	84,0 ur.....	831,60 €
Skupaj:.....	217,4 ur.....	2090,50 €

-beton C25/30.....	49,4 m <sup>3</sup> .....	3065,30 €
-superplastifikator (v betonu).....	566,4 kg.....	367,60 €
-doziranje jeklenih vlaken na betonarni.....	3,2 €/m <sup>3</sup> .....	158,10 €
-jeklena vlakna JV50/16; 5kg/m <sup>3</sup> .....	1,89 €/kg.....	467,20 €
-jeklena vlakna JV50/30; 20 kg/m <sup>3</sup> .....	1,66 €/kg.....	1641,40 €
Skupaj.....		5699,60 €

-avtomešalec.....	14,4 ur.....	518,70 €
-avtočrpalka.....	2,4 ur.....	120,00 €
-vibrator.....	8,6 ur.....	2,20 €
-žaga za rezanje reg spojnic.....	1,6 ur.....	8,40 €
-rezalna plošča (obraba).....	0,16 kom.....	97,00 €
-helikopter (gladilec betona).....	1,75 ur.....	472,10 €
-plastični silikonski kit.....	3,5 kg.....	10,20 €
-voda, predpremaz.....		17,50 €
Skupaj:.....		1246,10 €

●Dobava in vgrajevanje vodotesnega betona C25/30, preseka 0,20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, zaglajen in dilatiran (navidezne rege spojnice) v poljih **12x10 m**, količine 48 m<sup>3</sup>..... 10314,20 €

-delo PK betonerca.....	57,6 ur.....	518,40 €
-delo KV betonerca.....	57,6 ur.....	570,20 €
-delo KV tesarja.....	5,8 ur.....	57,00 €
-delo KV zidarja.....	0,5 ur.....	5,00 €
-delo PK delavca gradbinca.....	8,5 ur.....	76,50 €
<u>-delo KV delavca gradbinca.....</u>	<u>84,0 ur.....</u>	<u>831,60 €</u>
Skupaj:.....	214,0 ur.....	2058,70 €

-beton C25/30.....	49,4 m <sup>3</sup> .....	3065,30 €
-superplastifikator (v betonu).....	566,4 kg.....	367,60 €
-doziranje jeklenih vlaken na betonarni.....	3,20 €/m <sup>3</sup> .....	158,10 €
-jeklena vlakna JV50/16; 20kg/m <sup>3</sup> .....	1,89 €/kg.....	1868,80 €
<u>-jeklena vlakna JV50/30; 20 kg/m<sup>3</sup>.....</u>	<u>1,66 €/kg.....</u>	<u>1641,40 €</u>
Skupaj:.....		7101,20 €

-avtomešalec.....	14,4 ur.....	518,70€
-avtočrpalka.....	2,4 ur.....	120,00 €
-vibrator.....	8,6 ur.....	2,20 €
-žaga za rezanje reg spojnic.....	0,4 ur.....	1,80 €
-rezalna plošča (obraba).....	0,03 kom.....	20,80 €
-helikopter (gladilec betona).....	1,75 ur.....	472,10 €
-plastični silikonski kit.....	0,75 kg.....	2,20 €
<u>-voda, predpremaz.....</u>		<u>16,50 €</u>
Skupaj:.....		1154,30 €

●Dobava in vgrajevanje vodotesnega betona C25/30, preseka 0,20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, zaglajen in brez navideznih reg spojníc (brez stikov) .....48 m<sup>3</sup> .....11212,40 €

-delo PK betonerca.....57,6 ur..... 518,40 €  
-delo KV betonerca.....57,6 ur.....570,20 €  
-delo KV tesarja..... 5,8 ur.....57,00 €  
-delo PK delavca gradbinca..... 7,9 ur.....71,10 €  
-delo KV delavca gradbinca.....84,0 ur.....831,60 €  
Skupaj:.....212,9 ur.....2048,30 €

-beton C25/30.....49,4 m<sup>3</sup>.....3065,30 €  
-superplastifikator (v betonu).....566,4 kg.....367,60 €  
-doziranje jeklenih vlaken na betonarni.....3,20 €/m<sup>3</sup>.....158,10 €  
-jeklena vlakna JV50/16; 30 kg/m<sup>3</sup>.....1,89 €/kg.....2803,20 €  
-jeklena vlakna JV50/30; 20 kg/m<sup>3</sup>.....1,66 €/kg.....1641,40 €  
Skupaj:.....8035,60 €

-avtomešalec.....14,4 ur.....518,70 €  
-avtočrpalka..... 2,4 ur.....120,00 €  
-vibrator.....8,6 ur.....2,20 €  
-helikopter (gladilec betona).....1,75 ur.....472,10 €  
-voda, predpremaz.....15,50 €  
Skupaj:.....1128,50 €



Normativ: SN001

Naziv: Površinski strojni izkop v terenu III.ktg s transportom z nakladanjem na kamion in odvozom na gradbiščno deponij

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
112010053	Strojni široki izkop III. kt	m3	1,0000	0,00 0,00	0,30 0,30	1,59 1,59	1,89
112515502	Strojno nakladanje zemlje I.	m3	1,0000	0,00 0,00	0,30 0,30	0,78 0,78	1,07
390003101	Prevoz I-IV ktg s kamionom p	m3	1,0000	0,00 0,00	0,00 0,00	0,78 0,78	0,78

Material : 0,00  
Delo : 0,00  
Stroji : 0,00  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 3,75

Skupaj : 3,75

Normativ: 112010053

Naziv: Strojni široki izkop III. ktg.buldozer D5 50-150 kW odriv 30 m

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
911160400	Buldozer gos. 75 - 150 kW	h	0,0330	0,00 0,00	0,00 0,00	48,29 1,59	1,59
2001400	PK delavec - gradbinec	ura	0,0330	0,00 0,00	9,00 0,30	0,00 0,00	0,30

Material : 0,00  
Delo : 0,30  
Stroji : 1,59  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00

Skupaj : 1,89

Normativ: 112515502

Naziv: Strojno nakladanje zemlje I.-III.ktg. z rovokopačem 60KW

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
911125300	Rovokopač z močjo do 60 kW	h	0,0330	0,00 0,00	0,00 0,00	23,52 0,78	0,78
2001400	PK delavec - gradbinec	ura	0,0330	0,00 0,00	9,00 0,30	0,00 0,00	0,30

Material : 0,00  
Delo : 0,30  
Stroji : 0,78  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00

Skupaj : 1,07

Normativ: 390003101

Naziv: Prevoz I-IV ktg s kamionom prekucnikom 12-15 t- 0,1km

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
913453400	Kamion prekucnik 13-16 t	h	0,0165	0,00 0,00	0,00 0,00	47,52 0,78	0,78

Material : 0,00  
Delo : 0,00  
Stroji : 0,78  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00

Skupaj : 0,78

Normativ: SN002

Naziv: Planiranje in utrditev planuma izkopa v ravnem zemljišču .

Enota: m2

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
112498201	izdelava planuma v III-IV kt	m2	1,0000	0,00 0,00	0,90 0,90	1,19 1,19	2,09

Material	:	0,00
Delo	:	0,00
Stroji	:	0,00
Tuje storitve:	:	0,00
Polizdelki	:	0,00
Prevozi	:	0,00
Normativi	:	2,09
Skupaj	:	2,09

Normativ: 112498201

Naziv: izdelava planuma v III-IV ktg. ferguson MF 50, BW 18kW

Enota: m2

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
914250400	Valjar vibracijski do 18kW	h	0,0250	0,00 0,00	0,00 0,00	8,35 0,21	0,21
911125400	Bager s kolesi do 75 kW	h	0,0250	0,00 0,00	0,00 0,00	39,28 0,98	0,98
2001400	PK delavec - gradbinec	ura	0,1000	0,00 0,00	9,00 0,90	0,00 0,00	0,90

Material	:	0,00
Delo	:	0,90
Stroji	:	1,19
Tuje storitve:	:	0,00
Polizdelki	:	0,00
Prevozi	:	0,00
Normativi	:	0,00
Skupaj	:	2,09

Normativ: SN003

Naziv: Dobava in vgrajevanje gramoznega tampona pod temelji med temelji do pod tlaki v plasteh po deb. 0,20 m . Komp

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
181451021	Vgrajevanje tampona 10-30 cm	m3	1,0000	19,11 19,11	2,23 2,23	2,55 2,55	23,89

Material	:	0,00
Delo	:	0,00
Stroji	:	0,00
Tuje storitve:	:	0,00
Polizdelki	:	0,00
Prevozi	:	0,00
Normativi	:	23,89
Skupaj	:	23,89

Normativ: 181451021

Naziv: Vgrajevanje tampona 10-30 cm, baber MF 50, bomag

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
15410501	Tampon 0-32mm	m3	1,3000	14,70 19,11	0,00 0,00	0,00 0,00	19,11
911125300	Rovokopač z močjo do 60 kW	h	0,0800	0,00 0,00	0,00 0,00	23,52 1,88	1,88
914250400	Valjar vibracijski do 18kW	h	0,0800	0,00 0,00	0,00 0,00	8,35 0,67	0,67
4001400	KV delavec - gradbinec	ura	0,0800	0,00 0,00	9,90 0,79	0,00 0,00	0,79
2001400	PK delavec - gradbinec	ura	0,1600	0,00 0,00	9,00 1,44	0,00 0,00	1,44

Material	:	19,11
Delo	:	2,23
Stroji	:	2,55
Tuje storitve:	:	0,00
Polizdelki	:	0,00
Prevozi	:	0,00
Normativi	:	0,00
Skupaj	:	23,89

Normativ: SN004

Naziv: Dobava in vgrajevanje vodotesnega betona C25/30 preseka 0,20 m3/m2-talna plošča zaglajena in dilatirana v pol

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
124573512	Strojno vgrajevanje betona z	m3	1,0000	63,86 <b>63,86</b>	23,58 <b>23,58</b>	4,35 <b>4,35</b>	<b>91,79</b>
390605010	Transport mokrih mešanic z a	m3	1,0000	0,00 <b>0,00</b>	0,00 <b>0,00</b>	9,01 <b>9,01</b>	<b>9,01</b>
125010520	Zagladitev s helikopterjem,c	m2	5,0000	0,00 <b>0,00</b>	3,46 <b>17,32</b>	1,97 <b>9,83</b>	<b>27,16</b>
196320030	Rezanje dilatacijske rege gl	m1	1,6700	0,06 <b>0,10</b>	0,36 <b>0,60</b>	1,31 <b>2,20</b>	<b>2,90</b>
196320020	Zalivanje fug z TIO kitom.	kg	0,0700	6,85 <b>0,48</b>	12,28 <b>0,86</b>	0,00 <b>0,00</b>	<b>1,34</b>
92403513	Trikotna letvica 2,5x2,5 cm	m1	1,6700	0,67 <b>1,12</b>	0,00 <b>0,00</b>	0,00 <b>0,00</b>	<b>1,12</b>
1230130	KV TESAR	ura	0,1200	0,00 <b>0,00</b>	9,90 <b>1,19</b>	0,00 <b>0,00</b>	<b>1,19</b>
123200005	Cementol ZETA superplastifi	kg	11,8000	0,65 <b>7,66</b>	0,00 <b>0,00</b>	0,00 <b>0,00</b>	<b>7,66</b>
				<b>73,22</b>	<b>43,55</b>	<b>25,38</b>	<b>142,15</b>

Material : 8,78  
 Delo : 1,19  
 Stroji : 0,00  
 Tuje storitve: 0,00  
 Polizdelki : 0,00  
 Prevozi : 0,00  
 Normativi : 132,19

Skupaj : 142,15

Normativ: 124573512

Naziv: Strojno vgrajevanje betona z avtočrpalko -AB konst. prer. 0,12-

0,20m3/m2/m' beton C25/30

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
123250503	Pl.beton C25/30, S3, Dmax32,	m3	1,0300	62,00 <b>63,86</b>	0,00 <b>0,00</b>	0,00 <b>0,00</b>	<b>63,86</b>
916360400	Pervibrator z pretvornikom	h	0,1800	0,00 <b>0,00</b>	0,00 <b>0,00</b>	0,26 <b>0,05</b>	<b>0,05</b>
290153010	Notranji transport mokrih me	m3	1,0000	0,00 <b>0,00</b>	0,90 <b>0,90</b>	4,30 <b>4,30</b>	<b>5,20</b>
1230060	KV BETONERC	ura	1,2000	0,00 <b>0,00</b>	9,90 <b>11,88</b>	0,00 <b>0,00</b>	<b>11,88</b>
1230050	PK BETONERC	ura	1,2000	0,00 <b>0,00</b>	9,00 <b>10,80</b>	0,00 <b>0,00</b>	<b>10,80</b>
				<b>63,86</b>	<b>23,58</b>	<b>4,35</b>	<b>91,79</b>

Material : 63,86  
 Delo : 22,68  
 Stroji : 0,05  
 Tuje storitve: 0,00  
 Polizdelki : 0,00  
 Prevozi : 0,00  
 Normativi : 5,20

Skupaj : 91,79

Normativ: 290153010

Naziv: Notranji transport mokrih mešanic z avtočrpalko 25 m3/h. v AB konstrukcije

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
911172210	??Avtomešalec 6 m3	h	0,0500	0,00 <b>0,00</b>	0,00 <b>0,00</b>	36,00 <b>1,80</b>	<b>1,80</b>
911172216	??Avtočrpalka 25 m	h	0,0500	0,00 <b>0,00</b>	0,00 <b>0,00</b>	50,00 <b>2,50</b>	<b>2,50</b>
2001400	PK delavec - gradbinec	ura	0,1000	0,00 <b>0,00</b>	9,00 <b>0,90</b>	0,00 <b>0,00</b>	<b>0,90</b>
				<b>0,00</b>	<b>0,90</b>	<b>4,30</b>	<b>5,20</b>

Material : 0,00  
 Delo : 0,90  
 Stroji : 4,30  
 Tuje storitve: 0,00  
 Polizdelki : 0,00  
 Prevozi : 0,00  
 Normativi : 0,00

Skupaj : 5,20

Normativ: 390605010

Naziv: Transport mokrih mešanic z avtomešalcem 6 m3 H=10 km

Enota: m3

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
911172210	??Avtošalec 6 m3	h	0,2502	0,00 0,00	0,00 0,00	36,00 9,01	9,01
				0,00	0,00	9,01	9,01

Material : 0,00  
Delo : 0,00  
Stroji : 9,01  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00

Skupaj : 9,01

Normativ: 125010520

Naziv: Zagladitev s helikopterjem,cena na m2

Enota: m2

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
941201400	Gladilec betona-helikopter	h	0,3500	0,00 0,00	0,00 0,00	5,62 1,97	1,97
4001400	KV delavec - gradbinec	ura	0,3500	0,00 0,00	9,90 3,46	0,00 0,00	3,46
				0,00	3,46	1,97	5,43

Material : 0,00  
Delo : 3,46  
Stroji : 1,97  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00

Skupaj : 5,43

Normativ: 196320030

Naziv: Rezanje dilatacijske rege gl. do 10 cm, BETON3 DNI

Enota: ml

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
917310420	Plošča DIAMANT fi 400 mm	kos	0,0020	0,00 0,00	0,00 0,00	605,07 1,21	1,21
24910500	Voda	m3	0,0600	0,99 0,06	0,00 0,00	0,00 0,00	0,06
2001400	PK delavec - gradbinec	ura	0,0400	0,00 0,00	9,00 0,36	0,00 0,00	0,36
917310410	Žaga za rezanje betona>5 KW	h	0,0200	0,00 0,00	0,00 0,00	5,22 0,10	0,10
				0,06	0,36	1,31	1,73

Material : 0,06  
Delo : 0,36  
Stroji : 1,31  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00

Skupaj : 1,73

Normativ: 196320020

Naziv: Zalivanje fug z TIO kitom.

Enota: kg

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
2001400	PK delavec - gradbinec	ura	0,6500	0,00 0,00	9,00 5,85	0,00 0,00	5,85
26431310	PRAJMER-predpremaz pred TIO	kg	1,0500	3,62 3,80	0,00 0,00	0,00 0,00	3,80
26431300	Kit plastični TIO- Termika	kg	1,0500	2,90 3,04	0,00 0,00	0,00 0,00	3,04
1230230	KV ZIDAR	ura	0,6500	0,00 0,00	9,90 6,43	0,00 0,00	6,43
				6,85	12,28	0,00	19,13

Material : 6,85  
Delo : 12,28  
Stroji : 0,00  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00

Skupaj : 19,13

Normativ: SN005

Naziv: Dobava in vgrajevanje armaturne mreže dimenzije 220x500 mm, preklop minimalno 300 mm

Enota: kg

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
122403304	Polaganje armaturnih mrež MA	kg	1,0000	0,74 0,74	0,18 0,18	0,00 0,00	0,91
				0,74	0,18	0,00	0,91

Material : 0,00  
Delo : 0,00  
Stroji : 0,00  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,91  
-----  
Skupaj : 0,91

Normativ: 122403304

Naziv: Polaganje armaturnih mrež MAG tipske-3-5 kg/m2

Enota: kg

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
75217300	Bet.mreže ČBM 50 3-5	kg/m2	kg	1,0300	0,72 0,74	0,00 0,00	0,00 0,74
72610300	Žica žgana za vezanje arm.	kg	0,0004	0,49 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00
0030	KV ŽELEZOKRIVEC	ura	0,0080	0,00 0,00	9,90 0,08	0,00 0,00	0,00 0,08
1230020	PK ŽELEZOKRIVEC	ura	0,0080	0,00	0,07	0,00	0,07
293401702	Prenos betonskega železa del	T	0,0010	0,00 0,00	25,47 0,03	0,00 0,00	0,00 0,03
				0,74	0,18	0,00	0,91

Material : 0,74  
Delo : 0,15  
Stroji : 0,00  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,03  
-----  
Skupaj : 0,91

Normativ: 293401702

Naziv: Prenos betonskega železa delavec h=20m, ročno z zlaganjem

Enota: T

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
1400	PK delavec - gradbinec	ura	2,8300	0,00 0,00	9,00 25,47	0,00 0,00	0,00 25,47
				0,00	25,47	0,00	25,47

Material : 0,00  
Delo : 25,47  
Stroji : 0,00  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00  
-----  
Skupaj : 25,47

Normativ: SN006

Naziv: Dobava, montaža opaža roba temeljne plošče viš. 20 cm. Kompletno z vsemi potrebnimi deli.

Enota: m2

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
140001050	ROB plošče do višine 20 cm	m	1,0000	0,67 0,67	3,59 3,59	0,00 0,00	4,26
				0,67	3,59	0,00	4,26

Material : 0,00  
Delo : 0,00  
Stroji : 0,00  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 4,26

Skupaj : 4,26

Normativ: 140001050

Naziv: ROB plošče do višine 20 cm

Enota: m

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
93202050	Opaž roba plošče viš.20 cm	m	1,0000	0,67 0,67	0,00 0,00	0,00 0,00	0,67
1230130	KV TESAR	ura	0,1900	0,00 0,00	9,90 1,88	0,00 0,00	1,88
1230120	PK TESAR	ura	0,1900	0,00 0,00	9,00 1,71	0,00 0,00	1,71
				0,67	3,59	0,00	4,26

Material : 0,67  
Delo : 3,59  
Stroji : 0,00  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00

Skupaj : 4,26

Normativ: SN007

Naziv: dobava in polaganje PVC folije na tampon

Enota: m2

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
134201201	Polaganje PVC folije 1x	m2	1,0000	0,29 0,29	0,27 0,27	0,00 0,00	0,56
				0,29	0,27	0,00	0,56

Material : 0,00  
Delo : 0,00  
Stroji : 0,00  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,56

Skupaj : 0,56

Normativ: 134201201

Naziv: Polaganje PVC folije 1x

Enota: m2

Koda	Opis	ME	Kolicina	Material (cena) (vrednost)	Delo (cena) (vrednost)	Stroji (cena) (vrednost)	Skupaj
64501100	PVC folija 015/400	m2	1,1000	0,26 0,29	0,00 0,00	0,00 0,00	0,29
1230220	PK ZIDAR	ura	0,0300	0,00 0,00	0,27 0,27	0,00 0,00	0,27
				0,29	0,27	0,00	0,56

Material : 0,29  
Delo : 0,27  
Stroji : 0,00  
Tuje storitve: 0,00  
Polizdelki : 0,00  
Prevozi : 0,00  
Normativi : 0,00

Skupaj : 0,56