

## **ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ**

**M85** – Ново техничко решење у фази реализације, тестирано у овлашћеној институцији

## **ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПАК ПРОИЗВОДЊЕ БЕТОНА СА ВИСОКИМ САДРЖАЈЕМ ФИЛЕРА ЗА ПРИМЕНУ У КОНСТРУКЦИЈАМА**

### **АУТОРИ:**

Проф.др Снежана Маринковић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

Доц.др Александар Савић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

Ксенија Тешић, мастер инж.грађ.

Доц.др Јелена Драгаш, мастер инж.грађ., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

В.проф.др Иван Игњатовић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

1) *АУТОРИ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА*

Проф.др Снежана Маринковић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

Доц.др Александар Савић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

Ксенија Тешић, мастер инж.грађ.

Доц.др Јелена Драгаш, мастер инж.грађ., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

В.проф.др Иван Игњатовић, дипл.грађ.инж., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

2) *НАЗИВ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА*

**Технолошки поступак производње бетона са високим садржајем филера за примену у конструкцијама**

3) *КЉУЧНЕ РЕЧИ*

Конструкцијски бетон; цемент; кречњачки филер; кварцни филер; емисије CO<sub>2</sub>; климатске промене.

4) *ЗА КОГА ЈЕ РЕШЕЊЕ РАЂЕНО*

Отуа Venčac d.o.o.

Венчачки пут бб, 34300 Аранђеловац

5) *ГОДИНА КАДА ЈЕ РЕШЕЊЕ КОМПЛЕТИРАНО*

2020. година

6) *ГОДИНА КАДА ЈЕ РЕШЕЊЕ ПОЧЕЛО ДА ПРИМЕЊУЈЕ И ОД КОГА*

Планирана примена - 2020. година, Отуа Venčac d.o.o.

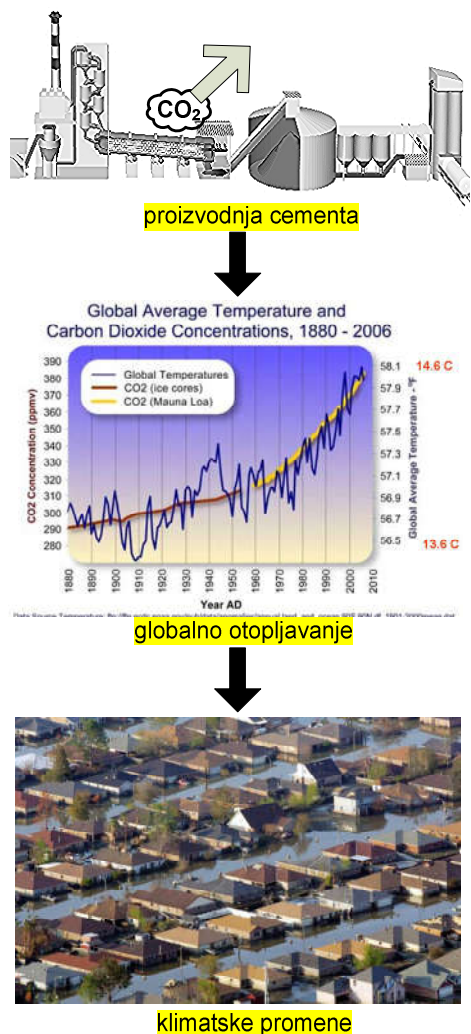
(техничко решење у реализацији)

7) *ОБЛАСТ И НАУЧНА ДИСЦИПЛИНА НА КОЈУ СЕ ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ОДНОСИ*

Грађевинарство, ужа област бетонске конструкције

## 8) ПРОБЛЕМ КОЈИ СЕ ТЕХНИЧКИМ РЕШЕЊЕМ РЕШАВА

Бетон је не само најзаступљенији грађевински материјал, већ и најупотребљиванији људски производ уопште. Процењује се да се данас у свету производи преко 25 милијарди тона бетона годишње [1]. То је око 3.8 тона по глави становника ове планете; човечанство данас троши само воду више него бетон. Бетон је један од најјефтинијих грађевинских материјала, и изгледи да ће у блиској будућности имати алтернативу су мали.



За производњу бетона потребан је цемент. Процењује се да је око 7-8% укупних емисија угљен диоксида у атмосферу последица производње цемента [2], а то је гас који је најодговорнији за стварање ефекта стаклене баште, односно глобално отопљавање и климатске промене. Због великих количина произведеног материјала, индустрија бетона значајно доприноси повећању  $\text{CO}_2$  емисија и климатским променама на глобалном нивоу, слика 8.1.

Према ИЕА студији из 2018. године [3], да би се ограничио глобални пораст температуре на  $2^\circ\text{C}$  до 2100. (са 50% вероватноћом), потребно је да се директне  $\text{CO}_2$  емисије цементне индустрије смање за 24% до 2050. године (у односу на тренутни ниво).

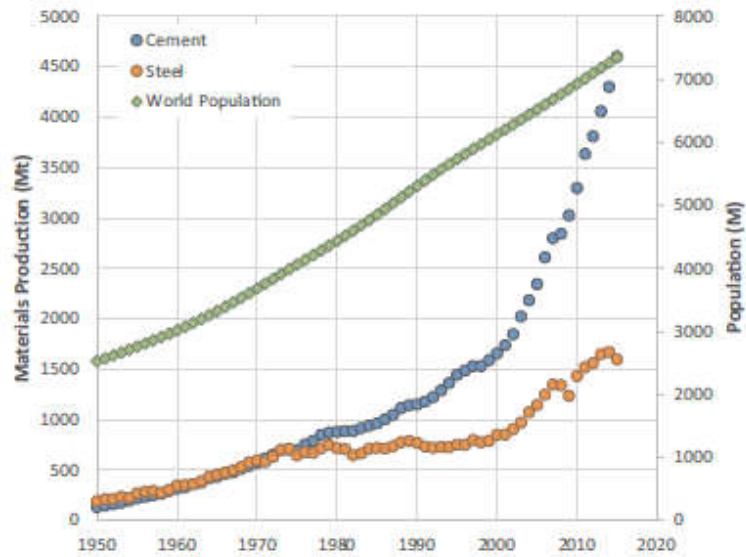
Са друге стране, у последњих 65 година производња цемента се повећала 34 пута, док је број становника на планети порастао за мање од 3 пута. Пораст производње цемента далеко је већи у односу на остале материјале који се користе у грађевинарству, на пример челик, слика 8.2.

Како се највећи део цемента користи управо у индустрији бетона, потребно је наћи начине да се смањи његова употреба, односно да се цемент, или бар део цемента, замени неким другим сировинама и производима, чија производња није тако енергетски

захтевна и оптерећујућа у смислу  $\text{CO}_2$  емисија.

Слика 8.1 Климатске промене – узроци и последице

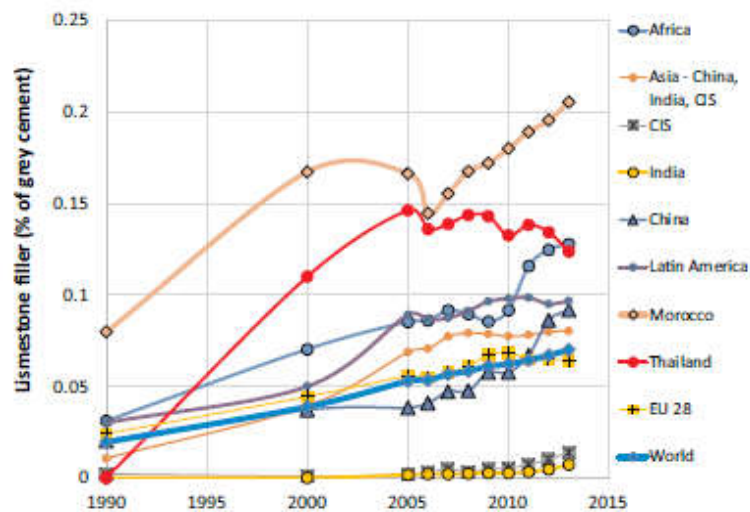
Као замена дела цемента могу се користити отпадни материјали из других индустрија (летећи пепео, згура високих пећи) или природне сировине као што су разне врсте филера (кречњачки, кварцни и сл.). Ови материјали су најчешће слабо реактивни, па су механичке карактеристике ових, зелених, бетона лошије у односу на цементне бетоне. Међутим, за примену у конструкцијама, бетон мора имати прописане физичко-механичке карактеристике. Дакле, потребно је развити технолошке поступке производње бетона у којима је највећи могући део цемента замењен, а да при томе физичко-механичке карактеристике остану на нивоу који захтева примена у конструкцијама.



Слика 8.2 Поређење производње цемента и челика са растом светске популације [4]

### 9) СТАЊЕ РЕШЕНОСТИ ПРОБЛЕМА У СВЕТУ

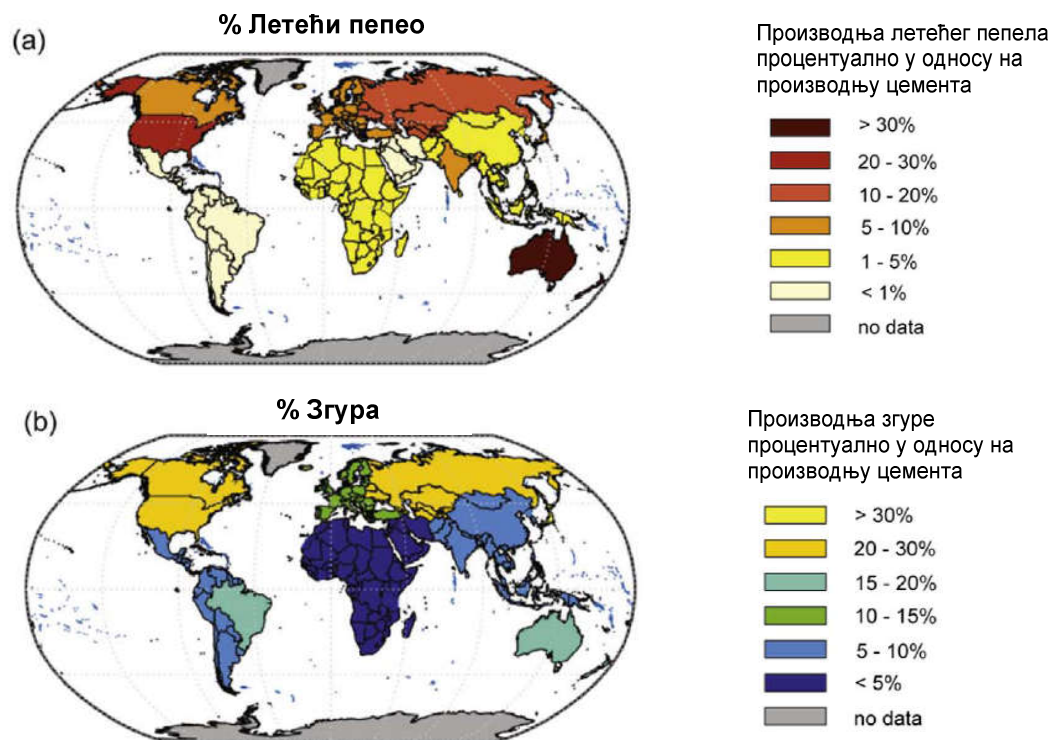
У производњи цемента се већ дуго времена користе додаци као што су летећи пепео, згура или кречњачки филер, којима се супституише део клинкера. Међутим, проценат замене клинкера се најчешће креће до 20%, што није довољно да се постигну постављени циљеви у вези са смањењем директних емисија  $\text{CO}_2$ . На слици 9.1 је приказано процентуално учешће кречњачког филера у производњи цемента за неке регионе у свету.



Слика 9.1 Процент учешћа кречњачког филера у цементу за поједине регионе у свету [5]

Да би се постигли постављени циљеви, који ће вероватно бити пооштрени у блиској будућности, потребно је да се повећа проценат замене цемента у бетону неким од расположивих материјала. Међутим, извори летећег пепела и згуре одговарајућег квалитета су ограничени, глобално, на свега 15%-25% тренутне производње цемента и није вероватно да ће се повећавати, слика 9.2. Стога се филери, који су природног порекла и доступни у практично неограниченим количинама, намећу као решење проблема. Према

[5], повећање замене цемента филерима од 40% (уместо садашњих просечних 6%) може смањити глобалне емисије CO<sub>2</sub> за 400 милиона тона годишње.



Слика 9.2. Мапа ресурса за замену цемента: а) доступност летећег пепела релативно у односу на производњу цемента и б) доступност згуре релативно у односу на производњу цемента [6]

Дакле, потребно је дефинисати технолошке поступке за производњу бетона са великим количинама филера који ће имати задовољавајуће перформансе за примену у конструкцијама. Истраживања у овој области у свету су на почетку. Досадашња експериментална истраживања [7, 8, 9, 10] су показала да је могуће заменити и до 50% цемента кречњачким или кварцним филером, а да притом не буде смањена чврстоћа бетона при притиску у односу на референтни цементни бетон. Да би то било могуће, потребно је, према досадашњим истраживањима, да:

- гранулација филера буде фина – честице филера треба да буду ситније или највише једнаке честицама цемента;
- водоцементни фактор треба да буде исти као код референтног цементног бетона;
- због смањене количине воде потребно је одредити оптималну количину пластификатора ради постизања жељене обрадљивости.

Неки истраживачи [8, 9] су при пројектовању састава бетонске мешавине, односно при пројектовању гранулометријског састава агрегата, користили методе за повећање густине паковања честица. С обзиром на мали број истраживања, за сада се не може са сигурношћу утврдити да ли је утицај примене ових метода значајан за постизање бољих карактеристика бетона. Као основне разлоге за постизање добрих механичких карактеристика ових бетона, чак и бољих од референтних бетона, истраживачи наводе: бољу упакованост честица, повећање степена хидратације и повећање контактне површине између зрна агрегата и цемента.

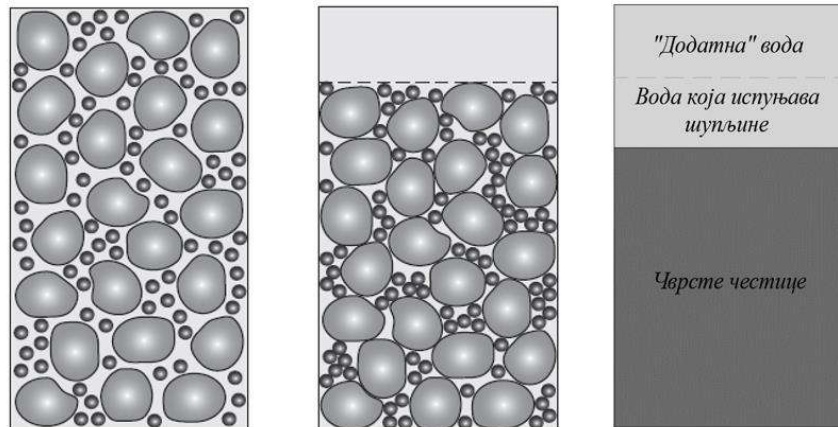
## 10) ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

### 10.1. Концепт зелених бетона са ниским садржајем цемента и додатком филера

Основни циљ дефинисања оптималног технолошког поступка јесте добити бетон који има мањи садржај цемента у односу на конвенционални бетон, притом задржавајући основне механичке карактеристике и на тај начин омогућити примену ове врсте бетона у конструкцијама. Идеја на којој се заснива пројектовање зелених бетона са ниским садржајем цемента и додатком филера је повећање густине паковања додавањем филера чије су честице ситније од цемента, уз смањење количине воде ради очувања водоцементног фактора.

Уколико би се у односу на конвенционални бетон, цемент једноставно заменио одређеном количином филера, и у том случају повећао водоцементни фактор, резултат би био такав да би чврстоћа бетона опадала са повећањем количине филера тј. смањењем цемента, што се назива “ефекат разређивања цементне пасте”. У овом случају растојање између честица цемента постаје веће, и то доводи до пада чврстоће, јер продукти хидратације треба да повежу удаљенија зрна цемента [8].

Посматрајући мешавину састављену од чврстих честица (агрегат, филер и цемент) и воде, уочавамо да је прво неопходно попунити све шупљине између честица и на тај начин обезбедити течну суспензију. Вода неопходна за засићење представља воду која испуњава шупљине. Даље, неопходно је постојање „додатне“ воде која представља воду која обавија честице слојем воде одвајајући их, на тај начин обезбеђујући „течење“ целокупне мешавине. „Додатна“ вода обезбеђује жељену обрадљивост [11], слика 10.1.



Слика 10.1 Приказ мешавине и њених компонената [12]

Начин да се надомести пад чврстоће услед разређивања пасте, јесте повећање густине паковања додавањем филера који је ситнији од цемента, уз истовремено смањење воде. Уколико се густина паковања мешавине повећа, шупљине које остају између честица су мање и на тај начин вода која је неопходна за испуњавање шупљина је мања [8]. Смањивањем количине воде могуће је одржавати водоцементни фактор константним и на тај начин начелно очувати механичке карактеристике очврслог бетона.

Међутим, проблем код додавања филера са честицама ситнијим од цемента јесте тај да је, због веће специфичне површине зрна, неопходна већа количина „додатне“ воде која обавија свако зрно. Са повећањем густине паковања повећани су број контаката између

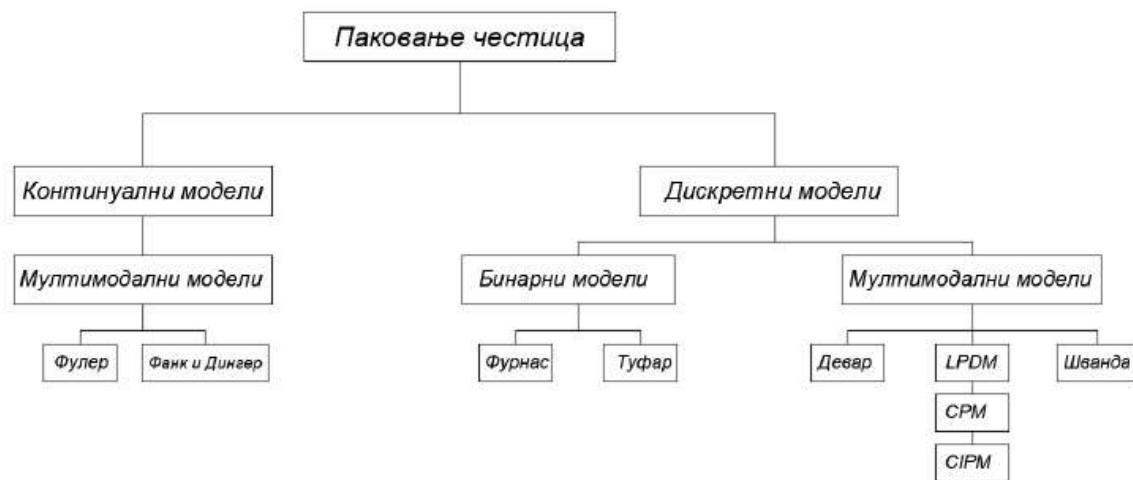


честица и унутрашње трење, а самим тим је неопходна и већа количина воде да раздвоји честице и омогући мешавини да тече [8].

Због претходно описане појаве, бетони са ниским садржајем цемента уз додатак филера захтевају одређене количине суперпластификатора. Додатак ових адитива на успешан начин може да изврши „подмазивање“ зрна обавијајући их танком опном којом се смањује трење у маси [13]. Захваљујући овоме, потреба за већом количином „додатне“ воде се може избећи и обезбедити захтевана обрадљивост мешавине.

## 10.2 Паковање честица

Паковање честица највише зависи од величине честица, њиховог облика, и од њиховог састава [14]. Утицај величине зрна је одавно истраживан, и представља један од главних параметара сваке методе. Међутим, утицај облика зрна на густину паковања и даље није експлицитно изражен у прорачунима. Модели који одговарају различитим методама могу се поделити на континуалне и на дискретне моделе, слика 10.2 [15].



Слика 10.2 Приказ модела за паковање честица

### 10.2.1 Континуални модели

Континуални модели за одређивање гранулометријског састава агрегата приказани су у облику кривих одређеног облика. Међу овим моделима најпознатији су Фулеров и Фанк и Дингеров модел.

Фулер (*Fuller*) је још 1907. године предложио криву за избор величине зрна агрегата, која је облика:

$$Y(d) = \left( \frac{d}{d_{\max}} \right)^q$$

где је  $Y(d)$  – проценат пролаза агрегата кроз сито пречника  $d$ ,  $d$  – пречник отвора сита,  $d_{\max}$  – пречник номинално најкрупнијег зрна агрегата. Експонент  $q$  у Фулеровом моделу има вредност 0.5. Међутим, Фулерова крива ипак не даје максималну густину паковања, јер се односи само на избор зрна агрегата и његов утицај на густину паковања. Додавање цемента и воде ће додатно утицати на паковање целокупне мешавине. У сваком случају, употреба Фулерове криве још увек представља једну од најзаступљенијих метода за

одређивање гранулометријског састава агрегата и присутна је у многим стандардима. Њена једноставна примена у пракси, комбинована са задовољавајућим особинама бетонске мешавине, је вероватно заслужна за ово.

Фанк и Дингер (Funk and Dinger) су уочили да би при избору гранулометријског састава агрегата, сем пречника максималног зрна, требало да фигурише и пречник минималног зрна агрегата. Предложена гранулометријска крива је облика:

$$Y(d) = \frac{d^q - d_{\min}^q}{d_{\max}^q - d_{\min}^q}$$

где је  $d_{\min}$  – пречник номинално најситнијег зрна агрегата и  $q$  корекциони фактор. Употреба приказане криве води већој густини паковања у односу на претходно описан Фулеров модел. Избором ширег опсега категорија крупноћа зрна, густина паковања се повећава. Али, ова крива не узима у обзир облик зрна агрегата и његов утицај на густину паковања. Овај утицај може бити значајан, посебно када различите фракције агрегата имају различите облике зрна. Фанк и Дингер су предложили вредност експонента  $q=0.37$  као вредност која води до оптималног паковања [8].

### 10.2.2 Дискретни модели

Дискретни модели служе за одређивање густине паковања мешавине већ познатог гранулометријског састава. Густина паковања ( $\alpha$ ) представља запремину чврстих честица у јединици запремине коју оне заузимају, односно:

$$\alpha = \frac{V_s}{V} = 1 - \varepsilon$$

где је  $V_s$  – запремина чврстих честица,  $V$  – укупна запремина коју заузимају честице и  $\varepsilon$  – порозност, односно проценат шупљина у запремини  $V$  [8].

Дискретни модели се базирају на улазним експерименталним подацима одређених група зрна, за које је неопходно одредити појединачне густине паковања. Од најједноставнијег модела, Фурнасовог [8, 16], који се односи на мешавине састављене од две групе честица код којих нема међусобне интеракције, дошло се до компактивно-интеракционог модела паковања честица [8]. Овај модел укључује уложу енергију збијања и њен утицај на паковање честица и интеракционе појаве веома ситних честица (ситнијих од 125  $\mu\text{m}$ ). То чини овај модел применљивим за рачунање густина паковања код бетона са ниским садржајем цемента, са додатком филера углавном ситнијих од 125  $\mu\text{m}$ .

Међутим, ови модели нису тако једноставно применљиви. Да би се они уопште применили, неопходно је извршити поделу честица на групе, где у оквиру једне групе однос најситнијег и најкрупнијег зрна не сме бити мањи од 0.5. Код бетона са ниским садржајем цемента и додатком филера, код којих је неопходно користити филер ситнији од честица цемента да би дошло до повећања густине паковања, ово даје широку расподелу целокупних честица, самим тим и велики број група зрна, које се повећавају са увођењем све ситнијег филера. Ово доводи до повећања обима прорачуна. Затим, као што је речено, модел се заснива на улазним подацима густине паковања појединачних група честица. За групе са крупнијим зрнима постоји уобичајен принцип одређивања који је једноставан, а притом даје задовољавајуће резултате. Међутим, код веома ситних честица, постоји одређени број метода од којих су неке визуелне методе и њихови резултати су дискутабилни и могу да угрозе тачност прорачуна, док други број метода са повећаном



тачношћу резултата испитивања захтева одређену лабораторијску опрему. Такође, подела честица на групе може бити захтеван и дуготрајан процес, посебно код веома ситних честица. Знајући да се уобичајени агрегат добија у одређеним фракцијама, његово даље просејавање на групе зрна сем уложеног времена подразумева и ризик да ће одређене количине просејаног агрегата на крају остати неискоришћене.

### 10.3 Експериментално испитивање

Са циљем утврђивања рецептуре и технологије справљања бетона са високим садржајем кречњачког филера, потребних физичко-механичких карактеристика, спроведено је експериментално испитивање. У оквиру испитивања, тестиране су мешавине у којима је 15%, 30% и 45% цемента замењено са две врсте кречњачког филера различитог гранулометријског састава, доступне на српском тржишту.

#### 10.3.1 Компонентални материјали и испитивање

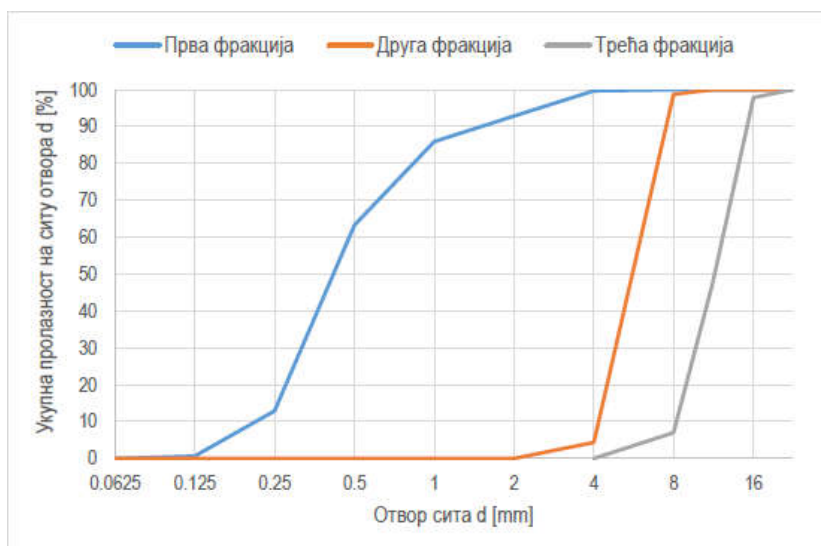
Испитивања компоненталних материјала спроведена су у Лабораторији за материјале Грађевинског факултета у Београду и у Лабораторији Института техничких наука САНУ. Ова испитивања су била неопходна за састављање рецептура бетонских мешавина. У оквиру испитивања компоненталних материјала, спроведена су испитивања агрегата, филера и цемента.

##### 10.3.1.1 Агрегат

За справљање бетонских мешавина коришћен је природни речни агрегат преузет са бетонске базе „Бетон плус“ Београд. Агрегат је допремљен у три фракције: прва 0/4 mm, друга 4/8 mm, и трећа 8/16 mm. У наставку су дати резултати испитивања основних физичко-механичких својстава агрегата.

##### Гранулометријски састав агрегата

Гранулометријски састав агрегата одређен је методом сувог сејања у складу са *SRPS EN 933-1:2009*, Испитивање геометријских својстава агрегата — Део 1: Одређивање гранулометријског састава — Метода просејавања [17]. На слици 10.3 приказан је гранулометријски састав употребљене три фракције агрегата.



Слика 10.3 Гранулометријски састав употребљене три фракције речног агрегата

### Запреминска маса агрегата

Испитивања запреминске масе у растреситом стању обављена су према стандарду *SRPS EN 1097-3:2009*, Испитивања механичких и физичких својстава агрегата – Део 3: Одређивање шупљина и запреминске масе у растреситом стању [18], док су запреминска маса у збијеном стању и стварна запреминска маса одређене према *SRPS ISO 6782:1999* Агрегати за бетон – Одређивање насуте запреминске масе [19]. Резултати ових испитивања дати су у табели 10.1.

Табела 10.1 Запреминска маса агрегата

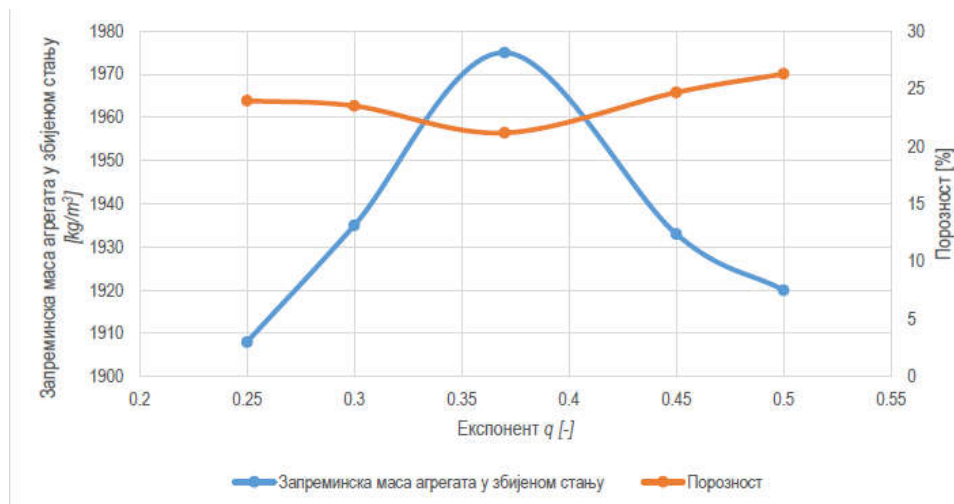
Фракција	Запреминска маса у растреситом стању [kg/m <sup>3</sup> ]	Запреминска маса у збијеном стању [kg/m <sup>3</sup> ]	Стварна запреминска маса [kg/m <sup>3</sup> ]
I (0/4)	1643	1746	2514
II (4/8)	1449	1571	2546
III (8/16)	1447	1589	2558

### Запреминска маса у збијеном стању и порозност мешавина фракција агрегата

Ради сагледавања утицаја густине паковања агрегата, посматрана је запреминска маса агрегата у збијеном стању и порозност више различитих мешавина фракција агрегата. Мешавине су биране тако да њихов гранулометријски састав одговара Фанковом и Дингеровом моделу, за различите вредности експонента  $q$ . У табели 10.2 приказан је однос фракција у разматраним мешавинама агрегата, а резултати испитивања приказани су на слици 10.4.

Табела 10.2 Мешавине различитих фракција агрегата

	Експонент $q$ [-]				
	0,25	0,30	0,37	0,45	0,50
I фракција	0,60	0,585	0,5205	0,45	0,421
II фракција	0,20	0,200	0,2090	0,30	0,315
III фракција	0,20	0,215	0,2700	0,25	0,263



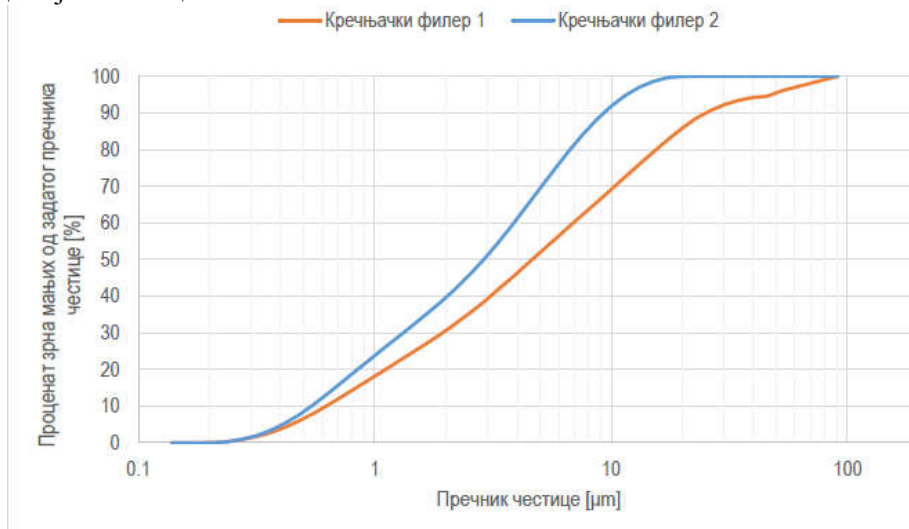
Слика 10.4 Запреминска маса у збијеном стању и порозност мешавина различитих фракција агрегата у функцији експонента  $q$

### 10.3.1.2 Филери

За справљање мешавина коришћене су две врсте кречњачког филера у погледу његове гранулације. Први је крупнији, ознаке *Отуасарб 7-AJ* (у даљем тексту кречњачки филер 1), а други, ситнији је *Отуасарб 2-AJ* (у даљем тексту кречњачки филер 2). Произвођач ових филера је “*Отуа Венџас*“ Аранђеловац и набављени су директно од произвођача. Филери су добијени дробљењем калцијум-карбоната ( $\text{CaCO}_3$ ).

#### Гранулометријски састав филера

Гранулометријски састав филера је утврђен помоћу инструмента *Mastersizer 2000*, који ради на принципу анализе дифракције ласерске светлости, и користи се за одређивање расподеле величина веома ситних честица. За потребе овог испитивања, коришћена је Лабораторија Института техничких наука САНУ у Београду. Расподела величина зрна филера дата је на слици 10.5.



Слика 10.5 Гранулометријски састав кречњачких филера

#### Запреминска маса филера

Резултати испитивања запреминске масе филера у растреситом и збијеном стању, као и стварне запреминске масе, дати су у табели 10.3.

Табела 10.3 Запреминска маса филера

Филер	Запреминска маса у растреситом стању [ $\text{kg/m}^3$ ]	Запреминска маса у збијеном стању [ $\text{kg/m}^3$ ]	Стварна запреминска маса [ $\text{kg/m}^3$ ]
Кречњачки филер 1	813	858	2719
Кречњачки филер 2	700	760	2704

### 10.3.1.3 Цемент

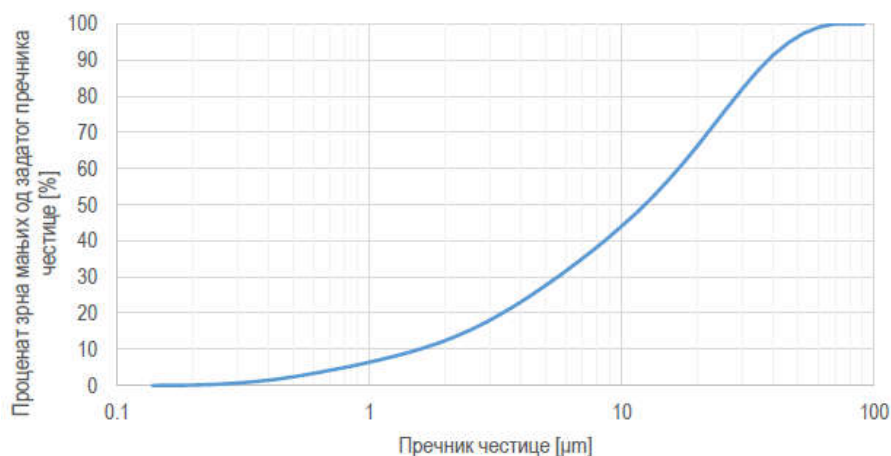
За потребе справљања мешавина коришћен је чист портланд цемент *CEM I 42.5 R*, произвођача *CRH*, из Поповца у Србији. Расподела честица цемента, одређена на исти начин као и код кречњачког филера, дата је на слици 10.6.

### 10.3.1.4 Суперпластификатори

Коришћен је суперпластификатор *Cementol Hiperplast 463*, произвођача Српеница, Словенија. Карактеристике дефинисане од стране произвођача дате су у табели 10.4.

Табела 10.4 Карактеристике суперпластификатора

Изглед	Течност браон – жуте боје
Специфична маса на 20°	(1,08±0,02) kg/dm <sup>3</sup>
Садржај чврстих честица	(32±1,6)%
pH вредност	6,5±1
Садржај јона хлорида	Не садржи
Садржај алкалија	< 3%



Слика 10.6 Гранулометријски састав цемента

### 10.3.1.5 Вода

Употребљена је вода из београдског водовода и нису испитивана њена физичка и хемијска својства.

### 10.3.2 *Справљање бетона и нега узорака*

Бетон је справљан у лабораторијској мешалици „*Beckel baustoffprüftechnik*” (*Kleinmischer Typ EM 20/1, THV Technischer Hander Beckel, Germany*). Справљање бетона за потребе израде бетонских узорака вршено је по следећем редоследу:

- 1) Одмеравање потребне количине две најкрупније фракције агрегата (*II* и *III*) и дозирање у посуду мешалице,
- 2) Одмеравање потребне количине цемента, филера и ситне фракције агрегата (*I*) и дозирање у посуду мешалице,
- 3) Одмеравање потребне количине воде и суперпластификатора,
- 4) Мешање материјала у суво у трајању од 60 s,
- 5) Додавање одмерене количине воде и суперпластификатора у трајању од 30 s, не прекидајући рад мешалице,
- 6) Додатно мешање у трајању од 240 s.

Након справљања и уграђивања бетона у калупе (вибрирање на вибро столу), калупи су остављени у простору у којем је температура износила 20±5° С, а релативна влажност најмање 95%. Калупи су заштићени од вибрирања и удара, и прекривени влажном саргијом. У овим условима остављени су 24 h. Након 24 h узорци су извађени, и остављени у води температуре 20±3° С до тренутка испитивања.

### 10.3.3 Испитивања бетона у свежем и очврслном стању

У свежем стању испитана су следећа својства бетона:

- запреминска маса - одређена је у складу са стандардом *SRPS EN 12350-6:2010*, Испитивање свежег бетона – Део 6: Запреминска маса [20]
- конзистенција - одређена је у складу са стандардом *SRPS EN 12350-2:2010*, Испитивање свежег бетона – Део 2: Испитивање слегања [21]. Испитивање се заснива на томе да се стандардни конус пуни свежом бетонском масом, а затим мери слегање након уклањања конуса.
- температура свежег бетона - утврђена у складу са стандардом *SRPS U.M1.032:1981*, Бетон – Мерење температуре свежег бетона [22]. Испитивање је вршено помоћу уређаја за мерење температуре „*Iskra*” са температурним опсегом мерења од  $-100^{\circ}\text{C}$  до  $200^{\circ}\text{C}$ .

У очврслном стању испитана су следећа својства бетона:

- запреминска маса - испитивање је спроведено у складу са *SRPS EN 12390-7:2010*, Испитивање очврслог бетона – Део 7: Запреминска маса очврслог бетона [23].
- чврстоћа при притиску - испитивање ове физичко-механичке карактеристике је спроведено у складу са *SRPS EN 12390-3:2010*, Испитивање очврслог бетона – Део 3: Чврстоћа бетона при притиску узорака за испитивање [24]. Испитивање је спроведено на узорцима облика коцке димензије 10 cm.
- брзина распрострањања ултразвука - одређена је према стандарду *SRPS EN 12504-4:2008*, Испитивање бетонских конструкција – Део 4: Одређивање брзине ултразвучног импулса [25].

## 10.4 Пројектовање састава мешавина

### 10.4.1 Пробне мешавине

Коначном усвајању рецептура мешавина за испитивање, претходила су испитивања пробних мешавина, након чега је извршена оптимизација састава и на основу тих закључака усвојене су коначне рецептуре.

За референтну мешавину, односно мешавину без додатака филера, на основу неколико пробних састављања дошло се до коначног састава. У свакој итерацији коригована је количина воде, количина суперпластификатора, и количина цемента. Контролни параметар је била конзистенција, чија је мера одређена методом слегања. Захтевано слегање било је оно које одговара класи S2 (5 - 9 cm).

Гранулометријски састав агрегата је изабран тако да што боље одговара кривој коју су предложили Фанк и Дингер (*Funk & Dinger*) за експонент  $q=0.37$ . Састав пробних мешавина на основу којих је добијен састав главне рецептуре референтне мешавине, дат је у табели 10.5.

Мешавине са  $270\text{ kg/m}^3$  цемента су биле сувише круте и код њих није постојало слегање или је оно било безначајно. Са неким већим количинама суперпластификатора, које обезбеђују „кретање“ мешавине, добијало се неправилно слегање - “*slump*”, према стандарду [21] названо смичуће слегање - “*shear slump*”. Према [21] овакав бетон има нарушену кохезивност и пластичност, и у том случају овај метод одређивања конзистенције бетона не може бити употребљен. Овакво понашање мешавина указивало је на недовољну количину цементне пасте која је неопходна за обавијање свих зрна агрегата. Стога је у следећим итерацијама повећана количина цемента и воде, док се није дошло до

захтеване конзистенције, на основу чега је утврђен коначан састав референтне главне мешавине - у табели 10.5 означен као B-REF7.

Табела 10.5 Састав пробних мешавина за референтни бетон

	CEM I 42.5 [kg/m <sup>3</sup> ]	Песак 0-4 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Шљунак 4-8 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Шљунак 8-16 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Вода [kg/m <sup>3</sup> ]	Водоцементни фактор [-]	Пластификатор [kg/m <sup>3</sup> ]	Мера конзистенције Δh [cm]
B-REF1	270	1046	390	504	175	0.65	8.10	-
B-REF2	270	1040	390	505	165	0.61	4.05	-
B-REF3	270	1075	401	519	155	0.57	5.40	-
B-REF4	300	1017	394	509	170	0.57	-	-
B-REF5	330	963	387	500	178	0.54	1.65	-
B-REF6	330	954	383	495	195	0.59	-	6
B-REF7	330	963	387	500	178	0.54	1.16	6

Састав осталих мешавина одређен је тако да је количина цемента замењена масено за 15%, 30% и 45% ситнијим (ознака 2) или крупнијим филером (ознака 1), а садржај воде је редукован тако да водоцементни фактор остане константан. Гранулометријски састав агрегата остао је непромењен у односу на референтну мешавину. Дакле, код пробних мешавина са додатком филера једина неодређена количина материјала била је количина суперпластификатора. Суперпластификатор је дозиран тако да је омогућена уградња мешавине. Након неколико итерација утврђене су потребне количине суперпластификатора у главним мешавинама.

#### 10.4.2 Главне мешавине

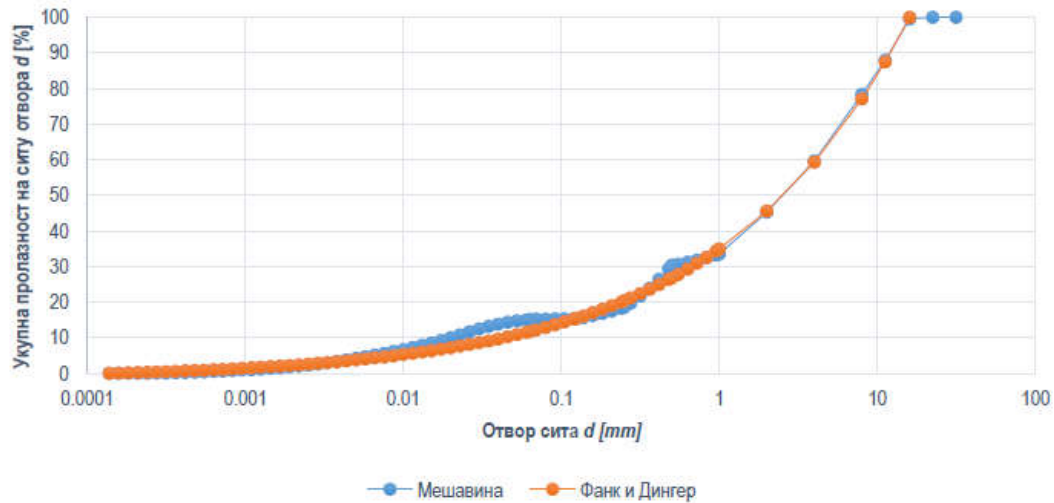
На основу пробних испитивања састављене су рецептуре главних мешавина и оне су дате у табели 10.6.

Усвојен је концепт пројектовања главних мешавина у коме је за један проценат замене цемента, посматран прво додаток крупнијег филера, у ознаци кречњачки филер 1, а затим додаток ситнијег, у ознаци кречњачки филер 2. Кроз овај корак омогућен је увид у ефекат повећања густине паковања на чврстоћу бетона. Водоцементни фактор остао је непромењен, чиме је начелно „очувана“ референтна чврстоћа бетона. Гранулометријски састав агрегата био је исти у свим мешавинама, и одговара Фанковом и Дингеровом моделу. Гранулометријске криве мешавина дате су на сликама 10.7 и 10.8.

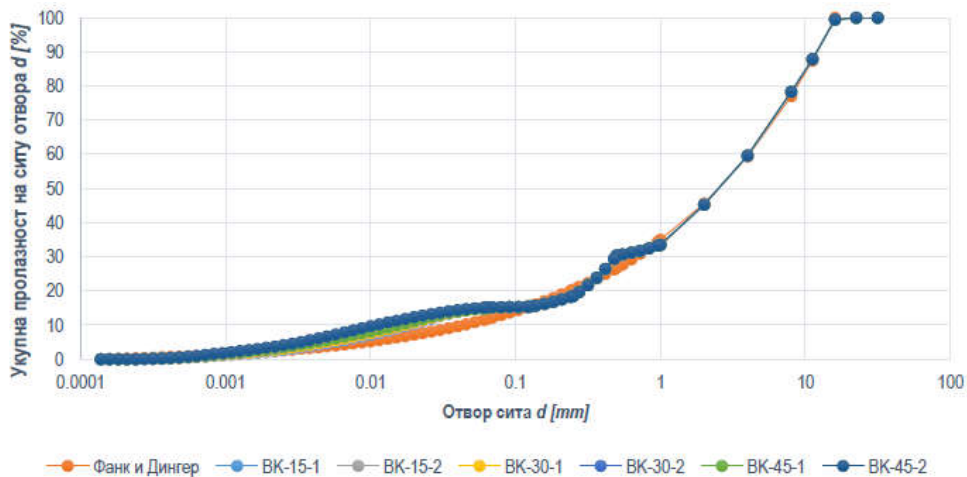
Табела 10.6 Рецептуре главних мешавина са оптимизацијом густине паковања

	CEM I 42.5 [kg/m <sup>3</sup> ]	Кречњачки филер 1 [kg/m <sup>3</sup> ]	Кречњачки филер 2 [kg/m <sup>3</sup> ]	Песак 0-4 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Шљунак 4-8 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Шљунак 8-16 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Вода [kg/m <sup>3</sup> ]	Водоцементни фактор [-]	Пластификатор [kg/m <sup>3</sup> ]
B-REF	330	-	-	963	387	500	178	0.54	1.16
BK-15-1	280	50	-	963	387	500	151	0.54	1.32
BK-15-2	280	-	50	963	387	500	151	0.54	1.32
BK-30-1	230	100	-	963	387	500	124	0.54	6.60
BK-30-2	230	-	100	963	387	500	124	0.54	6.93
BK-45-1	180	150	-	963	387	500	97	0.54	10.73
BK-45-2	180	-	150	963	387	500	97	0.54	11.55





Слика 10.7 Гранулометријски састав референтне мешавине

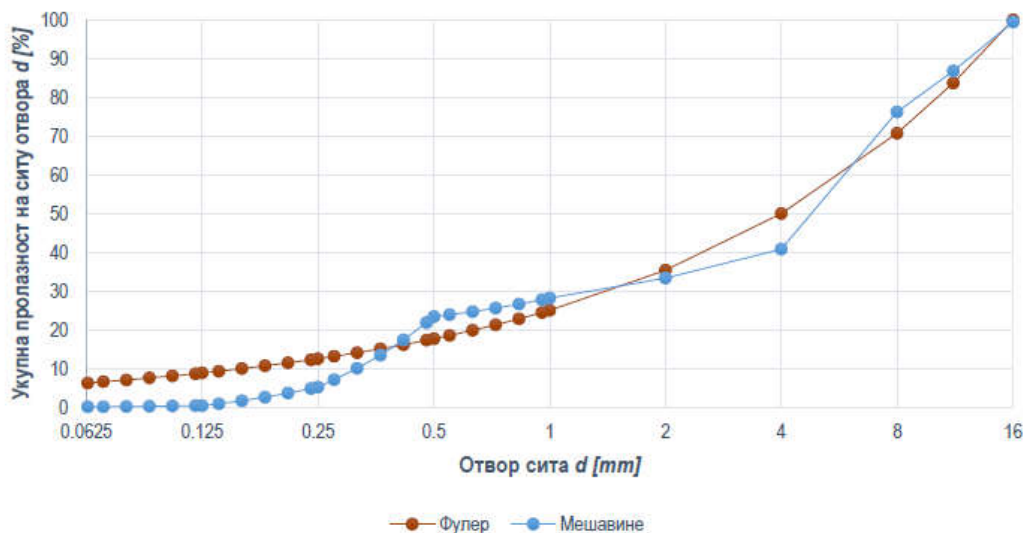


Слика 10.8 Гранулометријски састав осталих мешавина

Такође, ради поређења утицаја гранулометријског састава агрегата на својства бетонских мешавина, направљене су још три мешавине у којима је гранулометријски састав одабран тако да што боље одговара Фулеровом моделу. Рецептуре ових мешавина су дате у табели 10.7, а гранулометријска крива агрегата која им одговара је приказана на слици 10.9.

Табела 10.7 Рецептуре мешавина са гранулометријским саставом агрегата који одговара Фулеровом моделу

	СЕМ I 42.5 [kg/m <sup>3</sup> ]	Кречњачки филер 1 [kg/m <sup>3</sup> ]	Кречњачки филер 2 [kg/m <sup>3</sup> ]	Песак 0-4 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Шљунак 4-8 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Шљунак 8-16 mm [kg/m <sup>3</sup> ]	Вода [kg/m <sup>3</sup> ]	Водоцементни фактор [-]	Пластификатор [kg/m <sup>3</sup> ]
B-REF-F	330	-	-	738	646	461	178	0.54	1.16
BK-15-1-F	280	50	-	738	646	461	151	0.54	1.32
BK-30-1-F	230	100	-	738	646	461	124	0.54	6.60



Слика 10.9 Гранулометријска крива мешавина из табеле 10.7

### 10.5 Резултати експерименталног испитивања

У табели 10.8 су приказани резултати испитивања запреминске масе бетона у свежем и очврслом стању.

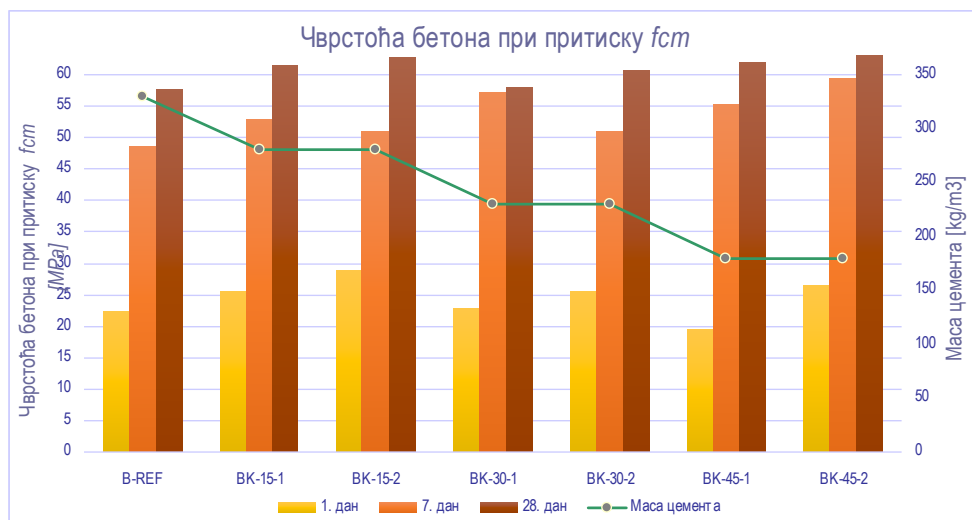
Табела 10.8 Запреминска маса бетона у свежем и очврслом стању

	Запреминска маса бетона у свежем стању [kg/m <sup>3</sup> ]	Запреминска маса бетона у очврслом стању [kg/m <sup>3</sup> ]
B-REF	2403	2386
BK-15-1	2435	2418
BK-15-2	2420	2391
BK-30-1	2423	2393
BK-30-2	2430	2408
BK-45-1	2395	2411
BK-45-2	2410	2428

Чврстоћа бетона при притиску је испитана при старости од 1, 7 и 28 дана на узорцима коцке димензије 10 cm. Резултати ових испитивања, као средња вредност на 3 узорка, приказани су у табели 10.9 и на слици 10.10.

Табела 10.9 Резултати испитивања чврстоће бетона при притиску

	Чврстоћа бетона при притиску $f_{cm}$ [MPa]		
	1 дан	7 дана	28 дана
B-REF	22,4	48,4	57,7
BK-15-1	25,5	52,9	61,5
BK-15-2	28,8	50,9	62,8
BK-30-1	22,8	57,3	58,0
BK-30-2	25,5	50,9	60,7
BK-45-1	19,5	55,3	61,9
BK-45-2	26,33	59,4	63,1

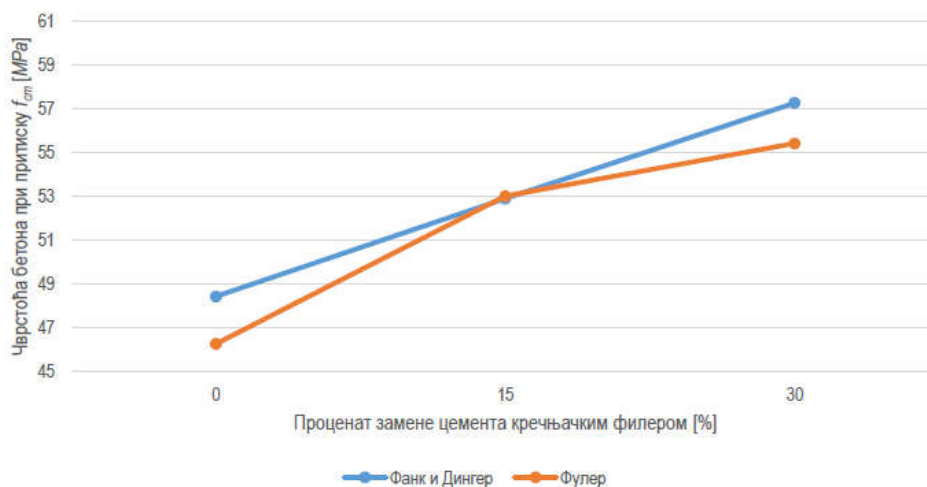


Слика 10.10 Чврстоћа бетона при притиску при старостима од 1, 7 и 28 дана

Иако су све мешавине имале исти водоцементни фактор, уочава се да чврстоћа расте са повећањем количине филера. Претпоставља се да се ово повећање јавља услед раста густине паковања додавањем филера чије су честице ситније од честица цемента. Генерално, повећање чврстоће услед повећања густине паковања уочава се и код мешавина са истом количином цемента, али са употребом ситнијег филера.

Највеће повећање чврстоће у односу на референтну мешавину је код мешавине са најмањом количином цемента и ситнијим филером ( $180 kg/m^3$ ) и износи 9,4%.

Испитивање чврстоће при притиску спроведено је и на узорцима код којих је гранулометријски састав агрегата одговарао Фулеровом моделу. То су узорци са 15% и 30% замене цемента крупнијим филером, табела 10.7. На слици 10.11 дат је упоредни приказ чврстоћа бетона при притиску за узорке код којих је извршена оптимизација паковања агрегата (Фанков и Дингеров модел) и узорке код којих гранулометријски састав агрегата одговарао Фулеровом моделу.



Слика 10.11 Упоредни приказ чврстоће бетона при притиску при старости од 7 дана код узорка код којих гранулометријски састав одговара Фанковом и Дингеровом и Фулеровом моделу.

Може се видети да се уз оптимизацију паковања агрегата углавном добијају веће чврстоће при притиску. Највеће повећање се уочава код мешавине са 30% замене цемента, међутим оно износи само 3,3%. Ово доводи до закључка да оптимизација у густини паковања агрегата нема великог утицаја на чврстоћу бетона.

Резултати испитивања брзине распростирања ултразвука дати су у табели 10.10.

Табела 10.10 Брзина распростирања ултразвука

	Брзина распростирања ултразвука [m/s]
V-REF	4740
BK-15-1	4576
BK-15-2	4620
BK-30-1	4814
BK-30-2	4844
BK-45-1	4874
BK-45-2	4885

Резултати су добијени на призмама (12x12x36) које су осушене непосредно пре испитивања чврстоће бетона при притиску при старости од двадесет осам дана.

## 10.6 Закључци и примена техничког решења

У оквиру овог истраживања испитана је погодност употребе различитих метода паковања честица при пројектовању састава бетонске мешавине. На основу сопствених експерименталних истраживања, уз примену изабране методе оптимизације, дефинисан је технолошки поступак производње бетона код којих је велика количина цемента (до 45%) замењена кречњачким филером, и истовремено очувана чврстоћа при притиску у односу на конвенционалне, цементне бетоне.

Прегледом литературе која се односи на паковање честица и справљање бетона са ниским садржајем цемента уз додаток филера, изведени су следећи закључци:

1) Континуални модел који узима у обзир расподелу веома ситних честица је Фанков и Дингеров модел; уколико се користе континуални, а не дискретни модели приликом избора гранулометријског састава, овај модел се поставља као одговорајући код бетона код којих се користи филер,

2) Приликом пројектовања састава мешавина бетона са ниским садржајем цемента од значаја је примена дискретних модела густине паковања; ради контроле ефекта додатка филера (који омогућава смањење количине воде у просторима између зрна) неопходно је постићи одређену вредност густине паковања, што је изводљиво применом дискретног модела,

3) Код бетона са ниским садржајем цемента који је замењен филером употребљен је филер реда величине зрна цемента или ситнији од њега, стога је једини адекватан дискретни модел за прорачун густине паковања код ове врсте бетона компактивно-интеракциони модел паковања,

4) Примена модела из претходне ставке захтева познавање великог броја експериментално одређених улазних параметара потребних за прорачун густине паковања; притом се подразумева употреба лабораторијске опреме неопходне за прорачун густине паковања веома ситних честица, која често није у оквиру стандардне лабораторијске опреме,

На основу експерименталних истраживања која се односе на компоненталне материјале и бетоне код којих је цемент замењен кречњачким филером, изведени су следећи закључци:

5) Фанков и Дингеров модел представља једноставан модел којим је могуће успешно извршити оптимизацију агрегата у циљу постизања што веће густине паковања; на основу експерименталних истраживања потврђено је да се за вредност експонента дистрибуције  $q=0.37$  добијају највеће запреминске масе агрегата у збијеном стању,

6) Адекватан филер за употребу приликом справљања бетона код којих се цемент мења филером је тешко наћи с обзиром на то да се филер те финоће млива не користи у стандардне грађевинске сврхе,

7) Концепт на ком је заснован основни принцип бетона код којих је цемент замењен инертним филером угрожава конзистенцију бетона; на основу експерименталних истраживања закључује се да је и код мањих удела супституције цемента (бетони са количином цемента мањом од  $280 \text{ kg/m}^3$ ), кохезивност мешавине нарушена услед недостатка везивне компоненте, која пружа сједињеност компоненталних честица бетона. Ова појава је уочена приликом мерења конзистенције свеже бетонске масе што је онемогућило употребу методе слегања,

8) Суперпластификатор је показао знатно већу ефикасност код мешавина код којих је обезбеђена кохезивност и пластичност мешавине; на супрот томе, код мешавина са ниским садржајем цемента и малим количинама воде (конкретно у овим испитивањима мешавине са 30% и 45% замене цемента) велике количине суперпластификатора нису довеле до побољшања пластичности и обрадљивости мешавине,

9) Избор гранулометријског састава агрегата и примена различитих модела паковања има великог значаја на конзистенцију свеже бетонске масе. Упоређујући слегања бетонских мешавина код којих избор агрегата одговара Фанковом и Дингеровом моделу и Фулеровом моделу, уочавају се разлике у слегању од 2 cm. Учешће прве фракције у првом моделу је 52%, а у другом 40%, и ова чињеница је заслужна за лошију обрадљивост мешавина где је коришћен Фанков и Дингеров модел,

10) Водоцементни фактор као један од главних параметара чврстоће бетона при притиску је добар показатељ његовог квалитета, али не и једини; све главне мешавине које обухватају експериментална испитивања имале су исти водоцементни фактор, али са повећањем количине кречњачког филера, односно повећањем густине паковања, постигнуте су веће чврстоће. Дакле, повећање густине паковања компоненталних материјала доводи до повећања чврстоће при притиску,

11) Гранулометријски састав агрегата и оптимизација паковања зрна агрегата, има утицаја на чврстоћу бетона при притиску, али не велику. Повећање чврстоће при притиску код веће густине паковања агрегата је 3,3% што није од великог значаја,

12) Уколико се узму чињенице описане под ставкама 9) и 11), и изузме оптимизација агрегата у циљу остваривања максималне густине паковања, могућа је већа замена цемента филером уз обезбеђивање мешавине која нема нарушену кохезивност,

13) Кречњачки филер је, у односу на друге типове филера, веома погодан за справљање великог броја различитих бетона, пре свега због његове широке доступности, ниже јединичне цене у односу на цену цемента, као и значајно мањег штетног утицаја на животну средину у поређењу са цементом.

***На овај начин дефинисан је технолошки поступак производње конструкцијских бетона код којих је 45% цемента замењено кречњачким филером велике финоће. За одређивање гранулометријског састава агрегата примењен је Фанк и Дингеров модел.***

*Препоручује се ипак примена уобичајеног Фулеровог модела, јер омогућава бољу конзистенцију свеже бетонске масе, а веома мало утиче на чврстоћу при притиску бетона (3%-4%). Чврстоћа ових бетона при притиску је за 7-9% већа од чврстоће референтног цементног бетона, у зависности од крупноће примењеног филера. Са аспекта физичко-механичких карактеристика, ови бетони могу се примењивати у елементима армиранобетонских конструкција.*

## Литература

- [1] World Business Council for Sustainable Development WBCSD (2009): Concrete Recycling. The Cement Sustainability Initiative [WWW Document].  
URL <http://www.wbcscement.org/pdf/CSIRecyclingConcrete-FullReport.pdf>
- [2] IPCC Working group III of the International Panel on climate change (2005): Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press.
- [3] IEA, CSI, Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry, OECD/IEA;; WBCSD, France, march 2018.  
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapLowCarbonTransitionintheCementIndustry.pdf>
- [4] Scrivener KL, John VM, Gartner EM. Eco-efficient cements: *Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry*. Cem Concr Res 2018;114:2–26.
- [5] UN Environment. Eco-efficient cements: *Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement based materials industry*. United Nations Environment Programme, Paris 2017.
- [6] Miller SA, John VM, Pacca SA, Horvath A. *Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050*. Cem Concr Res 2018;114:115–124.
- [7] Proske T, Hainer S, Rezvani M, Graubner CA. *Eco-friendly concretes with reduced water and cement contents - Mix design principles and laboratory tests*. Cem Concr Res 2013;51:38–46.
- [8] Fennis SAAM. *Design of Ecological Concrete by Particle Packing Optimization*. PhD Thesis. GildeprintPublishers, The Netherlands. Technical University of Delft, The Netherlands, 2010.
- [9] Mueller HS, Haist M, Moffatt JS, Vogel M. *Design, Material Properties and Structural Performance of Sustainable Concrete*. Procedia Eng 2017;171:22–32.
- [10] Li LG, Kwan AKH. *Adding limestone fines as cementitious paste replacement to improve tensile strength, stiffness and durability of concrete*. Cem Concr Compos 2015;60:17–24.
- [11] Vogt C. *Ultrafine particles in concrete - Influence of ultrafine particles on concrete properties and application to concrete mix design*. PhD Thesis. KTH Royal Institute of Technology, Sweden, 2010.
- [12] Fennis SAAM, Walraven JC. *Using particle packing technology for sustainable concrete mixture design*. Heron 2012;57:73–101.
- [13] Muravlјov M. *Грађевински материјали*. Грађевинска knjiga. Beograd, 2002.
- [14] Pradhan S, Kumar S, Barai S V. *Recycled aggregate concrete: Particle Packing Method (PPM) of mix design approach*. Constr Build Mater 2017;152:269–84.
- [15] Kumar S V., Santhanam M. *Particle packing theories and their application in concrete mixture proportioning: A review*. Indian Concr J 2003;77:1324–31.
- [16] De Larrard F. *Concrete Mixture Proportioning*. E & FN Spon, Routledge. London, New York, 1999.
- [17] SRPS EN 933-1:2009 *Ispitivanje geometrijskih svojstava agregata — Deo 1: Određivanje granulometrijskog sastava — Metoda prosejavanja*. Institut za standardizaciju Srbije, 2009.
- [18] SRPS EN 1097-3:2009, *Ispitivanje mehaničkih i fizičkih svojstava agregata – Deo 3: Određivanje šupljina i zapreminske mase u rastresitom stanju*. Institut za standardizaciju Srbije, 1998.



- [19] *SRPS ISO 6782:1999 Agregati za beton — Određivanje nasute zapreminske mase*. Institut za standardizaciju Srbije, 1999.
- [20] *SRPS EN 12350-6:2009 Ispitivanje svežeg betona - Deo 6: Zapreminska masa*. Institut za standardizaciju Srbije, 2009.
- [21] *SRPS EN 12350-2:2009 Ispitivanje svežeg betona - Deo 2: Ispitivanje sleganja*. Institut za standardizaciju Srbije, 2009.
- [22] *SRPS U.MI.032:1981 Beton - Merenje temperature svežeg betona*. Institut za standardizaciju Srbije, 1993.
- [23] *SRPS EN 12390-7:2010 Ispitivanje očvrslog betona – Deo 7: Zapreminska masa očvrslog betona*. Institut za standardizaciju Srbije, 2009.
- [24] *SRPS EN 12390-3:2010 Ispitivanje očvrslog betona – Deo 3: Čvrstoća betona pri pritisku uzoraka za ispitivanje*. Institut za standardizaciju Srbije, 2010.
- [25] *SRPS EN 12504-4:2008 Ispitivanje betonskih konstrukcija - Deo 4: Određivanje brzine ultrazvučnog impulsa*. Institut za standardizaciju Srbije, 2008.

## 11) ТЕХНИЧКА ДОКУМЕНТАЦИЈА

- Уговор о пословно-техничкој сарадњи у прилогу.

- Листа техничких решења свих аутора  
Аутори немају друга техничка решења.

Аутори решења:



---

проф. др Снежана Маринковић, дипл. грађ. инж.



---

доц. др Александар Савић, дипл. грађ. инж.



---

Ксенија Тешић, мастер инж. грађ.



---

доц. др Јелена Драгаш, мастер инж. грађ.



---

в. проф. др Иван Игњатовић, дипл. грађ. инж.

На основу обострано изражене жеље, а у циљу преношења научних достигнућа и повезивања са радом у пракси, као и ради остваривања оптималних резултата пословања кроз заједнички рад:

Универзитет у Београду - Грађевински факултет, ПИБ 100251144, ул. Булевар краља Александра бр. 73 Београд, кога заступа декан проф. др Владан Кузмановић (у даљем тексту: **ГФБ**).

и

"Omya Venčac" д.о.о, 34300 Аранђеловац, Венчачки пут 66, МБ: 07113005, ПИБ: 100996090, кога заступа директор Михајло Хаџистевић и Славено Јеловац (у даљем тексту: **Партнер**)

Закључују

## УГОВОР О ПОСЛОВНО-ТЕХНИЧКОЈ САРАДЊИ

### Предмет Уговора

#### Члан 1.

Предмет овог Уговора је сарадња Уговорних страна у различитим стручним и научним областима грађевинарства од заједничког интереса, у циљу унапређења технологија производње бетонских композита, знања, вештина, компетенција и угледа уговорних страна.

### Принципи и стандарди сарадње

#### Члан 2.

Уговорне стране су сагласне да ће се међусобна сарадња одвијати уз уважавање обостраних пословних интереса на принципу равноправности, савесности и поштења, као и уз обавезу поступања по стандарду доброг привредника, уз нужне толеранције које због промењених околности или тешкоћа у пословању могу бити изазване током трајања овог Уговора.

У реализацији овог Уговора, уговорне стране се обавезују да примењују позитивне домаће прописе, прописане техничко-технолошке стандарде, домаћа и инострана научна достигнућа, као и да међусобно уважавају сопствена општа акта и пословне одлуке органа управљања.

Уговорне стране се обавезују да максимално штите пословне, економске и моралне интересе партнера из овог Уговора и да обострано чувају и уздижу пословни углед који су стекли пре закључења овог Уговора.

### Члан 3.

Сваки од потписника овог уговора може да одреди координатора задуженог за дефинисање заједничких активности, њиховог обима и динамике спровођења.

### Заједничке активности

#### Члан 4.

Уговорне стране ће дефинисати заједничке активности у духу добрих односа и сарадње, и оне могу укључивати:

- истраживање савремених бетонских композита са малим количинама цемента и високим садржајем филера
- истраживање могућности примене отпадних и рециклираних материјала (рециклирани бетон, опека и сл.) у бетонским композитима и армиранобетонским конструкцијама
- развој, тестирање и верификација технологије производње бетона са високим садржајем летећег пепела
- развој, тестирање и верификација технологије производње слојевитих конвенционалних и зелених бетона
- оцену утицаја на животну средину горе поменутих врста бетонских композита

Обим и динамика појединих активности ће бити периодично договаран и усклађиван између Уговорних страна, преко координатора (члан 3), а све у циљу обезбеђења ефикасне и обострано корисне сарадње.

### Поверљивост информација

#### Члан 7.

У складу са интерним актима Партнера и његовим посебним захтевима и добрим пословним обичајима, ГФБ је дужан да као пословну тајну чува сваки документ или информацију коју добије од Партнера, а које као такве одреди Партнер.

ГФБ је одговоран за свако неовлашћено давање информације и података у смислу претходног става, изузев и само оним лицима која су непосредно ангажована на реализацији активности по овом Уговору.

Партнер је одговоран за свако неовлашћено давање информација коју добије од ГФБ, до којих дође приликом реализације активности по овом Уговору, и одговоран је за евентуалне трошкове и/или штету коју услед тога претрпи ГФБ.

### Трајање Уговора

#### Члан 3.

Уговор о пословно - техничкој сарадњи се закључује на неодређено време и сваки од потписника га може отказати.



Започети послови завршиће се у роковима предвиђеним планом активности које утврде координатори, односно прихваћеним писменим налозима, без обзира што би евентуално дошло до отказивања овог уговора.

### Решавање спорова и раскид уговора

#### Члан 8.

Све евентуалне спорове који настану из овог Уговора уговорне стране ће покушати да реше Уговорно.

Уколико спорови између уговорних страна не буду решени, уговорне стране су сагласне да ће сваки такав спор бити решаван пред стварно надлежним судом у Београду.

#### Завршне одредбе

#### Члан 9.

Овај Уговор се може изменити само писаним анексом, потписаним од стране овлашћених заступника уговорних страна.

#### Члан 10.

Уговор се сматра закљученим и ступа на снагу када га потпишу оба овлашћена лица уговорних страна, а што ће се документовати датумом на заводном печату.

Овај Уговор је сачињен у 4 (четири) истоветна примерака, од којих по 2 (два) за сваку уговорну страну.

Уговорне стране сагласно изјављују да су овај Уговор прочитале, разумеле и да уговорне одредбе у свему представљају израз њихове стварне воље.

Универзитет у Београду  
Грађевински факултет

*Вуџмановић*

Проф. др Владан Кузмановић, декан



"Omva Vencac" д.о.о

*Михајло Хаџистевић*

Михајло Хаџистевић



*Славето Јеловац*

Славето Јеловац