



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У  
НОВОМ САДУ



Милош Шешлија

**АНАЛИЗА ПРИМЕНЕ ОТПАДНИХ И  
РЕЦИКЛИРАНИХ МАТЕРИЈАЛА ЗА  
ИЗРАДУ ПОРОЗНОГ БЕТОНСКОГ  
КОЛОВОЗА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2018. година





КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, <b>РБР:</b>	
Идентификациони број, <b>ИБР:</b>	
Тип документације, <b>ТД:</b>	Монографска публикација
Тип записа, <b>ТЗ:</b>	Текстуални штампани материјал
Врста рада, <b>ВР:</b>	Докторска дисертација
Аутор, <b>АУ:</b>	Милош Шешлија
Ментор, <b>МН:</b>	Проф. др Властимир Радоњанин и проф. др Небојша Радовић
Наслов рада, <b>НР:</b>	Анализа примене отпадних и рециклираних материјала за израду порозног бетонског коловоза
Језик публикације, <b>ЈП:</b>	Српски
Језик извода, <b>ЈИ:</b>	Српски / енглески
Земља публикавања, <b>ЗП:</b>	Република Србија
Уже географско подручје, <b>УГП:</b>	Војводина
Година, <b>ГО:</b>	2018.
Издавач, <b>ИЗ:</b>	Ауторски репринт
Место и адреса, <b>МА:</b>	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, <b>ФО:</b> <small>(поглавља/страница/ цитата/табела/слика/графика/прилога)</small>	8/251/121/74/152/0/1
Научна област, <b>НО:</b>	Грађевинско инжењерство
Научна дисциплина, <b>НД:</b>	Саобраћајнице и технологија бетона
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО:</b>	порозни бетон, коловоз, рециклирани агрегат, електрофилтерски пепео, физичко-механичка својства
<b>УДК</b>	
Чува се, <b>ЧУ:</b>	Библиотека ФТН-а
Важна напомена, <b>ВН:</b>	
Извод, <b>ИЗ:</b>	У дисертацији су анализирани мешавине за израду порозног бетонског коловоза. Пројектовано је укупно 12 различитих врста мешавина. За справљање бетонских мешавина коришћене су фракције природног и рециклираног агрегата. Електрофилтерски пепео, који је отпадни материјал из термоелектрана, коришћен је као минерални додатак, којим је замењен део цемента. Справљено је шест мешавина са рециклираним агрегатом и шест мешавина са природним агрегатом. Лабораторијска испитивања су обухватила испитивање чврстоће при притиску бетона након: 7, 28, 56 и 84 дана, чврстоће при савијању (након 28, 56 и 84 дана), модул еластичности (статички и динамички), отпорност према хабању, коефицијент водопропустљивости и порозност. Добијени резултати потврдили су постављене хипотезе да је са рециклираним агрегатом и електрофилтерским пепелом могуће пројектовати и извести порозни бетонски коловоз.
Датум прихватања теме, <b>ДП:</b>	
Датум одбране, <b>ДО:</b>	
Чланови комисије, <b>КО:</b>	Председник: др Мирјана Малешев, ред. проф. Члан: др Горан Младеновић, ванр. проф. Члан: др Игор Пешко, доцент Члан: др Бојан Матић, ванр. проф. Члан, ментор: др Властимир Радоњанин, ред. проф. Члан, ментор: др Небојша Радовић, ванр. проф.
	Потпис ментора







## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed material
Contents code, <b>CC</b> :	Doctoral dissertation
Author, <b>AU</b> :	Miloš Šešlija
Mentor, <b>MN</b> :	PhD Vlastimir Radonjanin and PhD Nebojša Radović
Title, <b>TI</b> :	Analysis of the application of waste and recycled materials for the production of pervious concrete pavements
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian/English
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	2018
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	8/251/121/74/152/0/1
Scientific field, <b>SF</b> :	Civil Engineering
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Roads and technology of concrete
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	pervious concrete, pavement, recycled aggregate, fly ash, physical-mechanical properties
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	The Library of the Faculty of Technical Sciences
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	In the dissertation, mixtures for the production of pervious concrete pavements are analyzed. The project has a total of 12 different types of mixtures. For the preparation of concrete mixtures, the fractions of natural and recycled aggregates were used. Fly ash, which is a waste material from thermal power plants, was used as a mineral supplement, which replaced a part of cement. Six mixtures with a recycled aggregate and six mixtures with a natural aggregate were collected. Laboratory tests included: compressive strength after 7, 28, 56 and 84 days, flexural strength (after 28, 56 and 84 days), modulus of elasticity (static and dynamic), abrasion, permeability and porosity. The obtained results confirmed the hypotheses that it is possible to design and execute a pervious concrete pavement with a recycled aggregate and fly ash.
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	President: PhD Mirjana Malešev, Full Professor
	Member: PhD Goran Mladenović, Associate Professor
	Member: PhD Igor Peško, Assistant Professor
	Member: PhD Bojan Matić, Associate Professor
	Member, Mentor: PhD Vlastimir Radonjanin, Full Professor
	Member, Mentor: PhD Nebojša Radović, Associate Professor
	Mentor's sign



## РЕЗИМЕ

Предмет истраживања дисертације је израда порозног бетонског коловоза са природним и рециклираним агрегатом са везивом у коме је део цемента замењен електрофилтерским пепелом. За експериментално истраживање направљено је укупно 12 бетонских мешавина, односно направљено је укупно 360 узорака, од чега: 144 бетонске коцке - димензије 15 cm, 108 бетонских призми и 108 цилиндара пречника 15 cm и висине 30 cm. Рециклирани агрегат је добијен дробљењем бетонских коцки, које су у лабораторији коришћене за испитивање чврстоће бетона при притиску. Шест мешавина су пројектоване са рециклираним агрегатом, при чему је једна мешавина пројектована са 100% учешћа друге фракције агрегата, друга мешавина је пројектована са 100% учешћа треће фракције агрегата и трећа мешавина је пројектована комбинацијом друге фракције (65%) и треће фракције агрегата (35%). Све мешавине су пројектоване и справљене са додатком електрофилтерског пепела, као заменом за цемент уз учешће до 25%. Исте мешавине су пројектоване и са учешћем природног агрегата, ради компаративне анализе. Лабораторијским испитивањима су анализирана одабрана физичко-механичка својства, која су важна за примену бетонских коловоза, односно испитивани су: чврстоћа при притиску након: 7, 28, 56 и 84 дана, чврстоћа при савијању након: 28, 56 и 84 дана, модул еластичности након: 28, 56 и 84 дана, отпорност према хабању након: 28, 56 и 84 дана, као и коефицијент водопропустљивости за све мешавине. Поред примене стандардних деструктивних метода, за испитивање су коришћене и недеструктивне методе испитивања, односно метода ултразвука и метода Шмитовог чекића (склерометар). Приликом израде мешавина и припреме узорака, компактирање свежег бетона у узорцима обављено је са по 15 удараца шипком у два слоја, потом су остављени 24 часа у калупу и након тога су потопљени у воду и неговани до дана испитивања.

Чврстоћа при притиску се, за све испитиване бетоне, повећава са повећањем старости. Порозни бетони са електрофилтерским пепелом имали су релативно мало повећање чврстоће при притиску у периоду од 56 до 84 дана. Максималне вредности чврстоће при притиску су постигнуте код порозних бетона са рециклираним агрегатом без електрофилтерског пепела. Сличан тренд је забележен и код чврстоће при савијању, као и код модула еластичности. Испитивани су динамички и статички модули еластичности, где се уочава да је статички модул еластичности око 50% од вредности динамичког модула еластичности. Динамички модул еластичности испитан је помоћу ултразвука, односно мерењем брзине продирања таласа кроз узорке. Највећи коефицијент водопропустљивости забележен је на узорцима са максималном порозношћу, односно на узорцима који су справљени са природним агрегатом. При старости од 28 дана порозни бетони са рециклираним агрегатом имају мање хабање, док при већим старостима бетони са природним агрегатом имају мање хабање у односу на бетоне са рециклираним агрегатом. На основу резултата добијених недеструктивним испитивањима, могу се успоставити одређене функционалне зависности са другим својствима бетона, али је њихова поузданост упитна због великог утицаја порозности бетона на брзину продирања таласа и на величину одскока Шмитовог чекића. Ове недеструктивне методе испитивања нису поуздане за испитивање порозног бетона.

На основу спроведених теоријских и експерименталних истраживања закључено је да рециклирани агрегат има позитиван утицај на чврстоћу при притиску, чврстоћу при савијању, модул еластичности и отпорност на хабање, док природни агрегат позитивно утиче на порозност и водопропустљивост порозних бетона. Примена електрофилтерског пепела није довела до повећања чврстоћа, али је делимична замена цемента у порозним бетонским коловозима оправдана са еколошког аспекта. Комбиновање две фракције агрегата (4/8 и 8/16), утиче негативно на својства порозних бетона у односу на бетоне са само једном фракцијом агрегата. Такође, током експерименталног дела

дисертације уочено је да поступак и дужина трајања компактирања, као и трајање неге битно утичу на својства порозних бетона.

**Кључне речи:** порозни бетон, коловоз, рециклирани агрегат, електрофилтерски пепео, физичко-механичка својства

## ABSTRACT

The subject of the dissertation research is the production of a pervious concrete pavement with a natural and recycled aggregate with a binder in which a part of the cement is replaced by fly ash. For experimental research, a total of 12 concrete mixtures were made, ie a total of 360 samples were made: 144 concrete cubes - dimensions 15 cm, 108 concrete prisms and 108 cylinders with diameter of 15 cm and height of 30 cm. The recycled aggregate was obtained by crushing concrete blocks, which were used in the laboratory to test the compressive strength. Six mixtures was designed with a recycled aggregate, one mixture was designed with 100% share of the second fraction of the aggregate, the second mixture was designed with 100% share of the third aggregate fraction and the third mixture was designed by a combination of the second fraction (65%) and the third fraction of the aggregate (35%). All mixtures were designed and built with the addition of fly ash, as a substitute for cement with a share of up to 25%. The same mixtures were also designed with the participation of a natural aggregate, for the purpose of comparative analysis. Laboratory tests examined the selected physical-mechanical properties, which are important for the application of concrete pavements: compressive strength after 7, 28, 56 and 84 days, flexural strength after 28, 56 and 84 days, modulus of elasticity after 28, 56 and 84 days, abrasion after 28, 56 and 84 days, as well as the permeability for all mixtures. In addition to the application of standard destructive methods, non-destructive testing methods, ie ultrasound method and the Schmitt hammer method (sclerometer), were used for the test. When preparing mixtures and sample preparation, the compacting of fresh concrete in the samples was performed with 15 punching bars in two layers, then left for 24 hours in the mold and then immersed in water and treated until the day of the test.

Pressure strength increases for all tested concrete with age increasing. Porous concrete with fly ash had a relatively low increase in compressive strength over a period of 56 to 84 days. The maximum values of compressive strength were achieved with porous concrete with a recycled aggregate without fly ash. A similar trend was noted for the flexural strength, as well as for the modulus of elasticity. Dynamic and static moduli of elasticity were examined where it is observed that the static modulus of elasticity is about 50% of the value of the dynamic modulus of elasticity. The dynamic modulus of elasticity was tested using ultrasound, or by measuring the penetration velocity of the waves through the samples. The highest permeability was recorded on samples with maximum porosity, that is, on samples that were collected with a natural aggregate. At the age of 28 days, pervious concrete with a recycled aggregate has less wear, while at older ages, concrete aggregates have less wear compared to recycled aggregate concrete. Based on the results obtained by non-destructive testing, certain functional dependencies can be established with other concrete properties, but their reliability is questionable due to the great influence of the concrete porosity on the penetration velocity of the waves and the shaft size of the Schmitt hammer. These non-destructive test methods are not reliable for testing pervious concrete.

Based on conducted theoretical and experimental investigations, it was concluded that the recycled aggregate has a positive impact on the compressive strength, flexural strength, modulus of elasticity and abrasion, while the natural aggregate positively affects the porosity and water permeability of pervious concrete. The use of fly ash did not lead to increased strength, but the partial replacement of cement in pervious concrete pavements is justified from the ecological point of view. The combination of two fractions of aggregates (4/8 and 8/16) has a negative effect on the properties of pervious concrete compared to concrete with only one fraction of aggregates. Also, during the experimental part of the dissertation it was noticed that the procedure and length of the duration of the combination, as well as the duration of care, significantly affected the properties of pervious concrete.

**Key words:** pervious concrete, pavement, recycled aggregate, fly ash, physical-mechanical properties



## ЗАХВАЛНОСТ

Пре почетка писања захвалности, желим да нагласим, да без обзира колико сам самостално учествовао на изради ове докторске дисертације, не бих могао да је успешно приведем крају, да иза мене није стајао тим људи који су ме подржавали од самог почетка, па до краја израде дисертације. Првенствено се захваљујем мојим драги менторима, професорима и духовним родитељима: Властимиру Радоњанину и Небојши Радовићу. Њихово стрпљење, разумевање и подршка су за мене били велики извор мотивације током израде дисертације. Све критике и похвале које сам добијао од њих су биле добронамерне и учиниле су да у што краћем временском периоду, без превеликих мука, дођем до коначног циља.

Уједно се захваљујем и мом трећем незваничном ментору професорици Мирјани Малешев, која је била све време уз мене и уз чију помоћ сам превазилазио многе проблеме. Њена стручност и педагошка вештина ми је помогла да на што једноставнији и најлакши начин уочим и решим све проблеме током израде експерименталног истраживања и анализе добијених резултата.

Велико хвала дугујем и цењеним лаборантима: Дарку Брадићу и Стевану Томићу који су увек били уз мене приликом испитивања и који су ме учили и говорили како да превазиђем техничке препреке приликом израде дисертације. Такође, сам захвалан Александри Дмитровић, секретарици лабораторије, која је учествовала са мном у организацији од првог дана, као и њеном интересовању како напредује реализација саме дисертације.

Израда докторске дисертације не би била ни започета да нисмо имали добре спонзоре који су нам омогућили сав потребан материјал за израду порозних бетонских мешавина. Захваљујем се предузећу „Карин комерц МД“ за целокупан агрегат, транспорт целокупног материјала који је био потребан, а уједно се захваљујем главном спонзору, фабрици цемента „LaFarge“ која је обезбедила цемент. Поред драгих спонзора, стекао сам нове пријатеље којима, такође, желим да се захвалим, пре свих: Данијели Остојић из фабрике цемента „LaFarge“ која ми је пружила све потребне информације и која је увек била ту за сва питања поводом израде мешавина. Њена доброта и енергија подстицајно су утицале на мене током рада на дисертацији. Уједно, желим да се захвалим Жељку Зечевићу из „Карин комерца МД“ који је увек био на располагању да ми пружи помоћ и савете како бих напредовао у изради докторског рада.

Велико хвала мојим родитељима, брату и девојци на неизмерној подршци, као и мојим кумовима и пријатељима који су увек били уз мене и који су ми помагали око свих проблема током израде дисертације, са својим саветима и коментарима.

Најзад, ову дисертацију посвећујем људима, који су ме напустили током израде дисертације јер су изненадно преминули, *мом драгом пријатељу и колеги Марку Марчети, својој сестри од тетке Славици Живковић и свом драгом и вољеном ујаку Александру Вег*. И када сам био тужан, ишао сам напред јер знам да су они увек ту уз мене.





## САДРЖАЈ:

<b>1</b>	<b>УВОД</b>	<b>23</b>
1.1	ПОТРЕБА ЗА ИСТРАЖИВАЊЕМ	24
1.2	ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА	25
1.3	ПРИМЕНЉИВОСТ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА	26
1.4	КРАТАК ПРИКАЗ САДРЖАЈА РАДА	26
<b>2</b>	<b>ПОРОЗНИ БЕТОНСКИ КОЛОВОЗ</b>	<b>27</b>
2.1	ИСТОРИЈАТ	29
2.2	ПРИМЕНА ПОРОЗНОГ БЕТОНА	30
2.3	ПРОЈЕКТОВАЊЕ САСТАВА ПОРОЗНОГ БЕТОНА	32
2.4	ИЗБОР КОМПОНЕНТНИХ МАТЕРИЈАЛА	32
2.4.1	ЦЕМЕНТ	33
2.4.2	АГРЕГАТ	33
2.4.3	ВОДА	33
2.4.4	ДОДАЦИ	34
2.5	СВОЈСТВА ПОРОЗНОГ БЕТОНА	34
2.5.1	ЧВРСТОЋА ПРИ ПРИТИСКУ	34
2.5.2	ЗАПРЕМИНСКА МАСА	36
2.5.3	ПОРОЗНОСТ	36
2.5.4	КОЕФИЦИЈЕНТ ВОДОПРОПУСТЉИВОСТИ	37
2.5.5	ЧВРСТОЋА ПРИ САВИЈАЊУ	39
2.5.6	ОТПОРНОСТ НА ХАБАЊЕ	40
2.6	ОДРЖАВАЊЕ ПОРОЗНОГ БЕТОНСКОГ КОЛОВОЗА	40
<b>3</b>	<b>ПРИКАЗ И АНАЛИЗА ЗНАЧАЈНИХ ИСТРАЖИВАЊА</b>	<b>42</b>
3.1	ЧВРСТОЋА ПРИ ПРИТИСКУ	44
3.2	ЧВРСТОЋА ПРИ САВИЈАЊУ	47
3.3	ЧВРСТОЋА НА ЗАТЕЗАЊЕ ПРИ ЦЕПАЊУ	50
3.4	ОТПОРНОСТ НА ХАБАЊЕ	52
3.5	ОТПОРНОСТ НА ДЕЈСТВО МРАЗА	54
3.6	МОДУЛ ЕЛАСТИЧНОСТИ	56
3.7	КОЕФИЦИЈЕНТ ВОДОПРОПУСТЉИВОСТИ	57
3.8	ЗАКЉУЧАК	61
<b>4</b>	<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА</b>	<b>64</b>
4.1	ПРОГРАМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОГ ИСТРАЖИВАЊА	64
4.2	ПОДАЦИ О КОМПОНЕНТНИМ МАТЕРИЈАЛИМА	65
4.2.1	ЦЕМЕНТ	65
4.2.2	АГРЕГАТ	65
4.2.2.1	Облик зрна агрегата	66
4.2.2.2	Стварна запреминска маса и упијање воде	67

4.2.2.3	Отпорност на дробљење	68
4.2.2.4	Састојци у рециклираном агрегату	68
4.2.2.5	Утицај на време везивања	68
4.2.2.6	Количина везног малтера	69
4.2.3	МИНЕРАЛНИ ДОДАЦИ	69
4.2.4	Вода	70
<b>4.3</b>	<b>САСТАВ БЕТОНСКИХ МЕШАВИНА</b>	<b>71</b>
<b>4.4</b>	<b>ИЗРАДА БЕТОНСКИХ МЕШАВИНА</b>	<b>71</b>
<b>4.5</b>	<b>ПОСТУПЦИ, ТОК ИСПИТИВАЊА И РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА</b>	<b>72</b>
4.5.1	СВОЈСТВА СВЕЖЕГ БЕТОНА	72
4.5.1.1	Конзистенција	72
4.5.1.2	Запреминска маса	73
4.5.1.3	Порозност	74
4.5.2	СВОЈСТВА ОЧВРСЛОГ БЕТОНА	74
4.5.2.1	Чврстоћа бетона при притиску	74
4.5.2.2	Чврстоћа бетона при савијању	78
4.5.2.3	Отпорност на хабање	82
4.5.2.4	Модул еластичности	84
4.5.2.4.1	Статички модул еластичности	84
4.5.2.4.2	Динамички модул еластичности	85
4.5.2.5	Коефицијент водопропустљивости	88
4.5.2.6	Одређивање чврстоће порозног бетона недеструктивном методом	90
4.5.2.6.1	Метода ултразвука	90
4.5.2.6.2	Метода склерометра	90
<b>5</b>	<b>АНАЛИЗА И ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА</b>	<b>92</b>
<b>5.1</b>	<b>КОНЗИСТЕНЦИЈА БЕТОНА</b>	<b>92</b>
<b>5.2</b>	<b>ЗАПРЕМИНСКА МАСА СВЕЖЕГ БЕТОНА</b>	<b>92</b>
<b>5.3</b>	<b>ПОРОЗНОСТ ОЧВРСЛОГ БЕТОНА</b>	<b>93</b>
<b>5.4</b>	<b>ЧВРСТОЋА ПРИ ПРИТИСКУ</b>	<b>94</b>
<b>5.5</b>	<b>ЧВРСТОЋА ПРИ САВИЈАЊУ</b>	<b>97</b>
<b>5.6</b>	<b>ОТПОРНОСТ НА ХАБАЊЕ</b>	<b>99</b>
<b>5.7</b>	<b>МОДУЛ ЕЛАСТИЧНОСТИ</b>	<b>100</b>
<b>5.8</b>	<b>КОЕФИЦИЈЕНТ ВОДОПРОПУСТЉИВОСТИ</b>	<b>102</b>
<b>5.9</b>	<b>НЕДЕСТРУКТИВНА МЕТОДА ИСПИТИВАЊА</b>	<b>108</b>
5.9.1	ИСПИТИВАЊЕ УЛТРАЗВУЧНОМ МЕТОДОМ	108
5.9.2	ИСПИТИВАЊЕ СКЛЕРОМЕТРОМ	111
<b>5.10</b>	<b>ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА</b>	<b>112</b>
<b>5.11</b>	<b>КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА</b>	<b>127</b>
5.11.1	КОНЗИСТЕНЦИЈА БЕТОНА	128
5.11.2	ЗАПРЕМИНСКА МАСА	128
5.11.2.1	Запреминска маса у свежем стању	128
5.11.2.2	Запреминска маса очврслог бетона	128
5.11.3	ПОРОЗНОСТ	130
5.11.4	ЧВРСТОЋА ПРИ ПРИТИСКУ	131
5.11.5	ЧВРСТОЋА ПРИ САВИЈАЊУ	133
5.11.6	ОТПОРНОСТ НА ХАБАЊЕ	134

5.11.7	Модул еластичности	134
5.11.8	Коефициент водопропустљивости	135
<b>6</b>	<b><u>ЗАКЉУЧЦИ И ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА</u></b>	<b><u>136</u></b>
6.1	ЗАКЉУЧЦИ	136
6.2	ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА	137
<b>7</b>	<b><u>ЛИТЕРАТУРА</u></b>	<b><u>139</u></b>
<b>8</b>	<b><u>НУМЕРИЧКИ ПРИЛОГ</u></b>	<b><u>144</u></b>

## СПИСАК СЛИКА:

Слика 2.1 Утицај порозног бетона на ниво подземних вода у урбаним срединама [8] .....	27
Слика 2.2 Приказ попречног пресека коловоза са слојевима за дренарање, у случају непропусне постелице [15].....	29
Слика 2.3 Стамбени објекат од порозног бетона у Шкотској [33].....	29
Слика 2.4 Стамбена кућа у Шкотској [33] .....	29
Слика 2.5 Двоспратни стамбени објекти од порозног бетона [34], [35].....	30
Слика 2.6 Стамбени објекат у Штутгарту од 19 спратова.....	30
Слика 2.7 Стамбени објекти у Единбургу, Шкотска .....	30
Слика 2.8 Паркинг-површина .....	31
Слика 2.9 Коловоз у постројењу фирме .....	31
Слика 2.10 Изглед фасаде.....	31
Слика 2.11 Звучне баријере .....	31
Слика 2.12 Пешачка стаза у парку .....	31
Слика 2.13 Насипи код мостова .....	31
Слика 2.14 Приказ структуре очврслог бетона (лево – већа запремина цементне пасте, десно – мања запремина цементне пасте и већи садржај пора) [39] .....	33
Слика 2.15 Узорци порозног бетона са различитим садржајем воде [15].....	34
Слика 2.16 Однос садржаја пора и чврстоће при притиску у порозном бетону (1 psi = 0.006895 МПа) [40] .....	35
Слика 2.17 Однос између запреминске масе и чврстоће при притиску (1psi = 0.006895 МПа; 1 lb/ft <sup>3</sup> =16.02 kg/m <sup>3</sup> ) [40], [41].....	35
Слика 2.18 Однос између водоцементног фактора и количине порозности у порозном бетону [40] ..	36
Слика 2.19 Врста пора код порозног бетона [47].....	36
Слика 2.20 Утицај величине агрегата и гранулације на порозност порозног бетона [40] .....	37
Слика 2.21 Утицај величине агрегата на величину пора за једнофракцијску порозну бетонску мешавину [40].....	37
Слика 2.22 Корелација између количине порозности и коефицијента филтрације у порозној бетонској мешавини (1in.=2.54cm) [40] .....	38
Слика 2.23 Уређај за мерење порозности порозног бетона [40] .....	39
Слика 2.24 Општи однос корелације између количине порозности и коефицијента водопропустљивости [9], [39].....	39
Слика 2.25 Корелација између количине порозности и чврстоће при савијању за порозни бетон (1psi=0.006895 МПа) [40].....	39
Слика 2.26 Корелација између чврстоће при савијању и чврстоће при притиску за порозни бетон (1psi=0.006895МПа) [40].....	39
Слика 2.27 Корелација између чврстоће при савијању и порозности за порозни бетон (1psi=0.006895МПа) [40].....	40
Слика 2.28 Одржавање порозног бетона са водом под притиском [8].....	40
Слика 2.29 Пример уређене околне површине на нижој коти од порозног бетона [40].....	40
Слика 2.30 Одржавање порозног бетонског коловоза са вакуумским чишћењем [8].....	41
Слика 2.31 Приказ коефицијента филтрације са различитим методама одржавања (1in/h=0.0254m/h) [57] .....	41
Слика 3.1 Порозни бетон: а) дијаграм вредности чврстоће при притиску за одређене врсте мешавине; б) дијаграм зависности између чврстоће при притиску о учешћу песка у порозном бетону [60] .....	44

Слика 3.2 Зависност између водоцементног фактора и чврстоће при притиску (лево); зависност запреминске масе очврслог бетона и чврстоће при притиску (десно) [16].....	45
Слика 3.3 Зависност између запреминске масе очврслог бетона и чврстоће при притиску [50].....	45
Слика 3.4 Чврстоћа при притиску за СПЦ и ППЦ узорке [63].....	46
Слика 3.5 Зависност између водоцементног фактора и чврстоће при притиску: СПЦ (лево) и ППЦ (десно) [63].....	46
Слика 3.6 Приказ односа водоцементног фактора и количине цемента код чврстоће при притиску након 28 дана [79].....	47
Слика 3.7 Зависност између чврстоће при савијању од учешћа песка [58].....	47
Слика 3.8 Зависност између количине рециклиране гуме и чврстоће при савијању [72].....	48
Слика 3.9 Зависност између садржаја количине песка и чврстоће при савијању ( $1\text{N/mm}^2=1\text{MPa}$ ) [73].....	49
Слика 3.10 Приказ односа између водоцементног фактора и количине цемента и чврстоће при савијању након 28 дана [79].....	49
Слика 3.11 Вредности чврстоће на затезању при цепању [59].....	50
Слика 3.12 Зависност између чврстоће на затезању при цепању од запреминске масе у сувом стању (лево) и чврстоћи при притиску (десно) [71].....	51
Слика 3.13 Резултати испитивања чврстоће на затезање при цепању од врсте мешавине (лево); зависност између чврстоће при притиску и чврстоће на затезање при цепању (десно) [73].....	51
Слика 3.14 Приказ чврстоће на затезање при цепању са различитим вредностима водоцементног фактора [77].....	52
Слика 3.15 Зависност између количине цементне пасте/количина порозности и чврстоће при цепању са променљивим учешћем агрегата [80].....	52
Слика 3.16 Отпорност на хабање на порозним бетонима [64].....	53
Слика 3.17 Зависност између садржаја количине рециклиране гуме и отпорности на хабање [74]....	53
Слика 3.18 Губитак масе при отпорности на хабање за различите врсте агрегата и количине цемента [78].....	54
Слика 3.19 Приказ губитка масе након одређеног броја циклуса замрзавања и одмрзавања [60].....	55
Слика 3.20 Резултати испитивања отпорности на дејство мраза за речни агрегат лоптастог облика [69].....	55
Слика 3.21 Губитак масе за узорке приликом излагања циклусима замрзавања и одмрзавања [74] .	56
Слика 3.22 Модул еластичности након 28 дана од лакоагрегатног бетона [57].....	56
Слика 3.23 Зависност између модула еластичности од садржаја количине рециклиране гуме [74] ...	57
Слика 3.24 Вредности модула еластичности [78].....	57
Слика 3.25 Зависност између коефицијента водопропустљивости и запреминске масе (лева) и водоцементног фактора (десна) [16].....	58
Слика 3.26 Коефицијент водопропустљивости на различитим паркиралиштима [84].....	58
Слика 3.27 Коефицијент водопропустљивости испитиван помоћу две методе (ASTM и NCAT) [86].....	59
Слика 3.28 Зависност између коефицијента водопропустљивости и запреминске масе свежег бетона (лева) и коефицијента водопропустљивости од запреминске масе након 28 дана (десна) [61].....	59
Слика 3.29 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности порозне бетонске мешавине [61].....	60
Слика 3.30 Резултати испитивања коефицијента водопропустљивости [65].....	60
Слика 3.31 Зависност између коефицијента водопропустљивости и запреминске масе након 28 дана (лево); зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности (десно) [47].....	61
Слика 3.32 Зависност коефицијента водопропустљивости од запреминске масе (лево); зависност коефицијента водопропустљивости од порозности (десно) [20].....	61

Слика 3.33 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности (лево); зависност између коефицијента водопропустљивости и запреминске масе очврслог бетона (десно) [9].....	61
Слика 4.1 Контролне бетонске коцке .....	66
Слика 4.2 Гранулометријски састав природног и рециклираног крупног агрегата.....	66
Слика 4.3 Изглед зрна рециклираног и природног агрегата по фракцијама .....	67
Слика 4.4 Справљање бетонске мешавине .....	72
Слика 4.5 Бетон уграђен у калупе .....	72
Слика 4.6 Мерење конзистенције методом слегања за бетоне PB P4-0 и PB R4-25.....	73
Слика 4.7 Одређивање чврстоће при притиску .....	74
Слика 4.8 Одређивање чврстоће бетона при савијању .....	79
Слика 4.9 Испитивање хабања помоћу широког точка.....	82
Слика 4.10 Одређивање статичког модула еластичности .....	85
Слика 4.11 Одређивање динамичког модула еластичности .....	85
Слика 4.12 Одређивање коефицијента водопропустљивости .....	88
Слика 4.13 Подручје испитивања на пробним бетонским узорцима .....	91
Слика 5.1 Промена конзистенције бетона у зависности од врсте порозног бетона .....	92
Слика 5.2 Запреминска маса порозног бетона .....	92
Слика 5.3 Порозност бетона .....	93
Слика 5.4 Порозност за порозне бетоне .....	93
Слика 5.5 Промена чврстоће при притиску у функцији од времена за порозне бетоне .....	94
Слика 5.6 Зависност између чврстоће при притиску и порозности за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0.....	95
Слика 5.7 Зависност између чврстоће при притиску и порозности за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25 .....	95
Слика 5.8 Зависност између чврстоће при притиску и порозности за порозне бетоне PB R8-28, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25.....	96
Слика 5.9 Зависност између чврстоће при притиску и запреминске масе за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0 .....	96
Слика 5.10 Зависност између чврстоће при притиску и запреминске масе PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25 .....	97
Слика 5.11 Зависност између чврстоће при притиску и запреминске масе порозних бетона PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25 .....	97
Слика 5.12 Промена чврстоће при савијању у функцији времена за порозне бетоне .....	98
Слика 5.13 Зависност између чврстоће при савијању и запреминске масе за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0 .....	98
Слика 5.14 Зависност између чврстоће при савијању и запреминске масе за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25 .....	99
Слика 5.15 Зависност између чврстоћа при савијању и запреминске масе за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25 .....	99
Слика 5.16 Отпорност на хабање за порозне бетоне .....	100
Слика 5.17 Промена статичког модула еластичности у функцији времена (лево), промена динамичког модула еластичности у функцији времена (десно).....	100
Слика 5.18 Статички и динамички модул еластичности при старости од 28 дана .....	101
Слика 5.19 Статички и динамички модул еластичности при старости од 56 дана .....	101
Слика 5.20 Статички и динамички модул еластичности при старости од 84 дана .....	102
Слика 5.21 Приказ зависности између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P4-0 (лево) и PB R4-0 (десно) .....	102

Слика 5.22 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P8-0 (лево) и PB R8-0 (десно).....	103
Слика 5.23 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P4;8-0 (лево) и PB R4;8-0 (десно).....	103
Слика 5.24 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P4-25 (лево) и PB R4-25 (десно).....	104
Слика 5.25 Зависност коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P8-25 (лево) и PB R8-25 (десно).....	104
Слика 5.26 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P4;8-25 (лево) и PB R4;8-25 (десно).....	105
Слика 5.27 Зависност између чврстоће при притиску и коефицијента водопропустљивости од порозности за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0.....	105
Слика 5.28 Зависност између чврстоће при притиску и коефицијента водопропустљивости од порозности за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25.....	106
Слика 5.29 Зависност између чврстоће при притиску и коефицијента водопропустљивости од порозности за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25 .....	106
Слика 5.30 Зависност између запреминске масе очврслог бетона и порозности од коефицијента водопропустљивости за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0 .....	107
Слика 5.31 Зависност између запреминске масе очврслог бетона и порозности од коефицијента водопропустљивости за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25 .....	107
Слика 5.32 Зависност између запреминске масе очврслог бетона и порозности од коефицијента водопропустљивости за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25 .....	108
Слика 5.33 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне PB P4-0 (лево) и PB R4-0 (десно).....	108
Слика 5.34 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне PB P8-0 (лево) и PB R8-0 (десно).....	109
Слика 5.35 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне PB P4;8-0 (лево) и PB R4;8-0 (десно).....	109
Слика 5.36 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне PB P4-25 (лево) и PB R4-25 (десно).....	110
Слика 5.37 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне PB P8-25 (лево) и PB R8-25 (десно).....	110
Слика 5.38 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне PB P4;8-25 (лево) и PB R4;8-25 (десно).....	110
Слика 5.39 Зависност између чврстоће при притиску од индекса склерометра за порозне бетоне PB P4-0, PB R4-0, PB P8-0 и PB R8-0.....	111
Слика 5.40 Зависност између чврстоће при притиску од индекса склерометра за порозне бетоне PB P4;8-0, PB R4;8-0, PB P4-25 и PB R4-25.....	112
Слика 5.41 Зависност између чврстоће при притиску од индекса склерометра за порозне бетоне PB P8-25, PB R8-25, PB P4;8-25 и PB R4;8-25.....	112
Слика 5.42 Зависност између чврстоће при савијању од чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0.....	113
Слика 5.43 Зависност између чврстоће при савијању и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25.....	113
Слика 5.44 Зависност између чврстоће при савијању и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25.....	114

Слика 5.45 Зависност између модула еластичности и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0 .....	114
Слика 5.46 Зависност између модула еластичности и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25 .....	115
Слика 5.47 Зависност између модула еластичности и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25 .....	115
Слика 5.48 Зависност између модула еластичности и чврстоће при савијању за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0 .....	116
Слика 5.49 Зависност између модула еластичности и чврстоће при савијању за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25 .....	116
Слика 5.50 Зависност између модула еластичности и чврстоће при савијању за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25 .....	117
Слика 5.51 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P4-0 (лево) и PB R4-0 (десно) .....	117
Слика 5.52 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P8-0 (лево) и PB R8-0 (десно) .....	118
Слика 5.53 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P4;8-0 (лево) и PB R4;8-0 (десно) .....	118
Слика 5.54 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P4-25 (лево) и PB R4-25 (десно) .....	119
Слика 5.55 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању и порозности за порозне бетоне PB P8-25 (лево) и PB R8-25 (десно) .....	119
Слика 5.56 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P4;8-25 (лево) и PB R4;8-25 (десно) .....	120
Слика 5.57 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P4-0 (лево) и PB R4-0 (десно) .....	120
Слика 5.58 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P8-0 (лево) и PB R8-0 (десно) .....	121
Слика 5.59 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P4;8-0 (лево) и PB R4;8-0 (десно) .....	121
Слика 5.60 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P4-25 (лево) и PB R4-25 (десно) .....	122
Слика 5.61 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P8-25 (лево) и PB R8-25 (десно) .....	122
Слика 5.62 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P4;8-25 (лево) и PB R4;8-25 (десно) .....	123
Слика 5.63 Хистограм за сумарни приказ коефицијената корелација .....	127
Слика 5.64 Упоредни резултати запреминске масе у свежег стању .....	128
Слика 5.65 Упоредна анализа запреминске масе очврслог бетона након 7 дана .....	129
Слика 5.66 Компаративна анализа запреминске масе очврслог бетона након 28 дана .....	129
Слика 5.67 Упоређење литературних података са сопственим експерименталним истраживањем..	130
Слика 5.68 Упоредна анализа литературних истраживања са сопственим експерименталним резултатима чврстоће при притиску након 7 дана .....	131
Слика 5.69 Упоредна анализа литературних истраживања са сопственим експерименталним резултатима чврстоће при притиску након 28 дана .....	132
Слика 5.70 Упоредна анализа литературних истраживања са сопственим експерименталним резултатима чврстоће при притиску након 56 дана .....	132



Слика 5.71 Упоредна анализа литературних истраживања са сопственим експерименталним резултатима чврстоће при притиску након 84 дана .....	133
Слика 5.72 Упоредна анализа чврстоће при савијању са литературним подацима .....	133
Слика 5.73 Компаративна анализа отпорности на хабање .....	134
Слика 5.74 Вредности модула еластичности .....	134
Слика 5.75 Компаративна анализа коефицијента водопропустљивости .....	135

**СПИСАК ТАБЕЛА:**

Табела 2.1 Опсег потребне количине материјала за справљање порозног бетона [15] .....	32
Табела 3.1 Преглед карактеристика састава мешавине порозног бетона .....	42
Табела 4.1 Физичка својства цемента .....	65
Табела 4.2 Механичка својства цемента .....	65
Табела 4.3 Индекс облика зрна агрегата .....	67
Табела 4.4 Запреминска маса и упијање воде .....	67
Табела 4.5 Дробљивост агрегата .....	68
Табела 4.6 Састојци у рециклираном агрегату .....	68
Табела 4.7 Време везивања .....	68
Табела 4.8 Колична везног малтера .....	69
Табела 4.9 Хемијски састав пепела .....	69
Табела 4.10 Класа пуцоланских материјала .....	70
Табела 4.11 Испитивани узорци пепела .....	70
Табела 4.12 Физичка својства пепела .....	70
Табела 4.13 Количине компонентних материја за 1m <sup>3</sup> порозне бетонске мешавине .....	71
Табела 4.14 Температура свежег бетона .....	71
Табела 4.15 Вредности слегања и одређивање конзистенције .....	72
Табела 4.16 Запреминска маса свежег бетона .....	73
Табела 4.17 Садржај пора у свежем бетону .....	74
Табела 4.18 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4-0 .....	75
Табела 4.19 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р8-0 .....	75
Табела 4.20 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4;8-0 .....	76
Табела 4.21 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4-0 .....	76
Табела 4.22 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р8-0 .....	76
Табела 4.23 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4;8-0 .....	76
Табела 4.24 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4-25 .....	77
Табела 4.25 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р8-25 .....	77
Табела 4.26 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4;8-25 .....	77
Табела 4.27 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4-25 .....	77
Табела 4.28 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р8-25 .....	78
Табела 4.29 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4;8-25 .....	78
Табела 4.30 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4-0 .....	79
Табела 4.31 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р8-0 .....	79
Табела 4.32 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4;8-0 .....	80
Табела 4.33 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4-0 .....	80
Табела 4.34 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р8-0 .....	80
Табела 4.35 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4;8-0 .....	80
Табела 4.36 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4-25 .....	80

Табела 4.37 Чврстоћа бетона при савијању за PB P8-25 .....	81
Табела 4.38 Чврстоћа бетона при савијању за PB P4;8-25 .....	81
Табела 4.39 Чврстоћа бетона при савијању за PB R4-25 .....	81
Табела 4.40 Чврстоћа бетона при савијању за PB R8-25 .....	81
Табела 4.41 Чврстоћа бетона при савијању за PB R4;8-25 .....	81
Табела 4.42 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB P4-0 .....	82
Табела 4.43 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB P8-0 .....	82
Табела 4.44 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB P4;8-0 .....	82
Табела 4.45 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R4-0 .....	83
Табела 4.46 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R8-0 .....	83
Табела 4.47 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R4;8-0 .....	83
Табела 4.48 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB P4-25 .....	83
Табела 4.49 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB P8-25 .....	83
Табела 4.50 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB P4;8-25 .....	84
Табела 4.51 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R4-25 .....	84
Табела 4.52 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R8-25 .....	84
Табела 4.53 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R4;8-25 .....	84
Табела 4.54 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB P4-0 .....	86
Табела 4.55 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB P8-0 .....	86
Табела 4.56 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB P4;8-0 .....	86
Табела 4.57 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB R4-0 .....	86
Табела 4.58 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB R8-0 .....	86
Табела 4.59 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB R4;8-0 .....	87
Табела 4.60 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB P4-25 .....	87
Табела 4.61 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB P8-25 .....	87
Табела 4.62 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB P4;8-25 .....	87
Табела 4.63 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB R4-25 .....	87
Табела 4.64 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB R8-25 .....	88
Табела 4.65 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину PB R4;8-25 .....	88
Табела 4.66 Коефицијент водопропустљивости за порозне бетонске мешавине PB P4-0, PB P8-0 и PB P4;8-0 .....	89
Табела 4.67 Коефицијент водопропустљивости за порозне бетонске мешавине PB R4-0, PB R8-0 и PB R4;8-0 .....	89
Табела 4.68 Коефицијент водопропустљивости за порозне бетонске мешавине PB P4-25, PB P8-25 и PB P4;8-25 .....	89
Табела 4.69 Коефицијент водопропустљивости за порозне бетонске мешавине PB R4-25, PB R8-25 и PB R4;8-25 .....	90
Табела 4.70 Брзина продирања таласа кроз порозне бетонске узорке .....	90
Табела 4.71 Резултати индекса склерометра измерени на порозним бетонским узорцима .....	91
Табела 5.1 Сумарни приказ зависности између појединих физичко-механичких својстава .....	123

**1 УВОД**

Развој бетонских коловоза започет је још у доба старих Римљана [1]. Коловозне конструкције тог доба чинио је слој уситњеног каменог материјала везан природним хидрауличним везивом (вулкански пепео из места Поцуоли код Напуља) [2]. Изградњом првог цементног макадама, 1888. године у Вроцлаву, започиње модерно доба изградње бетонских коловоза [3]. Ипак, први класични бетонски коловоз изграђен је нешто касније, 1891. године у Белфаунтну, САД, применом само скромних занатских технологија [4]. Први машински изведени путеви појављују се у Немачкој 1930. године [5]. У Србији се почетак изградње бетонских коловоза везује за период пре Првог светског рата и непосредно после Другог светског рата, након чега се са изградњом бетонских коловоза на српским путевима потпуно престало [1]. Данас се бетонски коловози код нас изводе само на посебним местима, попут наплатних рампи на ауто-путевима, бензинским станицама и аутобуским стајалиштима. Бетонски коловози код нас нису заступљени у великој мери, али налазе своју широку примену у развијеним земљама, углавном у САД-у и земљама Европе (Аустрији, Немачкој, Белгији, Чешкој и др.) [1]. Тако је нпр. у Чешкој Републици око 50% ауто-путева изграђено од бетона [3]. Предности бетонских у односу на асфалтне коловозе су вишеструке. Крутост и чврстоћа бетона утичу на дистрибуцију оптерећења преко релативно велике површине, тако да је оптерећење на постељицу мало, па су и слојеви испод бетонске плоче мањих димензија у поређењу са слојевима асфалтних коловозних конструкција [6].

Повољна физичко-механичка својства узрокују и мање потребе за одржавањем, поправкама и реконструкцијом бетонских коловоза у односу на асфалтне коловозе. Наиме, код бетонских коловоза нема деформација у облику колотрага насталих кретањем возила будући да крута коловозна конструкција смањује деформацију коловоза, што на крају утиче и на смањење потрошње горива код возила [7]. Мање деформације, код таквог коловоза, значе и смањење могућности задржавања воде на коловозу и појаве тзв. ефекта аквапланинга (енгл. *aquaplaning*) који би могао утицати на управљање возилима, што знатно доприноси сигурности и удобности саобраћаја, а истовремено утиче и на трајност коловоза. Смањена потреба за одржавањем и реконструкцијом бетонског коловоза, такође утиче на повећање брзине путовања и протока саобраћаја, будући да су смањени радови на коловозу. Додатно, бетон је врло светао материјал који добро рефлектује светлост [8] надолazeћих возила и уличних светала, чиме се повећава видљивост и сигурност ноћне вожње [7].

Изградњом бетонских коловоза троши се мање горива током производње, транспорта и збијања материјала у конструкцију [7]. У бетону се могу употребити индустријски нупродукти (летећи пепео, згура) чиме се смањују депоније тих материјала, као и потребе за материјалима из природних извора. Такође, савремени бетонски коловози имају побољшане површинске текстуре, чиме представљају добро решење за смањење буке, те знатно већу отпорност коловозне површине на проклизавање. Ове предности су нарочито изражене код коловозних конструкција, чији је горњи слој изведен од тзв. порозног бетона [9].

Порозни бетонски коловоз је посебан облик бетонског коловоза који се највише употребљава у САД-у, нешто мање у Европи, док у Србији, још увек, не постоје примери примене и обимнијег истраживања ове врсте бетона. Ради се о бетону који има изразиту порозност, те због тога пропушта воду, смањује буку, смањује потребу за изградњом система за одводњавање воде са коловоза, олакшава прочишћавање воде и сл. [10]. Са аспекта очувања природне средине доста је погоднији у односу на остале типове коловозних застора. Порозни бетон је коришћен у високоградњи још од

средине XIX века. Европске земље су користиле порозни бетон за различите функције: бетонирање носивих зидова на лицу места у једносратним и вишесратним кућама, у неким случајевима и у високим зградама, монтажним плочама и блоковима од бетона. Током 1852. године, порозни бетон се први пут користи за изградњу кућа у Великој Британији [11]. Све већа је примена порозног бетона из године у годину, при чему се као агрегат додају рециклирани материјали разних врста ради добијања тзв. *зеленог* бетона.

Због високог удела шупљина, порозном бетону је значајно смањена чврстоћа при притиску и трајност у односу на стандардни бетон. Запреминска маса порозног бетона креће се од 1600 до 2000 kg/m<sup>3</sup> [12]. За израду овог бетона препоручено је доzirати агрегат од 1190 до 1600 kg/m<sup>3</sup>, углавном једнофракцијски са величином гранулације од 4 до 8 mm, у изузетним случајевима 12,5 mm, са или без додатка ситних честица [12]. Ситне честице се додају у количини од 7% на укупну масу агрегата. Порозни бетон се примењује за изградњу бицикличких и пешачких стаза, паркинга, речних насипа, наплатних рампи и звучних баријера.

Основна предност коју порозни бетони имају у поређењу са обичним бетонима је мања запреминска маса. Тежина коловозне конструкције представља важан фактор приликом извођења јер директно утиче на смањење оптерећења на доње слојеве коловозне конструкције. Велика количина пора омогућава одржавање коловозне површине сувом, без задржавања воде на површини, потом смањује клизање возила на свим врстама путева, смањује буку која настаје контактом између гуме и коловоза и у великој мери смањује одсјај на путним површинама [13].

Као и сваки материјал, порозни бетон има своје недостатке међу којима се истиче већа јединична цена за око 10-40% у односу на обичан бетон. Поре порозног бетона се могу, након извесног времена, зачепити због нечистоћа које са собом носи површинско отицање, али редовним одржавањем може се поспешити примена овог типа коловоза. Због садржаја велике количине шупљина, порозни бетон је подложен оштећењима узрокованим смрзавањем воде која остаје у порама [13].

## 1.1 ПОТРЕБА ЗА ИСТРАЖИВАЊЕМ

Узимајући у обзир да је вода један од главних узрочника саобраћајних незгода и пропадања коловозних конструкција, порозни бетонски коловоз даје могућност брзог продирања воде са површине коловоза и кроз доње слојеве коловозне конструкције. Употреба отпадних и рециклираних материјала (електрофилтерског пепела и рециклиране гуме) омогућава да се смање депоније отпадних материјала и да се сачувају налазишта природних необновљивих сировина. Бетонски коловози су познати као круте коловозне плоче са великом буком која настаје као последица контакта пнеуматика и горње површине бетонског коловоза, док је код асфалтних коловоза ниво буке значајно мањи јер садржај битумена даје флексибилност коловозу и омогућава добро приањање између пнеуматика и хабајуће површине. За разлику од класичних бетонских коловоза, порозни бетонски коловоз због својих пора смањује ниво буке током вожње, а садржај рециклиране гуме омогућава повећање удобности и комфора вожње на бетонском коловозу. Највећи проблем се може појавити у постељици, јер зависи на ком материјалу је планирана изградња коловозне конструкције и колика је водопропустивост тла.

У препорукама за избор врсте и одређивање количина компонентних материјала порозног бетонског коловоза, често се наилази на податак да је најбоље користити чисте портланд цементе високих класа чврстоће (*CEM I 42.5*). Оправдање за употребу велике количине цемента високих класа чврстоће налази се у објашњењу начина преношења оптерећења у порозним бетонима.

Истраживање се заснива на проналажењу оптималног састава порозног бетонског коловоза уз учешће отпадних и рециклираних материјала, са истим водоцементним фактором и истом врстом цемента.

## 1.2 ПРЕДМЕТ, ЦИЉ И МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Предмет овог истраживања је израда порозних бетонских коловоза уз учешће отпадних и рециклираних материјала, а посебна пажња је посвећена анализи неких најзначајнијих физичко-механичких својстава очврслог бетона, која су битна са аспекта пројектовања порозних бетонских коловоза. У оквиру истраживања, анализирана су следећа својства:

- чврстоћа при притиску;
- чврстоћа на савијање;
- отпорност на хабање;
- коефицијент водопропустљивости;
- модул еластичности.

Приликом пројектовања састава бетонске мешавине, у циљу постизања оптималних својстава очврслог бетона, често се комбинују различите врсте ситног и крупног агрегата. У овом истраживању, у свим бетонским мешавинама, коришћен је природни и рециклирани агрегат (уситњен стари – отпадни бетон), и то две фракције, односно коришћена је друга фракција (4/8 mm) и трећа фракција (8/16 mm). Наведене врсте агрегата одабране су за истраживање због различитих физичко-механичких својстава, чиме је омогућено реалније сагледавање утицаја агрегата на анализу својстава порозног бетонског коловоза.

У циљу анализе утицаја врсте и количине примењеног везива, коришћени су следећи материјали:

- *CEM I 42.5R* (Беочинска фабрика цемента „LaFarge“),
- летећи пепео (Термоелектрана „Никола Тесла“ Б).

Основни циљ овог истраживања је одређивање међусобне зависности физичко-механичких својстава порозне бетонске коловозне конструкције и својстава примењених врста агрегата, везива и додатака у бетону, како би се подстакла шира примена порозног бетона. Један од додатних циљева истраживања је провера могућности примене порозних бетона за израду бетонских коловоза на градским саобраћајницама.

На основу постављених циљева, као основе за дефинисање плана и програма истраживања, постављене су следеће хипотезе:

- применом наведених врста агрегата, везива и додатака, могуће је добити порозни бетонски коловоз задовољавајућих физичко-механичких својстава;
- могуће је добити сув коловоз чиме се поспешује повећавање отпора клизању, а уједно и очување природних ресурса (природног агрегата и цемента) приликом справљања порозне бетонске мешавине;
- могуће је добити порозни бетонски коловоз са знатно мањом количином цемента од уобичајене, са применом минералних додатака.

Од научних метода истраживања примењена је синтеза и критичка анализа постојећих резултата из ове области. Примењена је статистичка и регресиона анализа података из литературе који се односе на порозне бетонске коловозе. Након прикупљених података, извршена је њихова систематизација, критичка анализа и статистичка обрада. Извођење закључака, након анализе својстава порозних бетонских коловоза од природног и рециклираног агрегата, базирана је на компаративној методи.

### 1.3 ПРИМЕНЉИВОСТ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Резултати истраживања ће омогућити коришћење порозног бетона у нашој земљи, као што се примењује у Америци и другим државама Европе. Примена порозног бетона је оправдана на паркинзима и мање оптерећеним улицама у градовима, бицикличким и пешачким стазама и спортским теренима.

Актуелност теме и потреба за овако конципираним истраживањем додатно се објашњава тиме што оваква врста бетонског коловоза може да се користи за израду површинских раскрсница у урбаним срединама, допринесе очувању животне средине, смањи употребу природних сировинских материјала, као и да оправда економску уштеду приликом одржавања коловоза.

### 1.4 КРАТАК ПРИКАЗ САДРЖАЈА РАДА

У првом поглављу дат је приказ поставке и опис проблема, циљева, методологије и применљивости предметног истраживања.

У другом поглављу дата је дефиниција и класификација основних својстава порозног бетона, као и историјски развој и примена овог бетона у пракси. Такође су приказане врсте компонентних материјала који се могу употребити, пројектовање састава, најважнија својства порозног бетона, као и предности и недостаци у односу на обичне бетоне.

У трећем поглављу дат је преглед актуелних истраживања из области порозног бетона. У оквиру овог поглавља урађена је компаративна анализа резултата испитивања других аутора, са аспекта основних физичко-механичких својстава порозног бетона, на основу које су изведени општи закључци о утицају врсте и количине компонентних материјала на основна својства порозног бетона.

У четвртном поглављу приказано је сопствено експериментално истраживање. Дат је програм истраживања, поступак и пројектовање састава бетонске мешавине, израда узорака за лабораторијска испитивања, опрема и поступци испитивања, као и добијени резултати испитивања физичко-механичких својстава порозног бетонског коловоза.

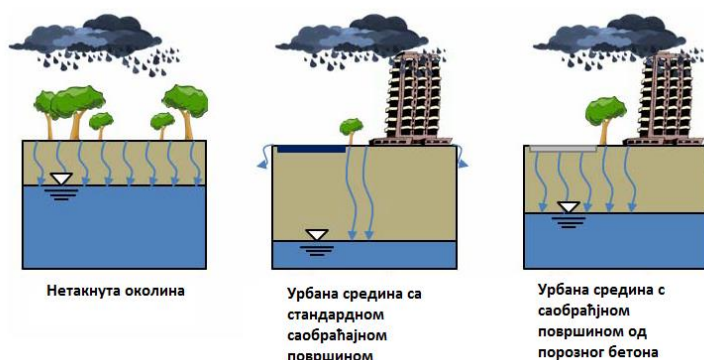
У петом поглављу, анализирани су резултати истраживања порозног бетонског коловоза за сваку бетонску мешавину, а затим је извршена компаративна анализа. Такође, резултати овог истраживања упоређени су и са резултатима до којих су дошли други истраживачи, након чега су изведени општи закључци.

У шестом поглављу, сумирани су најважнији резултати на основу којих су изведена закључна разматрања и предложени су правци даљег истраживања.

У седмом поглављу дат је попис литературе која је коришћена у оквиру дисертације, а у осмом поглављу дати су сви подаци из експерименталног дела дисертације.

## 2 ПОРОЗНИ БЕТОНСКИ КОЛОВОЗ

Порозним бетоном се сматра бетон са великим уделом пора које су последица потпуног изостанка или тек мале присутности ситних честица агрегата у његовом саставу. Према Путману и Нептану (*Putman & Neptune*) [14], порозност оваквог бетона креће се између 15% и 35%, што су потврдили и остали истраживачи [5], [9], [15]. Велика количина пора је највећи недостатак порозног бетона, односно узрок смањене чврстоће при притиску. Чврстоћа при притиску порозног бетона креће се у распону од 20 до 30 МПа [16]. Велика количина пора осигурава таквом бетону и неке предности у односу на класични бетон. Наиме, због високопропусних, међусобно повезаних пора, повећано је пропуштање воде код коловоза изграђених од порозног бетона, чиме се смањује потреба за изградњом система за одводњавање, смањује бука и загревање коловоза [14] и олакшава се прочишћавање воде. Због тих особина, порозан бетон је посебно погодан за изградњу паркиралишта, пешачких и бициклических стаза, као и за изградњу ивичних сливника и банкина [13]. Велика порозност овог бетона доприноси доброј апсорпцији звука [7]. У поређењу са обичним бетоном, порозни бетон има мањи модул еластичности и мање изражено скупљање [17]. С обзиром на његов основни недостатак, смањену чврстоћу, испитивања порозног бетона су већином усмерена на проналажење оптималног састава порозног бетона како би се задовољили критеријуми за постизање одговарајуће чврстоће при притиску. Према Јенгу и Ђангу (*Yang & Jiang*) [16], чврстоћу при притиску могуће је побољшати употребом ситних честица агрегата, силикатне прашине, као код обичног бетона, као и додатком суперпластификатора. Исто тако, наведене компоненте позитивно утичу на отпорност на хабање и на циклично замрзавање и одмрзавање таквог бетона. Према раду [18], ситне честице агрегата (песак) ће неповољно утицати на чврстоћу при затезању бетона, док ће крупне честице агрегата повољно утицати на његову способност апсорпције звука [19]. Према радовима [18], [20], препоручена количина песка у порозном бетону креће се у границама 7-10% укупне масе агрегата, количина цемента за кубни метар бетона 270-415 kg/m<sup>3</sup> [21], а водоцементни фактор 0,27-0,40 [21]. Порозни бетон (или бетон без ситног агрегата), један је од кључних елемената одрживог развоја, првенствено због повољног утицаја на околину [22]. Мрежа спојених шупљина смањује буку која настаје при додиру аутомобилских гума и коловоза, а у урбаним срединама умањује се ефекат загревања саобраћајних површина. Уз све наведено, постиже се повољан утицај на околну вегетацију, јер омогућава лакшу филтрацију воде и кисеоника у подручје корења, [23], [24] (слика 2.1).



Слика 2.1 Утицај порозног бетона на ниво подземних вода у урбаним срединама [8]

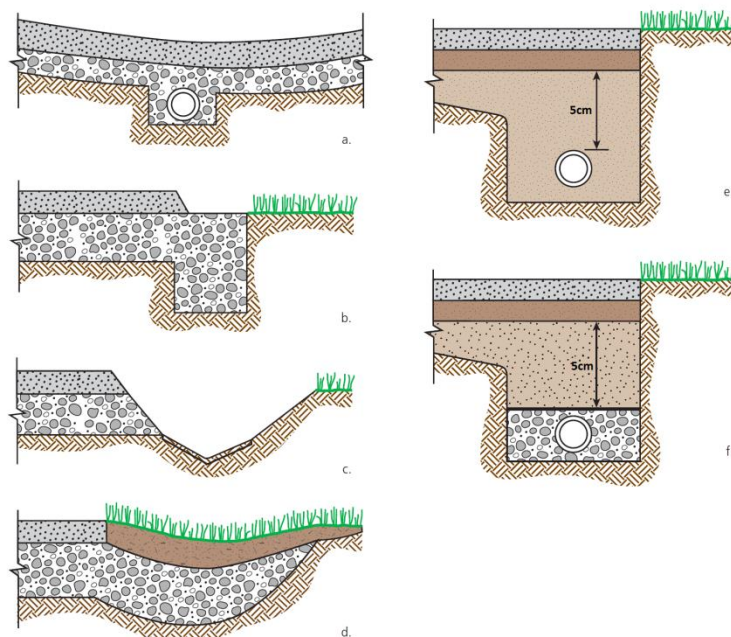


Одвођење атмосферских или површинских вода са коловоза, врши се помоћу: шахтова, ригола, канала, јама, базена и дренажних цеви, односно наведене методе представљају традиционалне дренажне технике. Све ове традиционалне дренажне технике повезане са обичним бетоном и асфалтом, имају релативно исте захтеве и недостатке [25]-[31]:

- земљане конструкције значајних величина како би се произвели потребни нагиби;
- додатни грађевински захтеви у погледу додатних структура, као што су: цеви, улегнућа, ровови и резервоари;
- акумулације које служе трајном или привременом задржавању површинског отицања, односно смањују површине расположиве за развој (тј. простор за зграде, паркиралишта, пешачке стазе, итд.);
- редовно одржавање цеви, јама, базена, итд.;
- могућа ерозија услед отицања преко различитих површина пре достизања својих дестинација;
- ако је основа израђена од асфалта, тада се он током времена отапа. Различите површине се загађују током времена саобраћајем, уљем, те мазивом које саобраћај ствара. Вода која отиче неизбежно прелази преко тих непропусних површина до свог одредишта и на тај начин преноси сва површинска загађења која, на крају, узрокују проблеме будући да заврше у некој другој количини воде. Отицање воде може у себи задржавати гнојива и пестициде. Познато је да вода која отиче може бити токсичнија од вода у канализацији;
- асфалтни и стандардни бетонски коловози привлаче сунчеве зраке, загревају се, те на тај начин повећавају температуру одводне воде током њеног тока преко коловозних површина. Та топла вода може узроковати проблеме или уништити подземни живот, биљке и неке корисне бактерије;
- будући да ниједна од класичних метода дренаже не подразумева било какво природно прочишћавање или филтрирање воде која отиче на њеном путу до одредишта, постоји потреба за третирањем или чишћењем на одредишту што доводи до захтева за додатне конструкције и улагања;
- ниједна од класичних метода дренаже није зелена, у смислу да доприноси загађењу јер преноси загађења током тока преко тих темељних површина и због тога су потребне додатне инвестиције и додатна енергија за решавање проблема који из тога произилазе.

У поређењу са растућом потребом за еколошком употребом и одрживом градњом порозни, бетон се намеће као економски и еколошки прихватљива алтернатива за дренажу кишнице и снега. Порозни бетонски коловоз се може постављати максимално до нагиба 16%, и то уколико је постелица водопрпусна. У случају да постелица није водопрпусна или дође до зачепљења пора у бетону, онда се користе дренажни слојеви, канали (слика 2.2 ц и д) или дренажне цеви који ће прихватити количину воде (слика 2.2 а, б, е и ф), како се не би задржавала на коловозу.





Слика 2.2 Приказ попречног пресека коловоза са слојевима за дренарање, у случају непропусне постељице [15]

## 2.1 ИСТОРИЈАТ

Прва примена порозног бетона се јавља 1852. године за изградњу кућа у Великој Британији, и тај бетон се састојао од крупнозрног шљунка и цемента [11], [32]. Након тога, појављује се у изградњи кућа у Шкотској 1874/75. (слика 2.3) и других објеката до 1890. године (слика 2.4) [33]. У Холандији се први пут примењује после Првог светског рата као бетон од агрегата од дробљене опеке и цемента као везива [34].

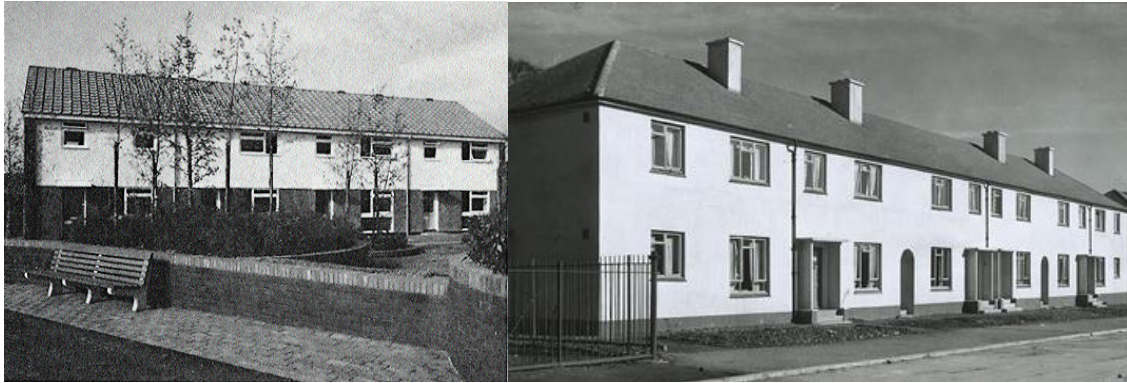


Слика 2.3 Стамбени објекат од порозног бетона у Шкотској [33]



Слика 2.4 Стамбена кућа у Шкотској [33]

1937. године у Шкотској почиње да се користи порозни бетон за изградњу стамбених објеката. У том добу изграђено је око 900 објеката у Шкотској и сви објекти су у добром стању. Након завршетка Другог светског рата, развија се систем изградње стамбених објеката порозним бетоном и градило се до 4000 кућа годишње [34][36]. Грађени су: двоспратни, троспратни или четвороспратни стамбени објекти, а постоје и примери изградње дванаестоспратне зграде од порозног бетона. Изгледи двоспратног и четвороспратног стамбеног објекта од порозног бетона приказани су на наредним сликама (слика 2.5) [34], [35].



Слика 2.5 Двоспратни стамбени објекти од порозног бетона [34], [35]

После Другог светског рата почиње значајно коришћење порозног бетона у: Европи, Аустралији и на Средњем Истоку за изградњу стамбених објеката [32], [34], [35], [37]. Коришћен је у изградњи неких улица и паркиралишта у: Швајцарској, Енглеској и Америци. Прва примена у Америци је била на Флориди, Новом Мексику и Јути. Касније је коришћен у државама Калифорније и Оклахоме. Порозни бетонски коловоз је коришћен 1970. године у Француској за израду подлоге тениског терена [32]. Прва већа примена порозног бетона после Другог светског рата била је изградња стамбеног објекта у Штутгарту. Објекат има деветнаест спратова, при чему је првих шест спратова изграђено од обичног бетона, док је осталих тринаест спратова изграђено порозним бетоном (слика 2.6) [37]. Изграђено је још неколико стамбених објеката у Немачкој и Шкотској (слика 2.7) [35], [38].



Слика 2.6 Стамбени објекат у Штутгарту од 19 спратова



Слика 2.7 Стамбени објекти у Единбургу, Шкотска

## 2.2 ПРИМЕНА ПОРОЗНОГ БЕТОНА

Порозни бетон се користи у широком спектру као:

- порозни коловоз за паркиралишта (слика 2.8);
- крути дренажни слојеви око трговачких центара (слика 2.9);
- подови стакленика;
- конструкцијски зидови који захтевају мању тежину или боље карактеристике топлотне изолације (слика 2.10);
- коловози, зидови и подови где се захтевају боље карактеристике акустичне апсорпције (слика 2.11);

- носиви слојеви коловозне конструкције за путеве, градске и приступне саобраћајнице;
- површински слој за паркове и тениске терене (слика 2.12);
- подови за зоолошке вртове и животињске стаје;
- насипи код мостова (слика 2.13);
- плоче у базенима;
- конструкције плажа;
- код система за сакупљање соларне енергије;
- зидне облоге бушених бунара...



Слика 2.8 Паркинг-површина



Слика 2.9 Коловоз у постројењу фирме



Слика 2.10 Изглед фасаде



Слика 2.11 Звучне баријере



Слика 2.12 Пешачка стаза у парку



Слика 2.13 Насипи код мостова

Предности порозног бетонског коловоза у односу на обични бетонски коловоз укључују:

- одржавање путева и паркиралишта сувим, без задржавања воде на површини;
- контролисано отицање атмосферске воде;
- смањење клизања возила на свим категоријама саобраћајница;
- у великој мери смањује одсјај на путним површинама, поготово ноћу и на мокрим путевима;
- смањење буке настале контактом између пнеуматика и порозног бетона;
- није уопште потребна атмосферска канализација или је са смањеним димензијама;
- омогућује ваздуху и води да допру до корења стабала, чак и кад је коловоз у линији капања воде са грана стабала.

Потенцијални недостаци порозног бетона укључују:

- ограничено коришћење у подручјима кретања тешких теретних возила;
- продужено време сушења;
- осетљивост на садржај воде;
- посебну пажњу приликом извођења на неким типовима тла, као што су експанзивна тла и тла осетљива на мраз;
- недостатак стандардизованих метода испитивања;
- посебну пажњу у контакту са подземним водама;



- примену у подручјима са већим бројем ледених дана због задржавања ледених сочива у шупљинама порозног бетона.

У досадашњој инжењерској пракси порозни бетон се употребљава у коловозима као:

- површински слој;
- крајеви сливника;
- банке.

Успешност примене порозног бетона је различита. У неким подручјима, порозни бетонски коловози успешно су примењени, док се у другим подручјима зачепе у кратком временском периоду. Многи неуспеси могу се приписати неискуству извођача, јачем збијању бетона током уградње, непажњи корисника и неисправном пројектовању коловозне конструкције. Да би порозни бетонски коловози функционисали, потребне су следеће додатне мере:

- пропусност тла треба бити проверена. Обично се препоручује процеђивање тла од 13 mm/h и слој тла дебљине 1,2 m или више. Међутим, ако је инфилтрација постелице много мања од 13 mm/h, ти коловози олакшавају инфилтрацију и филтрирање отицања, те пуњење подземних вода;
- отицање воде са површине порозног бетонског коловоза треба минимизирати;
- коловоз не сме бити стављен у функцију све док околна земља, која је у његовом контакту, не буде стабилизована вегетацијом. Неопходне су строге контроле ерозије и наноса током изградње или уређивања, како би се спречило зачепљење пора у структури порозног бетона. Те контроле требају бити укључене у план управљања атмосферским водама на путу;
- приликом димензионисања коловозне конструкције треба водити рачуна о прописаној филтрацији воде кроз слојеве коловозне конструкције и постелице.

### 2.3 ПРОЈЕКТОВАЊЕ САСТАВА ПОРОЗНОГ БЕТОНА

Циљ пројектовања састава бетона је да се одреди количина и врста компонентних материјала чијим мешањем ће бити постигнута захтевана својства порозног бетона, како у свежем, тако и у очврслом стању. Својства порозног бетона која најчешће морају бити задовољена су: конзистенција, обрадљивост, порозност, водопропусност, коефицијент водопропустљивости, чврстоћа при притиску, чврстоћа при савијању, отпорност на дејство мраза, отпорност на дејство хабања, итд.. Поред набројаних својстава, подразумева се да током справљања порозног бетона не долази до сегрегације, испливавања воде на површину и да ће бити очувана хомогеност током транспорта и уградње. Избор врсте и количине компонентних материјала врши се у зависности од њихових својстава и утицаја на бетон.

### 2.4 ИЗБОР КОМПОНЕНТНИХ МАТЕРИЈАЛА

Порозни бетон се справља са истим компонентним материјалима као и обичан бетон, али без учешћа финих честица агрегата. Углавном се справља од једнофракцијског агрегата. У табели 2.1 дате су оријентационе количине компонентних материјала за справљање порозне бетонске мешавине.

Табела 2.1 Опсег потребне количине материјала за справљање порозног бетона [15]

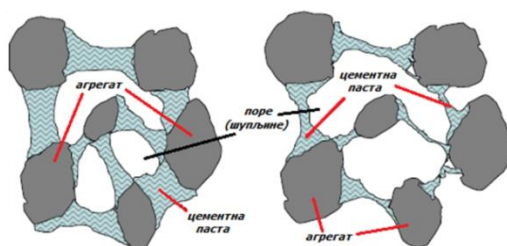
Компонентни материјали	Оријентационе количине
Цемент	270-415 kg/m <sup>3</sup>
Агрегат	1190-1480 kg/m <sup>3</sup>
Водоцементни фактор	0,27-0,40
Агрегатноцементни однос	4-4,5:1
Однос крупне и ситне фракције	0,1:1

**2.4.1 Цемент**

Као главно везиво користи се портланд цемент, а као додаци портланд цементу могу се користити: електрофилтерски пепео, млевена гранулисана металуршка згура и силикатна прашина. Препоручује се испитивање материјала у пробној мешавини, како би се проверила компатибилност примењених додатака и да време везивања, уградљивост, чврстоће и порозност могу обезбедити потребне карактеристике за предвиђену употребу бетона [15].

**2.4.2 Агрегат**

Гранулометријски састав агрегата који се користи у порозном бетону везан је обично за једнофракцијске агрегате, а величина зрна које се користи по *ASTM C33 No. 67* (4,75-19,0 mm), *No. 8* (2,36-8,5 mm) или *No. 89* (1,18-9,5 mm). Такође се користи и једнофракцијски агрегат преко 25 mm [15]. За производњу порозног бетона углавном се користе речни и дробљени агрегати. Садржај ситног агрегата у смеси порозног бетона је ограничен јер угрожава повезаност структуре отворених пора. Додавање ситног агрегата (песка) може повећати чврстоћу при притиску и густину, али истовремено смањује брзину протока воде кроз масу порозног бетона. Квалитет агрегата у порозном бетону једнако је важан, као и у обичном/стандардном бетону. Плочаста или издужена зрна агрегата треба избегавати. Гранулисани агрегат треба бити тврд и чист, без наслага као што су: прашина, глина или апсорбоване хемикалије које би могле утицати на везу између агрегата и цементне пасте или на хидратацију цемента. Употреба сувог или изразито влажног агрегата може утицати на уградљивост и обрадљивост порозног бетона, али може и пореметити пројектовану структуру пора. Однос агрегата и цемента се креће у границама од 4 до 4,5, односно за справљање порозне бетонске мешавине потребно је од 1300 до 1800 kg/m<sup>3</sup> агрегата. Порозност се не постиже само због учешћа крупне фракције агрегата, него и због смањене количине цементне пасте у структури порозног бетона (слика 2.14).



Слика 2.14 Приказ структуре очврслог бетона (лево – већа запремина цементне пасте, десно – мања запремина цементне пасте и већи садржај пора) [39]

**2.4.3 Вода**

Вода за порозни бетон мора да задовољи исте услове квалитета, као и за обичан бетон. Порозни бетони се справљају са релативно ниским водоцементним фактором (обично 0,27 – макс. 0,40). Вишак воде ће довести до издвајања цементне пасте. Количина воде која је потребна за справљање порозне бетонске мешавине, може се веома једноставно и брзо утврдити захватањем руком мање количине мешавине и обликовањем у куглицу која се посматра на раширеном длану. Ако куглица задржава свој облик, не одвајају се зрна и не издваја се цемент, мешавина има задовољавајућу количину воде (слика 2.15).



(а) мала количина воде



(б) оптимална количина воде



(в) превелика количина воде

Слика 2.15 Узорци порозног бетона са различитим садржајем воде [15]

#### 2.4.4 Додаци

Додаци за смањење употребљене количине воде користе се зависно од водоцементног фактора. Додаци за успоравање процеса везивања и очвршћавања бетона (ретардери) користе се за стабилизацију и контролу хидратације цемента. Често се користе када се ради са крутим смешама, као што је порозни бетон. Посебно су корисни приликом уградње бетона на високим температурама. Додаци за успоравање могу деловати као мазива при истовару бетона из мешалице (смањују трење) и могу побољшати руковање и својства уградње. Убрзивачи се могу користити када се порозни бетон уграђује на ниским температурама (акцелератори). Уз коришћење више различитих хемијских додатака у бетонској мешавини, препоручује се претходна експериментална проба са провером остварених својстава свежег и очврслог бетона. Додаци у облику аераната обично се не користе у порозним бетонима, али могу се користити у окружењима осетљивим на смрзавање и одмрзавање. Дакле, аеранте обично треба користити у крајевима где је оштрија клима. Међутим, не постоји поуздана метода којом би се одредила запремина увученог ваздуха у бетонску мешавину.

#### 2.5 СВОЈСТВА ПОРОЗНОГ БЕТОНА

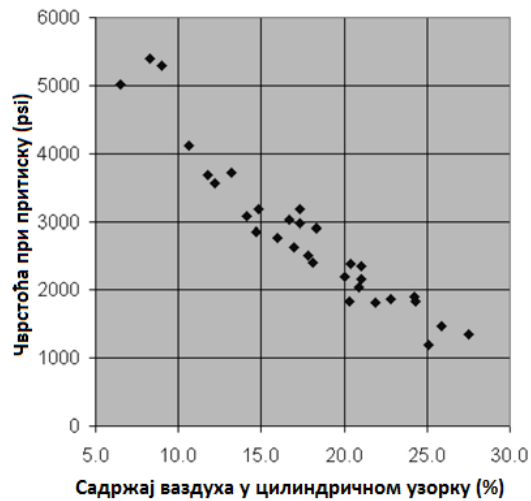
Многа својства порозног бетона, првенствено зависе од његове порозности (садржаја пора испуњених ваздухом), што опет зависи од садржаја цемента, водоцементног фактора, збијености, гранулометријског састава и квалитета материјала. Величина пора у бетону, такође, утиче на механичка својства бетона. Најважнија својства и њихова међусобна зависност, анализирана за порозни бетон су:

- чврстоћа при притиску;
- запреминска маса;
- порозност;
- коефицијент водопропустљивости;
- чврстоћа при савијању;
- отпорност на дејство хабања.

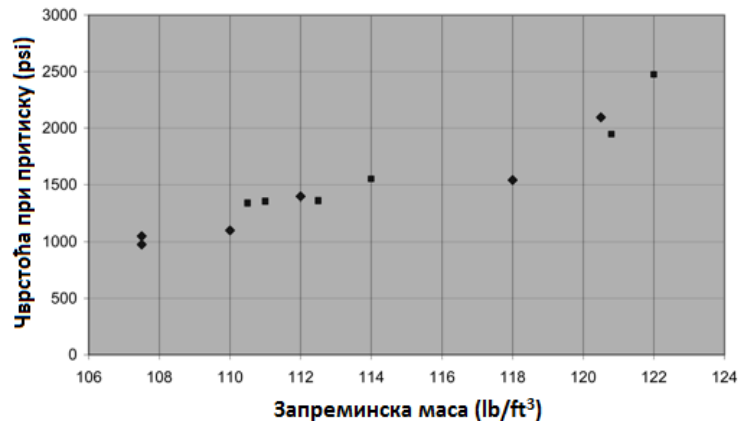
#### 2.5.1 Чврстоћа при притиску

Карактеристична чврстоћа при притиску порозног бетона креће се у границама од 2,8 до 28 МПа [15], [40]. На чврстоћу при притиску порозног бетона највише утичу вредности или односи смесе и енергија збијања током уградње бетона. Последица повећавања величине агрегата је смањивање чврстоће при притиску. Учешће додатака, као што су полимерни адитиви и минералне примесе, доводи до повећања чврстоће при притиску порозног бетона за исту гранулацију. Укупан садржај цементних материјала у мешавини порозног бетона важан је за развој чврстоће при притиску и структуре пора [13]. Слика 2.16 приказује однос између чврстоће при притиску порозног бетона и садржаја пора [40]. Слика се односи на низ лабораторијских испитивања, где су коришћене две гранулације агрегата. Слика 2.17 [40], [41] показује однос између чврстоће при притиску порозног бетона и запреминске масе. Слика се односи на лабораторијска испитивања, где су се користили и

збијали агрегати, а однос агрегата и цемента био је различит. Слика 2.16 показује да је могућа релативно висока чврстоћа при притиску порозне бетонске мешавине, али уз смањење садржаја пора.

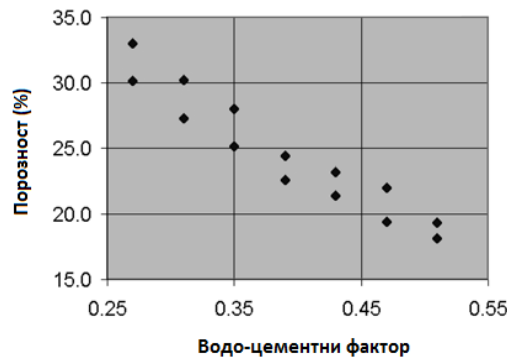


Слика 2.16 Однос садржаја пора и чврстоће при притиску у порозном бетону ( $1 \text{ psi} = 0.006895 \text{ MPa}$ ) [40]



Слика 2.17 Однос између запреминске масе и чврстоће при притиску ( $1 \text{ psi} = 0.006895 \text{ MPa}$ ;  $1 \text{ lb/ft}^3 = 16.02 \text{ kg/m}^3$ ) [40], [41]

Крауч и сарадници (*Crouch, et al.*) [42] наводе да повећање модула финоће агрегата смањује чврстоћу при притиску. Махбоуб и сарадници (*Mahboub, et al.*) [43] упозоравају да узорак из лабораторије (који се припреми) може имати различите особине у односу на узорак који се вади на терену (керн). Иако је водоцементни фактор за порозне бетонске мешавине важан за развој чврстоће при притиску и структуру пора, однос између водоцементног фактора и чврстоће при савијању стандардних бетона не одражава се на својства порозног бетона. Висок водоцементни фактор може резултовати течењем цементне пасте, истовремено пунећи поре у структури бетона. Ниски водоцементни фактор може резултовати смањеном адхезијом између честица агрегата и проблемима приликом уградње. Слика 2.18 [40] показује однос између водоцементног фактора и садржаја пора порозне бетонске мешавине (са константним садржајем цемента и агрегата) за два различита нивоа збијања.



Слика 2.18 Однос између водоцементног фактора и количине порозности у порозном бетону [40]

### 2.5.2 Запреминска маса

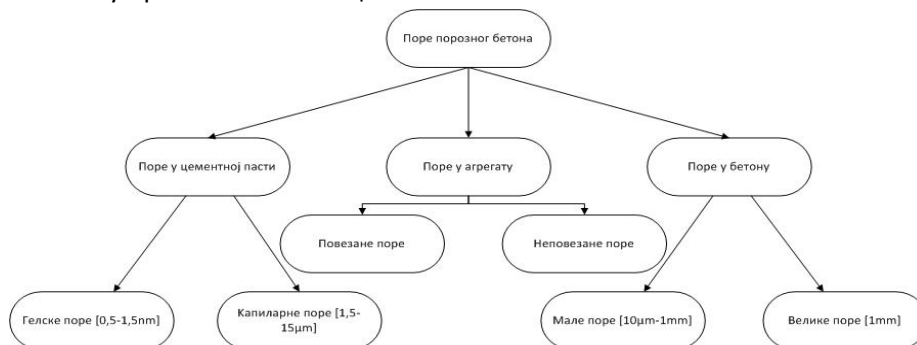
Запреминска маса представља најважније „додатно“ својство порозног бетона. У зависности од стања бетона приликом одређивања запреминске масе разликујемо:

- запреминску масу у свежем стању;
- запреминску масу природно влажног очврслог бетона;
- запреминску масу потпуно сувог очврслог бетона.

Запреминска маса у свежем стању представља масу у јединици запремине непосредно након уграђивања. Садржи укупну количину воде, ефективну и воду додатну због упијања агрегата. Запреминска маса бетона у природно влажном стању представља масу бетона у јединици запремине очврслог бетона у конструкцији. Запреминска маса бетона у потпуно сувом стању представља масу у јединици запремине бетона осушеног на температури 105-110°C до константне масе [44]-[46]. Код порозног бетона запреминска маса најчешће износи од 1600-2000 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.5.3 Порозност

Величина порозности за порозни бетон се креће у границама од 15 до 35%. Садржај пора утиче на коефицијент водопропустљивости и чврстоћу, односно повећавањем порозности повећава се коефицијент водопропустљивости, а смањује се чврстоћа. Постоје три различита типа пора у порозном бетону, а то су поре у цементној пасти, поре у агрегату и поре у мешавини. Типови пора код порозног бетона су приказани на слици 2.19.

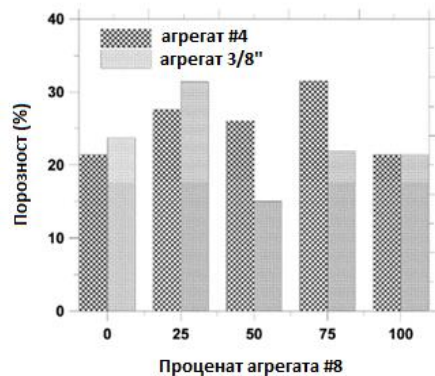


Слика 2.19 Врста пора код порозног бетона [47]

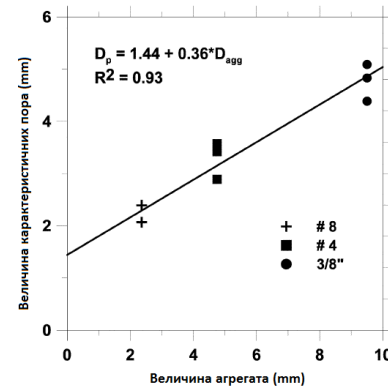
Густина свежег порозног бетона повезана је са садржајем пора за дату мешавину. У примени су две методе које одређују порозност очврслог порозног бетона [48]. Прва метода се заснива на одређивању запремине пора на основу запремине воде коју меримо када је узорак потопљен у воду. У другој методи, употребљен је поступак анализе на узорцима порозног бетона који су импрегнирани са епоксидом ниске вискозности [49]. Запремина пора у порозном бетону је у



директној функцији од: величине зрна агрегата (слика 2.20), садржаја цемента, водоцементног фактора и збијености бетонског узорка.



Слика 2.20 Утицај величине агрегата и гранулације на порозност порозног бетона [40]



Слика 2.21 Утицај величине агрегата на величину пора за једнофракцијску порозну бетонску мешавину [40]

Величина порозности се може одредити помоћу методе запремине и водозасићене запреминске методе [50], [51]. Једначине 2.1, 2.2 и 2.3 се користе за одређивање укупних, отворених и затворених пора.  $W_1$  представља запреминску масу влажног узорка,  $W_2$  представља запреминску масу сувог узорка, а  $W_3$  представља запреминску масу засићеног узорка.

$$P_{total} = \left(1 - \frac{W_2 - W_1}{\rho * V}\right) * 100\% \quad (\%) \quad 2.1$$

$$P_{open} = \left(1 - \frac{W_3 - W_1}{\rho * V}\right) * 100\% \quad (\%) \quad 2.2$$

$$P_{close} = P_{total} - P_{open} \quad (\%) \quad 2.3$$

где је:

$P_{open}$ -укупна количина отворених пора (%)

$P_{close}$ -укупна колична затворених пора (%)

$W_1$ -запреминска маса влажног узорка (kg)

$W_2$ -запреминска маса сувог узорка (kg)

$W_3$ - запреминска маса засићеног узорка (kg)

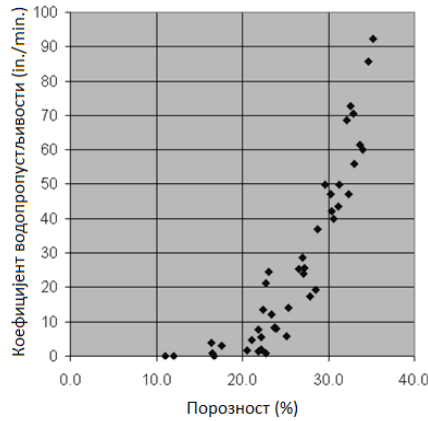
$V$ -запремина узорка ( $m^3$ )

$\rho$ -густина воде ( $kg/m^3$ )

## 2.5.4 Коефицијент водопропустљивости

Вредности коефицијента водопропустљивости зависе од материјала за справљање и места уградње. Уобичајне вредности за коефицијент водопропустљивости се крећу у границама од 0,2 cm/s до 0,5 cm/s, а чак може да достигне вредност од 1,2 cm/s и више, али у лабораторијским условима испитивања [15]. На коефицијент утиче величина агрегата од којег се справља мешавина, водоцементни фактор и количина пора. За порозност од 20 до 25% коефицијент водопропустљивости се креће око 0,01m/s [13]. Једна од најважнијих особина порозног бетона је његова способност процеђивања (пропусности) воде кроз матрицу. Стопа процеђивања или коефицијент водопропустљивости порозног бетона нарочито је везана за порозност и величину пора. Испитивања су показала [40], [52] да је потребна минимална порозност од око 15% како би се постигли значајнији

коэффициенти водопропустљивости. Слика 2.22 [40] показује однос између порозности и стопе процеђивања порозне бетонске мешавине. Будући да се стопа процеђивања повећава, као и садржај ваздушних пора, самим тим чврстоћа при притиску се смањује. Приликом справљања бетонске мешавине треба водити рачуна о дозирању порозне бетонске мешавине да би се постигла оптимална равнотежа између прихватљиве стопе процеђивања и прихватљиве чврстоће при притиску.



Слика 2.22 Корелација између количине порозности и коефицијента филтрације у порозној бетонској мешавини ( $1in.=2.54cm$ ) [40]

Пропусност порозног бетона може се мерити једноставним параметром променљивог потенцијала као што је приказано на слици 2.23 [53]. У том поступку, узорак је затворен у латекс мембрану како би се избегло течење воде са бочне стране узорка. Вода се додаје у мензурну. Узорак мора омогућити да вода излази кроз цев, све док ниво у мензури не буде исти као и на врху дренажне цеви. То минимизира ваздушни јастук у узорку и осигурава да узорак буде потпуно засићен. Са затвореним вентилом, мензура је испуњена водом. Затим се вентил отвара и мери се потребно време  $t$  за пад воде од почетне висине  $X_1$  до коначне висине  $X_2$ . Опрема је калибрисана за почетну висину од 290 mm и коначну висину од 70 mm. Просечна вредност коефицијента проводљивости ( $K$ ) израчунава се помоћу Дарсијеве једначине (2.4):

$$K = \frac{a * L}{A * t} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \quad 2.4$$

где је:

$K$ -коефицијент филтрације (m/s)

$a$ -површина попречног пресека цеви ( $m^2$ )

$L$ -дужина узорка (m)

$A$ -површина попречног пресека водоносног слоја ( $m^2$ )

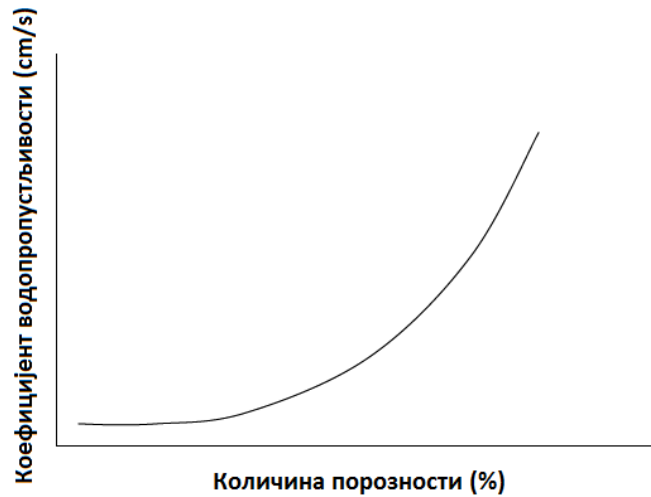
$t$ -време опадања нивоа са  $h_1$  на  $h_2$  (s)

$h_1$ -висина нивоа воде (m)

$h_2$ -висина нивоа воде (m)



Слика 2.23 Уређај за мерење порозности порозног бетона [40]

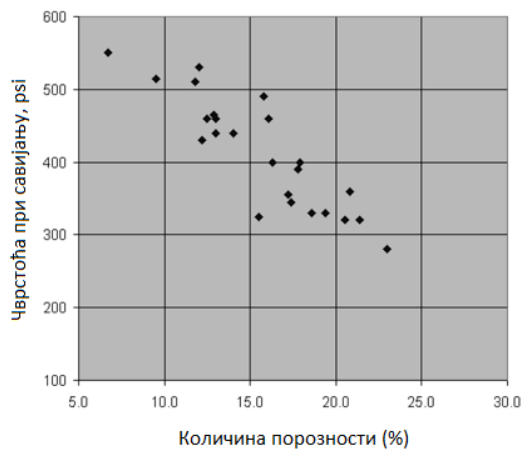


Слика 2.24 Општи однос корелације између количине порозности и коефицијента водопропустљивости [9], [39]

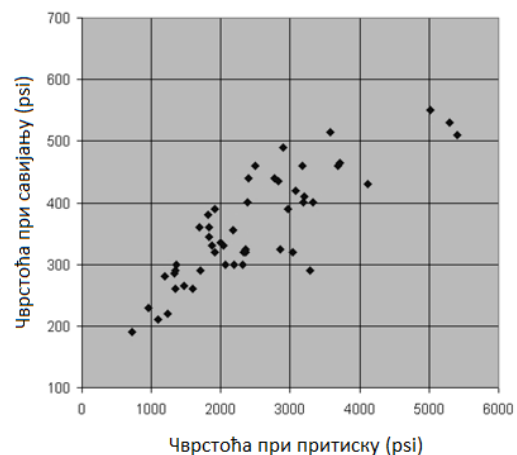
Осим порозности и величине пора, кључни фактор који утиче на порозност порозног бетона је степен повезаности мреже пора. Не постоји једноставна методологија за мерење повезаности пора порозног бетона.

## 2.5.5 Чврстоћа при савијању

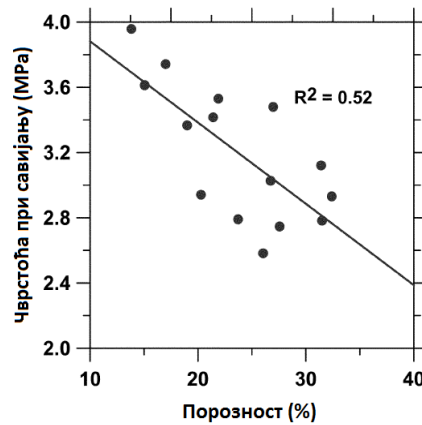
Додатак мале количине песка (око 5% у односу на укупну масу агрегата) повећава чврстоћу порозног бетона при савијању [48]. Чврстоћа при савијању се повећава додавањем полимерних адитива и коришћењем мање фракције агрегата. Чврстоћа при савијању се креће у границама од 1 до 3,8 МПа. Слика 2.25 [40] показује однос између чврстоће при савијању порозног бетона и количине порозности у лабораторијским условима. Иако се ови резултати темеље на мањем броју узорака, упоређујући податке приказане на сликама 2.16 и 2.25 указује се на то да постоји однос између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању порозног бетона. Овај однос, зависи од неколико варијанти. Слика 2.26 [40] показује однос између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању порозног бетона за један низ лабораторијских испитивања. Други низ испитивања односа чврстоће при савијању и порозности, приказан је на слици 2.27 [40].



Слика 2.25 Корелација између количине порозности и чврстоће при савијању за порозни бетон ( $1\text{psi}=0.006895\text{MPa}$ ) [40]



Слика 2.26 Корелација између чврстоће при савијању и чврстоће при притиску за порозни бетон ( $1\text{psi}=0.006895\text{MPa}$ ) [40]



Слика 2.27 Корелација између чврстоће при савијању и порозности за порозни бетон ( $1\text{psi}=0.006895\text{MPa}$ ) [40]

Примећено је повећање чврстоће при савијању порозног бетона када су се користили полимерни адитиви [54]. Чврстоћа при савијању од око 3 MPa, утврђена је за порозни бетон агрегата од 6 до 10 mm и 25% порозности [55], [56].

### 2.5.6 Отпорност на хабање

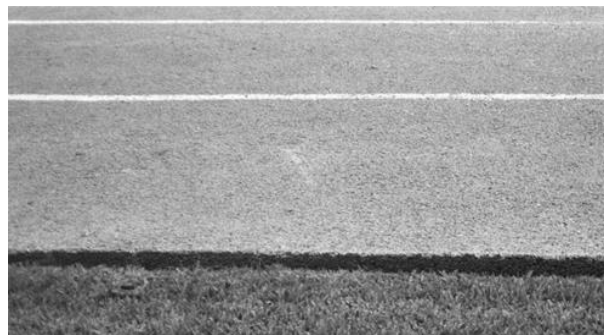
Због храпаве површинске текстуре и отворених пора у порозном бетону, хабање и набори од агрегата могу бити потенцијални проблеми на местима где се користи са за уклањање снега са коловоза. Ово је један од разлога зашто се порозни бетон не користи за израду ауто-путева и путева са тешким саобраћајним оптерећењем, али истраживања у свету су показала да се уклањање снежних наслага (отапање снега) брже одвија код порозног бетона него код обичног.

## 2.6 ОДРЖАВАЊЕ ПОРОЗНОГ БЕТОНСКОГ КОЛОВОЗА

Зачепљење отворених пора или водонепропусност постељице, спречава филтрирање атмосферске воде кроз бетон при већим брзинама. Стога, ако се атмосферске воде не могу пропустити кроз слој порозног бетона предвиђеном брзином, порозни бетон се не сматра довољно пропусним. Тада пројектне претпоставке у вези са функцијом порозног бетона више нису релевантне. Порозни бетонски коловози могу добро служити годинама, чак и са неким мањим, локалним зачепљењима, али брзина пролаза воде би требала бити већа од предвиђене брзине. За добро функционисање порозног бетонског коловоза, потребно је редовно одржавање на одговарајућем нивоу. На слици 2.28 је приказан један од начина одржавања порозног бетонског коловоза, а то је чишћење коловоза водом под притиском. Ако је површина коловоза у неравном окружењу, као што су нпр. косине насипа/усека или нека друга места где долази до накупљања материјала, потребно је чешће обављати превентивна одржавања [40].



Слика 2.28 Одржавање порозног бетона са водом под притиском [8]



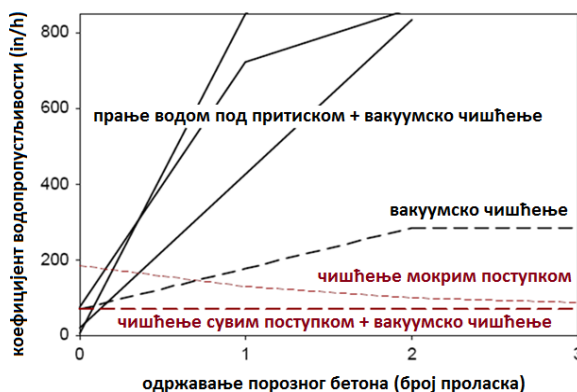
Слика 2.29 Пример уређене околне површине на нижој коти од порозног бетона [40]

Један од начина да се овом типу коловоза продужи животни век јесте да се нивелета издигне неколико центиметара од кота које су у контакту са њим (нпр. банке, травната уређења...). Тиме се смањује могућност да земља и остали материјали који би могли зачепити поре дођу на површину коловоза (слика 2.29). Такође, бетонски порозни коловоз не би требало радити у случајевима када су неки прикључни путеви макадамски јер се на тим контактима може јавити проблем приликом изношења материјала/прљавштине на порозни бетонски коловоз. Мора се водити рачуна о високом или ниском растињу, због лишћа које пада на коловоз и задржава се на њему. Одржавање порозног бетонског коловоза претежно се састоји од уклањања нагомиланих количина честица и прљавштине. Две најчешће прихваћене методе одржавања су прање под притиском и усисавање. Прање коловоза под притиском може проузроковати да неки ситни материјали прођу кроз површину коловоза. То је добра метода, али се мора водити рачуна да се не користи превелики притисак, јер доводи до оштећења порозног бетона. Испитивање се може обавити помоћу притиска воде, при чему се чисти мали део коловоза и притом се користе различите величине притиска како би се утврдио одговарајући притисак, за дати порозни бетонски коловоз. Снажно усисавање уклања ситне материјале из пора коловоза (слика 2.30).



Слика 2.30 Одржавање порозног бетонског коловоза са вакуумским чишћењем [8]

На слици 2.31 дат је приказ одржавања порозног бетона са већ поменутих методама. Уочава се да комбинована метода (прање воде под притиском и вакуумско чишћење) најбоље постиже резултате у односу на појединачне методе јер након првог одржавања комбинованом методом, коефицијент водопропустљивости има знатно веће резултате у односу на остале методе одржавања порозног бетонског коловоза. Након те методе, најбоље се показује метода вакуумског чишћења која је минимално 50% лошија у односу на комбиновану методу јер не успева да постигне толико велики коефицијент водопропустљивости.



Слика 2.31 Приказ коефицијента филтрације са различитим методама одржавања ( $1 \text{ in/h} = 0.0254 \text{ m/h}$ ) [57]

### 3 ПРИКАЗ И АНАЛИЗА ЗНАЧАЈНИХ ИСТРАЖИВАЊА

Приказ анализираних радова из области порозног бетона систематизован је према саставу бетонских мешавина и/или врсти лабораторијских испитивања, која су рађена у зависности од циљева истраживања појединих аутора. Од физичких и механичких својстава очврслог порозног бетона, разматрани су:

- чврстоћа при притиску;
- чврстоћа при савијању;
- чврстоћа на затезање при цепању;
- отпорност на хабање;
- отпорност на дејство мраза;
- модул еластичности;
- коефицијент водопропустљивости.

Карактеристике састава мешавине порозног бетона су приказане у табели 3.1. Дат је кратак приказ о типу, фракцији и уделу агрегата, врсти и типу везива, хемијским и/или минералним додацима и учешћу водоцементног фактора.

Табела 3.1 Преглед карактеристика састава мешавине порозног бетона

Рад	тип агрегата	фракције агрегата [mm] / удео фракције агрегата (%)	хемијски и/или минерални додаци	врста везива / тип везива	водоцементни фактор ( $m_w/m_c$ )
[9]	шљунак	2.36-4.75; 4.75-9.5; 9.5-12.5 / 93; 100	синтетичка гума, силикатна прашина, аерант, адитив за модификацију вискозитета	цемент / портланд цемент	0.22-0.27
	кречњак	2.36-4.75; 4.75-9.5; 9.5-12.5 / 93; 100			
	лаки агрегат лоптастог облика	2.36-4.75; 4.75-9.5; 9.5-12.5 / 93; 100			
	песак	0-4.75 / 0; 7			
[16]	шљунак	3-5; 5-10; 10-20; 15-30 / 80; 85; 100	силикатна прашина, суперпластификатор, винил-ацетат етилен емулзија, поливинил алкохол-формалдехид-хидроксид	цемент / портланд цемент	0.20-0.35
	песак	0-2.5 / 0; 15; 20			
[20]	кварц	12.5-19.0 / 95	електрофилтерски пепео и шљака	цемент / портланд цемент	0.24-0.31
	лаки агрегат	4.75-9.5; 9.5-12.5 / 93; 100			
	песак	0-4.75 / 0; 5; 7			
[22]	кречњак	2.36-4.75; 4.75-9.5; 9.5-12.5 / 100	-	цемент	0.32-0.33
[39]	гранит	2.36-4.75 / 90	пластификатори, адитиви, аеранти, стабилизатори хидратације, фибирана полипропилна влакна, електрофилтерски пепео и шљака	цемент / портланд цемент	0.29
	песак	0-2.5 / 10			
[47]	шљунак	10 / 90; 92.5; 100	електрофилтерски пепео	-	0.35
	песак	0-3.75 / 0; 7.5; 10			
[50]	шљунак	8-13; 13-19 / 100	суперпластификатор, аеранти	цемент	0.20-0.28
	лаки агрегат лоптастог облика	4-8; 8-12; 12-19 / 100			
[53]	кречњак	2.36-4.75; 4.75-9.5; 9.5-12.5 / 25; 50; 75; 100	- / -	цемент	0.33
	песак	0-4.75 / 2.5; 5; 7.5			
[57]	рециклирани блокови	0.001-1.18; 1.18-4.75; 4.75-12.5 / 0; 30; 40; 70; 100	Натријум-хидроксид, натријум-силикат	електрофилтерски пепео	није приказано (НП)
[58]	кречњак	4-8; 8-16; 11-16; 16-22; 16-32 / 40; 45; 50; 70; 80; 90; 100	- / -	цемент / СЕМ I 42.5R	0.30-0.35
	песак	0-2; 0-4 / 10; 15; 20; 30			



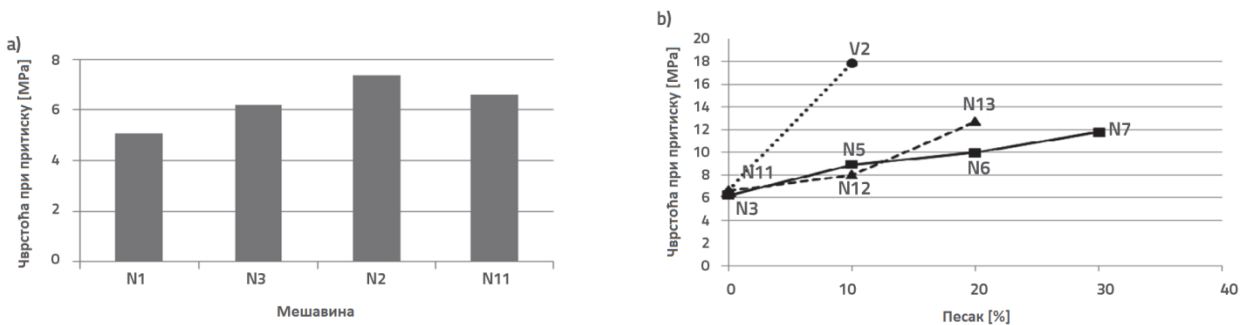
Рад	тип агрегата	фракције агрегата [mm] / удео фракције агрегата (%)	хемијски и/или минерални додаци	врста везива / тип везива	водо-цементни фактор ( $m_v/m_c$ )
[59]	гранит	2.36-4.75 / 93; 95; 100	аеранти и пластификатори	цемент / портланд цемент	0.27
	шљунак				
	кречњак				
	песак	0-2.36 / 0; 5; 7			
[60]	гранит	1.18-9.5 / 93	аеранти, адитив за модификацију вискозитета, пластификатор, полимерна влакна и латекст	цемент / портланд цемент	0.26-0.36
	кречњак	1.18-9.5; 2.36-4.75 / 93			
	песак	0-2.36 / 7			
[61]	базалт	20 / 100	Суперпластификатор	цемент / СЕМ I	0.28-0.40
[62]	кречњак	4.5-9.5 / 100	Натријум-хидроксид, натријум-силикат	електрофилтерски пепео	НП
	рециклирана опека	4.5-9.5 / 100			
	рециклирани бетон	4.5-9.5 / 100			
[63]	гранит	4.75-9.5; 9.5-12.5 / 100	електрофилтерски пепео, силикатна прашина, адитив за модификацију вискозитета, СЈ-601 (мешавина винил-ацетат-етилен полимер и акрилна емулзија)	цемент / портланд цемент	0.28-0.34
[64]	кречњак	9.5-20.0 / 100	НП	НП	НП
	базалт	6.0-8.0 / 100			
[65]	гранит	5-13; 13-19 / 100	Шљака	цемент	НП
	рециклирани бетон	5-13; 13-19 / 100			
[66]	дробљени камени агрегат	10-20 / 100	адитив за модификацију вискозитета, аеранти, пластификатори и стабилизатори	цемент / Lafarge I-II	0.25; 0.29; 0.33
[67]	гранит	4.75-12.5; 12.5-20 / 85; 90; 95	суперпластификатор, адитив за модификацију вискозитета, електрофилтерски пепео	цемент / портланд цемент	0.21-0.43
	песак	0-4.75 / 5; 10; 15			
[68]	кречњак	2.35-4.75; 4.75-9.5 / 100	аеранти, адитив за модификацију вискозитета, ретардери, електрофилтерски пепео	цемент	0.20
[69]	кречњак	4.75-9.5 / 95	аеранти природни и вештачки, пластификатори	цемент	0.27
	шљунак	4.75-9.5 / 95			
	песак	0-4.75 / 5			
[70]	дијатомит	4.75-9.5 / 100	адитив за модификацију вискозитета	цемент / портланд цемент	0.24
	пловућац	4.75-9.5 / 100			
	рециклирани лакоагрегатни бетон	4.75-9.5 / 100			
[71]	кречњак	4.75-9.5; 9.5-12.5; 12.5-20 / 50; 100	-	цемент / портланд цемент	0.30; 0.35; 0.40
[72]	шљунак	10-12.5 / 80; 90; 95; 100	-	цемент / портланд цемент	0.27
	рециклирана гума	0-1; 1-4; 4-8 / 0; 5; 10; 20			
[73]	шљунак	4-6.3 / 55; 75; 95	-	цемент / портланд цемент СЕМ I 52.5R	0.30
	морске шкољке	2-4; 4-6.3 / 0; 20; 40			
	песак	0-4 / 5			
[74]	шљунак	10-12.5 / 80; 90; 95; 100	-	цемент / портланд цемент СЕМ I 42.5R	0.27
	рециклирана гума	0-1; 1-4; 4-8 / 0; 5; 10; 20			
[75]	кречњак	3-6; 6-10 / 90; 95; 100	аеранти, адитив за модификацију вискозитета, пластификатори	цемент / портланд цемент СЕМ II 42.5R A-LL	0.27; 0.30; 0.35
	песак	0-3 / 0; 5; 10			
[76]	кречњак	4.75-12.5 / 100	електрофилтерски пепео, натријум-силикат, натријум-хидроксид	цемент / портланд цемент	НП
[77]	шљунак	2.36-19 / 93	адитив за модификацију вискозитета, стаклена влакна, челична влакна, полифелни сулфид влакна, комине пиринча	цемент / портланд цемент	0.27; 0.33; 0.40
	песак	0-4.75 / 7			
[78]	доломит	0-4; 4-8; 8-16 / 0; 30; 40; 60	адитив за модификацију вискозитета	цемент / СЕМ II/A-M(S-V) 42.5N	0.33
	шљака	4-8; 8-16 / 0; 30; 60			
	песак	0-2 / 10			

Рад	тип агрегата	фракције агрегата [mm] / удео фракције агрегата (%)	хемијски и/или минерални додаци	врста везива / тип везива	водо-цементни фактор ( $m_w/m_c$ )
[79]	шљака	9.5-12.5; 12.5-20 / 100	-	цемент	0.30; 0.35; 0.40; 0.45; 0.50
	шљунак	12.5-20 / 100			
[80]	дробљени камен	2.5-10; 5-14; 10-20 / 100	-	цемент / портланд цемент	0.30
[81]	шљунак	4.75-9.5 / 100	адитив за модификацију вискозитета	цемент / портланд цемент	0.35-0.45
	шљака (отпадни материјал)	4.75-9.5; 9.5-12.5 / 100			
[82]	шљунак	10-12.7 / 96; 100	суперпластификатор	цемент	0.34
	рециклирани бетон	10-12.7 / 96; 100			
	дрвена влакна	0-10 / 0; 4			

### 3.1 ЧВРСТОЋА ПРИ ПРИТИСКУ

Опште је прихваћено да бетон са порама има релативно малу чврстоћу при притиску у односу на стандардне бетоне у којима је порозност смањена због учешћа ситне фракције агрегата. Повећавањем максималног зрна агрегата, без додатка ситне фракције за справљање порозног бетона, долази до смањења чврстоће бетона при притиску.

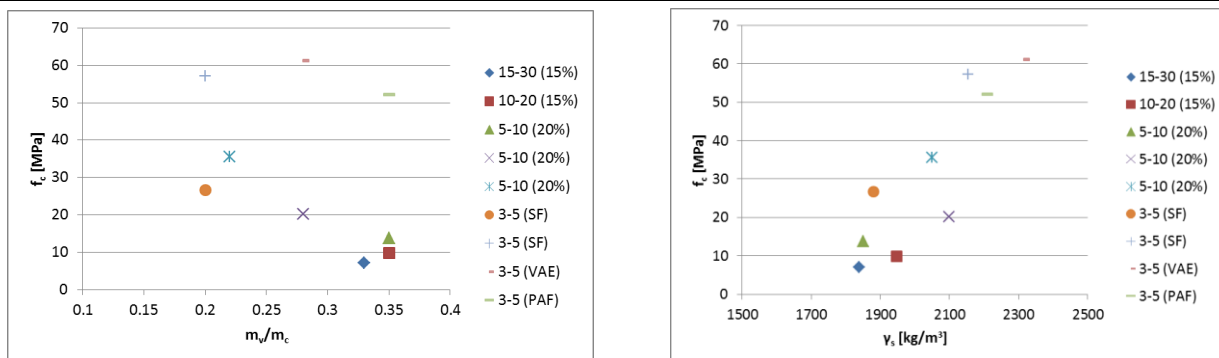
Експериментално истраживање порозног бетона које је спровео Мраковчић са сарадницима [58], укључивало је бетонске мешавине справљене са кречњачким агрегатом и одређеном количином песка (табела 3.1), са одређеном збијеношћу (вибрирањем или збијање шипком). Вариране су вредности фракције агрегата, водоцементног фактора и запремински удео агрегата. Код порозних бетонских мешавина, веће су чврстоће бетона при притиску са учешћем ситнијих фракција агрегата и повећаним учешћем песка. Анализирајући резултате испитивања (слика 3.1) аутори су закључили да је максимална чврстоћа при притиску постигнута са уделом фракције 11-16 mm и додатком 10% песка, јер се са даљим повећањем количине песка повећава чврстоћа при притиску.



Слика 3.1 Порозни бетон: а) дијаграм вредности чврстоће при притиску за одређене врсте мешавине; б) дијаграм зависности између чврстоће при притиску о учешћу песка у порозном бетону [60]

Јенг и Ђанг (*Yang & Jiang*) [16] су истраживали чврстоћу при притиску за порозне бетоне са разним додацима (табела 3.1). Истраживање је обухватило 9 врста порозних бетона, при чему је варирано: учешће различитих фракција агрегата, количина ситнозрног агрегата (песка), додаци цемента и водоцементни фактор. Узорци на којима је испитивана чврстоћа при притиску су били облика призме, димензија 100 mm x 200 mm x 60 mm. Резултати истраживања су показали да највећа чврстоћа при притиску може да се постигне са агрегатом крупноће 3-5 mm и учешћем додатка винил-ацетат-етилен емулзије, а најмања чврстоћа при притиску са агрегатом крупноће 15-30 mm и учешћем песка (15%), без учешћа додатака у бетону.

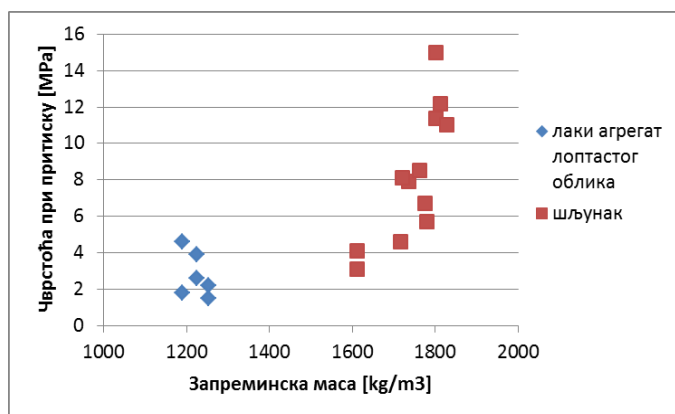




Слика 3.2 Зависност између водоцементног фактора и чврстоће при притиску (лево); зависност запреминске масе очврслог бетона и чврстоће при притиску (десно) [16]

Зависност водоцементног фактора и чврстоће при притиску је приказана на слици 3.2 лево. На основу приказаних резултата закључено је да не постоји директна веза између посматраних својстава. Уочава се повећано расипање резултата са повећањем водоцементног фактора. На слици 3.2 десно је приказана зависност запреминске масе очврслог бетона и чврстоће при притиску где се запажа расипање резултата и није могуће успоставити поуздану корелацију између запреминске масе очврслог бетона и чврстоће при притиску.

Ким и Ли (*Kim & Lee*) [50] су испитивали чврстоћу при притиску порозног бетона са лаким агрегатом и шљунком, али са различитом количином цементне пасте у бетонској мешавини (80%, 110% и 140%). Фракције агрегата, као и учешће фракције, коришћење додатака и водоцементни фактор су приказани у табели 3.1. На основу урађених испитивања аутори су потврдили да природни агрегат (шљунак) има већу носивост од лаког агрегата, и то чак до четири пута већу вредност. Из табеле 3.1 је приметно да су узете веће фракције код природног шљунка у односу на лаки агрегат, при чему максимална вредност чврстоће при притиску је постигнута са фракцијом 8-13 mm за шљунчани агрегат и садржајем 110% цементне пасте, а минимална вредност је постигнута за исту фракцију, али са најмањим садржајем цементне пасте (80%). За све фракције запажа се да ситнија фракција (4-8 mm) даје мању носивост у односу на остале две фракције (8-12 mm и 12-19 mm). Резултати истраживања Ким и Лија су приказани на слици 3.3. Запажа се да код бетона са речним агрегатом, чврстоћа при притиску расте са порастом запреминске масе, док код мешавина које су справљене од лаког агрегата чврстоћа при притиску расте са смањењем запреминске масе.

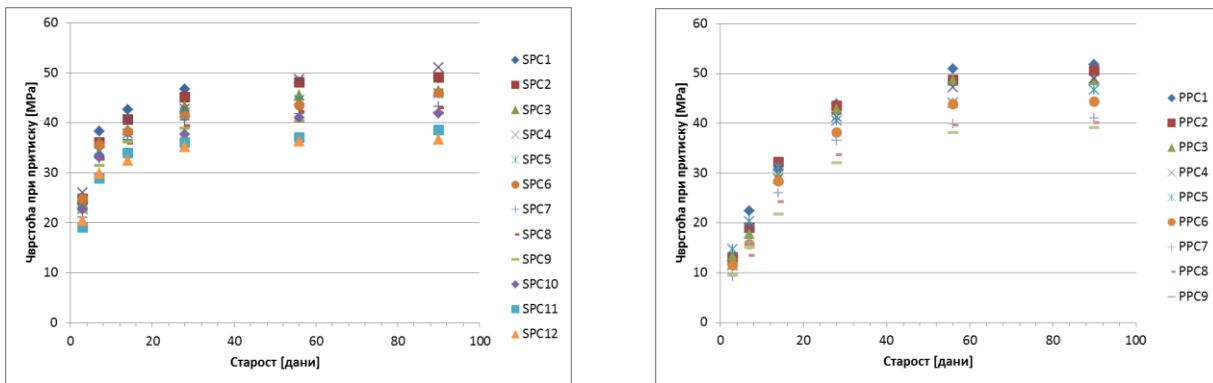


Слика 3.3 Зависност између запреминске масе очврслог бетона и чврстоће при притиску [50]

Приликом испитивања чврстоће при притиску код порозних бетона, највише утиче збијеност узорка и садржај цементне пасте. Тако су аутори Сумансурија и Нитлејт (*Sumanasooriya & Neithalath*) [22] извршили испитивање порозне бетонске мешавине са високим садржајем цементне пасте и малом

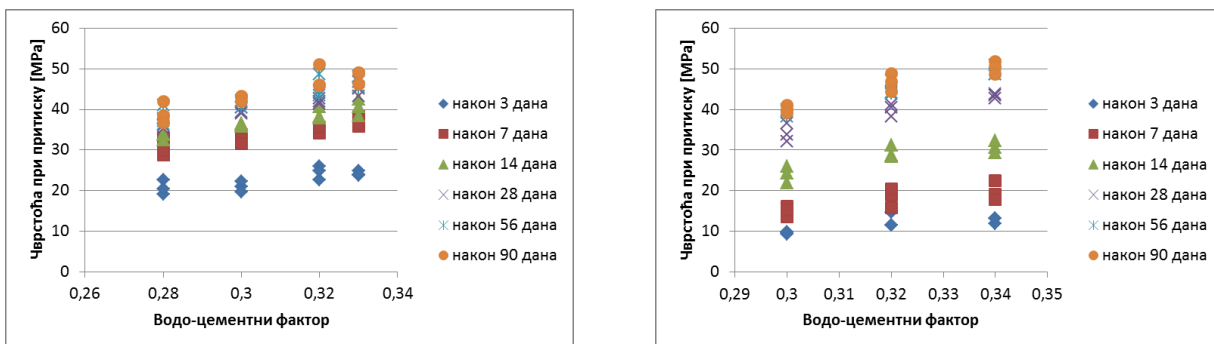
силом збијања и обрнуто. Збијање је вршено у два или три слоја, са различитим бројем удараца. Максимална вредност чврстоће при притиску за оба типа порозних бетона је постигнута са учешћем фракције агрегата 4,75-9,5 mm, а минимална са фракцијом агрегата 9,5-12,5 mm. Закључак овог рада је да вредност чврстоће при притиску зависи од збијености, садржаја количине цементне пасте, али такође зависи и од водоцементног фактора, величине крупне фракције агрегата и учешћа ситних честица.

Чен са сарадницима (*Chen, et al.*) [63] је испитивао физичко-механичка својства порозних бетона са две врсте додатака. У првој мешавини коришћени су додаци у цементу и означени су као (СПЦ), а у другој мешавини су коришћени полимери и означени су са (ППЦ). За СПЦ мешавину је направљено 12 узорака, а за ППЦ девет узорака са различитом порозношћу. Испитивања су вршена након: 3, 7, 14, 28, 56 и 90 дана, при чему узорци СПЦ након три дана постижу око 50% очвршћавања, док након седам дана постиже се око 80% чврстоће, а након 90 дана се постиже знатно већа чврстоћа око 109% што представља велике вредности чврстоће при притиску за ову врсту мешавина (слика 3.4). Узорци ППЦ након три дана постижу чврстоћу око 36%, док после 7 дана око 45%, а након 90 дана постижу чврстоћу око 117%.



Слика 3.4 Чврстоћа при притиску за СПЦ и ППЦ узорке [63]

Зависност водоцементног фактора и чврстоће при притиску је приказана на слици 3.5 лево и десно. На основу приказаних резултата закључено је да не постоји директна веза између посматраних својстава. Уочава се повећано расипање резултата са повећањем водоцементног фактора.



Слика 3.5 Зависност између водоцементног фактора и чврстоће при притиску: СПЦ (лево) и ППЦ (десно) [63]

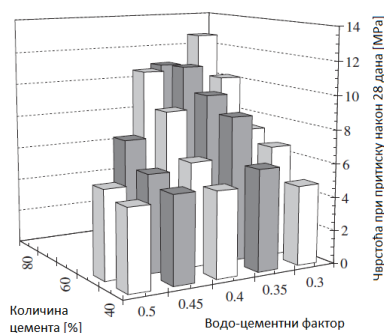
Закључак целокупног истраживања овог рада је да при малим старостима узорци СПЦ имају знатно већу чврстоћу при притиску у односу на узорке ППЦ, док при већим старостима узорци ППЦ имају знатно већа одступања и већу носивост од претходно наведених узорака.

Мекејн и Деволкер (*McCain & Dewoolkar*) [69] су испитивали пет различитих мешавина код којих су варирали вредности додатака у бетону и водоцементног фактора. На основу урађених истраживања,

чврстоћа при притиску расте са повећавањем запреминске масе порозног бетона, али при чему додаци у бетону, као што су адитиви и пластификатори мало утичу на вредност чврстоће при притиску.

Рад [76] приказује утицај примене електрофилтерског пепела као замене за цемент за справљање порозне бетонске мешавине. Примарно везиво приликом справљања мешавине је електрофилтерски пепео и то минимално 60% у односу на укупну количину везива, а остатак сачињава портланд цемент. Укупно је направљено 30 различитих мешавина са различитим учешћем агрегата за справљање порозне бетонске мешавине (табела 3.1). Овде је приказана статистичка обрада резултата испитивања и добијена је формула за оптималне максималне величине чврстоће при притиску мешавина са различитим учешћем више врста материјала.

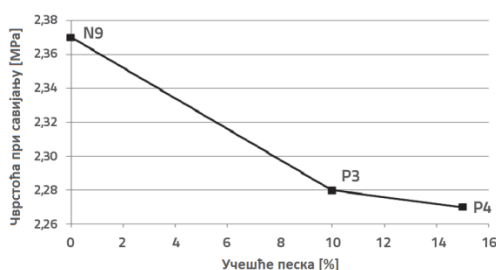
За справљање порозних бетонских мешавина коришћена је згура високих пећи и природан агрегат [79]. Фракције згуре су 9,5 mm и 12,5 mm, док је за природан агрегат максимална величина зрна 12,5 mm. Водоцементни фактор за справљање бетонске мешавине је од 0,30 до 0,50 у зависности од врсте и величине агрегата која је коришћена за справљање порозне бетонске мешавине. Чврстоћа при притиску код оваквих узорака варира у зависности од количине пора и количине цемента, односно приметно је да се са малим водоцементним фактором (0,30) и великим учешћем цемента добија максимална чврстоћа при притиску 12,68 МПа, а минимална вредност се постиже са малим учешћем цемента (40%) и износи 4,25 МПа (слика 3.6).



Слика 3.6 Приказ односа водоцементног фактора и количине цемента код чврстоће при притиску након 28 дана [79]

### 3.2 ЧВРСТОЋА ПРИ САВИЈАЊУ

Истраживање које је приказано у раду [58] показало је да количина ситне фракције и водоцементни фактор утичу на чврстоћу при савијању. На слици 3.7 приказана је зависност чврстоће при савијању од учешћа песка за неке од испитиваних узорака.



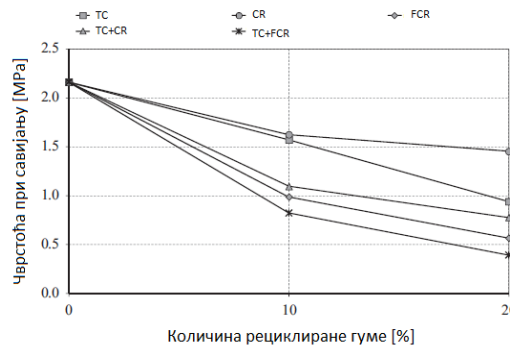
Слика 3.7 Зависност између чврстоће при савијању од учешћа песка [58]

Приказани су резултати испитивања чврстоће при затезању савијањем на узорцима двофракцијског порозног бетона (4-8 mm и 8-16 mm) са различитим уделом додатног песка гранулације 0-4 mm.

Приметно је да повећавањем количине песка долази до смањивања чврстоће при савијању и обрнуто.

Гириш и Манхуанат Рао (*Girish & Manjunath Rao*) [67] су справили укупно 27 мешавина, са различитим учешћем ситне и крупне фракције агрегата, водоцементног фактора, суперпластификатора, електрофилтерског пепела и цемента (табела 3.1). Максимална чврстоћа при савијању (4,1 МПа) се добија код мешавине која садржи максималну количину цемента, средњу количину водоцементног фактора (0,28), са садржајем 28% пора, 15% електрофилтерског пепела и 0,1% суперпластификатора. Приметно је да треба одредити оптималну количину водоцементног фактора како би се добила већа вредност чврстоће при савијању. Поред водоцементног фактора, на чврстоћу при савијању утичу још: садржај електрофилтерског пепела, учешће суперпластификатора и маса цемента, како би се одредио што бољи однос за добијање бољих и реалнијих резултата за примену у пракси.

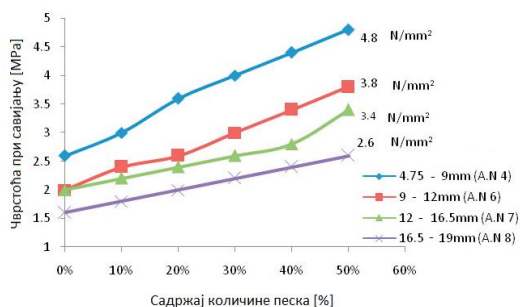
У раду [72] су анализирани порозне бетонске мешавине справљене са додатком рециклиране гуме, константном количином цемента ( $m_c = 450 \text{ kg/m}^3$ ), константним водоцементним фактором (0,27). Гума је коришћена као замена за агрегат, и то 10% и 20% од укупне количине агрегата. За справљање порозне бетонске мешавине коришћене су три различите фракције рециклиране гуме: крупна (TC) (4,5-9 mm), ситна (CR) (1-4,5 mm) и фина (FCR) (<1 mm). Направљено је укупно 11 серија узорака од којих је једна контролна серија. Након испитане чврстоће при савијању добијено је да је максимална вредност постигнута код контролног узорка, па потом са учешћем 10% гумених гранула, док се најмања вредност постиже са 20% гумених гранула (слика 3.8).



Слика 3.8 Зависност између количине рециклиране гуме и чврстоће при савијању [72]

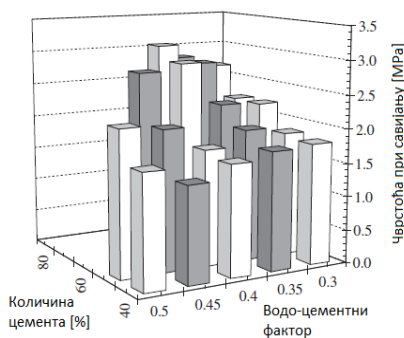
Захваљујући истраживањима, која су анализирана у овом раду, закључено је да се повећавањем количине гуме смањује чврстоћа при савијању.

Аутори рада [73] су анализирали порозне бетонске мешавине справљене од четири различите фракције дробљеног шљунка и са учешћем финих честица агрегата (табела 3.1). Количине ситних честица агрегата су додаване: 0%, 10%, 20%, 30%, 40% и 50% у односу на крупну фракцију агрегата које учествују у справљању порозне бетонске мешавине. Направљене су четири контролне мешавине без учешћа ситних честица агрегата. Водоцементни фактор је био константан за све мешавине и износио је 0,34. Вредности чврстоће при савијању након 28 дана се повећавају са већим учешћем количине песка у испитиваној мешавини порозног бетона (слика 3.9).



Слика 3.9 Зависност између садржаја количине песка и чврстоће при савијању ( $1\text{N/mm}^2=1\text{MPa}$ ) [73]

За справљање порозних бетонских мешавина коришћена је згура из високих пећи и природан агрегат (табела 3.1) [79]. Чврстоћа при савијању након 28 дана је испитана и максимална вредност је добијена при водоцементном фактору 0,40 и учешћу цемента око 70%, при чему максимална вредност износи свега 3,0 МПа, односно представља 1/4 вредности чврстоће при притиску (слика 3.10).



Слика 3.10 Приказ односа између водоцементног фактора и количине цемента и чврстоће при савијању након 28 дана [79]

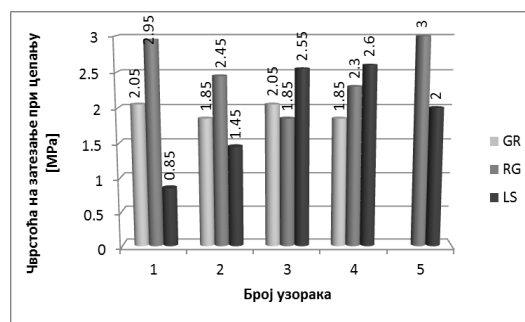
Порозне бетонске мешавине су справљене помоћу отпадног материјала (шљаке из термоелектране) и природног агрегата различитих фракција (табела 3.1). За справљање порозних бетонских мешавина коришћена је цементна паста која је попунила 70%, 80% и 90% шупљина [86]. Чврстоћа при савијању за испитиване мешавине варира од количине цементне пасте, водоцементног фактора, врсте и фракције агрегата које су коришћене приликом справљања порозне бетонске мешавине. Максимална вредност чврстоће при савијању је постигнута са 90% цементне пасте, водоцементним фактором који износи свега 0,35 и учешћем отпадног агрегата фракције 4,5 mm, односно минимална вредност је постигнута са 70% учешћа цементне пасте, отпадним агрегатом крупне фракције (9,5 mm) и водоцементним фактором 0,45. На основу свих приказаних истраживања приметно је да утицај ситних честица, већа количина цементне пасте и осредњи водоцементни фактор омогућују знатну вредност чврстоће при савијању.

У раду [82] је дат приказ испитивања порозних бетонских мешавина које се справљају са додатком дрвених влакана и рециклираног агрегата од бетона. Справљене су три порозне бетонске мешавине, при чему: прва мешавина представља контролну и справљена је од природног агрегата без додатка дрвених влакана; друга мешавина је справљена са додатком дрвених влакана и коришћењем природног агрегата, а трећа мешавина се састоји од дрвених влакана и рециклираног агрегата. Максимална величина зрна агрегата је 10 mm, а учешће дрвених влакана је 4% од укупне масе порозне бетонске мешавине и водоцементни фактор који је коришћен за све мешавине је исти.

Након извршених испитивања, максимална чврстоћа при савијању је постигнута за мешавину број два, па потом мешавину три и на крају за мешавину један, тј. контролну мешавину. Са повећањем учешћа дрвених влакана повећава се носивост порозних бетона.

### 3.3 ЧВРСТОЋА НА ЗАТЕЗАЊЕ ПРИ ЦЕПАЊУ

Обимнија истраживања су анализирана у раду [59], где су коришћене променљиве врсте агрегата, са константним водоцементним фактором (табела 3.1). Резултати добијених истраживања су приказани на слици 3.11, где се примећује да се чврстоће крећу у границама од 0,85 МПа до 3,00 МПа. Максимална чврстоћа на затезање при цепању је достигнута на порозним бетонима који су справљени са речним шљунком, па потом са кречњачким агрегатом (LS) и на крају са агрегатом од гранита (GR). На основу урађених истраживања аутор је дошао до закључка да врста стена од којих је коришћен агрегат утиче на носивост порозних бетона, па потом фракција агрегата, водоцементни фактор и на крају количина пора.



Слика 3.11 Вредности чврстоће на затезању при цепању [59]

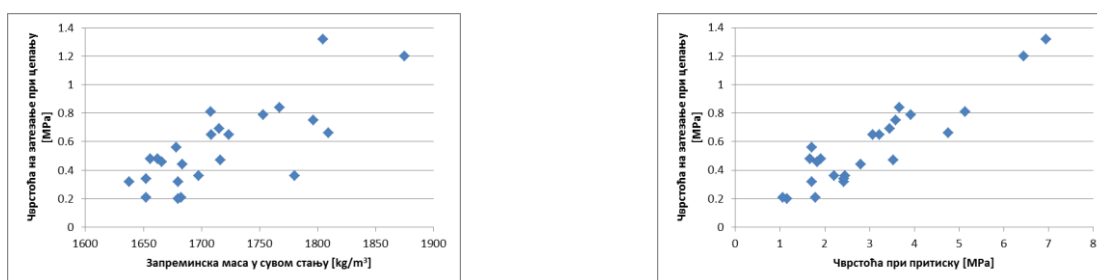
У раду [62] су коришћени рециклирани агрегати за справљање порозног бетона. Уграђивање узорка је вршено збијањем помоћу шипке и испитивање је вршено након седам дана. Да би се резултати упоредили, урађен је контролни узорак, који је справљен од дробљеног кречњака. Након урађених испитивања, максимална чврстоћа на затезање при цепању је постигнута на контролном бетону који је справљен од природног агрегата, па потом на бетону справљеним од рециклираног бетона и на крају на бетону са рециклираном опеком. На основу свега приказаног закључено је да се рециклирани бетон и рециклирана опека могу користити за израду порозног бетона.

У раду [68] је справљен порозни бетон од кречњака (табела 3.1). Справљене су две серије мешавина, при чему једна представља контролну мешавину, а друга суперабсорбну полимерну мешавину, при чему обе серије имају по три подврсте које се разликују по збијености. Први узорак није збијан, други узорак је збијан у два слоја са по пет пробадања шипком и трећи узорак је збијан у три слоја са по 10 удараца шипком. Максимална чврстоћа на затезање при цепању је добијена код узорка који су збијани са по 10 удараца шипком у три слоја, јер је на тај начин остварена максимална компактност. Најбоље су се показале мешавине са суперабсорбним полимерима, али треба одмах напоменути да ти узорци имају и најмању порозност у односу на остале узорке. Генерално гледано, закључак је да се са повећањем збијености и са применом дробљеног агрегата добијају веће чврстоће.

Аутори [70] су анализирали мешавине порозног бетона са лаким и рециклираним агрегатом (табела 3.1). За справљање су коришћене три различите количине цемента: 15%, 20% и 25%, при чему је справљено укупно девет мешавина. Узорци су били цилиндричног облика, пречника 100 mm и висине 200 mm. Максимална чврстоћа на затезање при цепању је постигнута код узорка справљеног са лаким агрегатом типа пловућац, који садржи максималну количину цемента (25%). Након

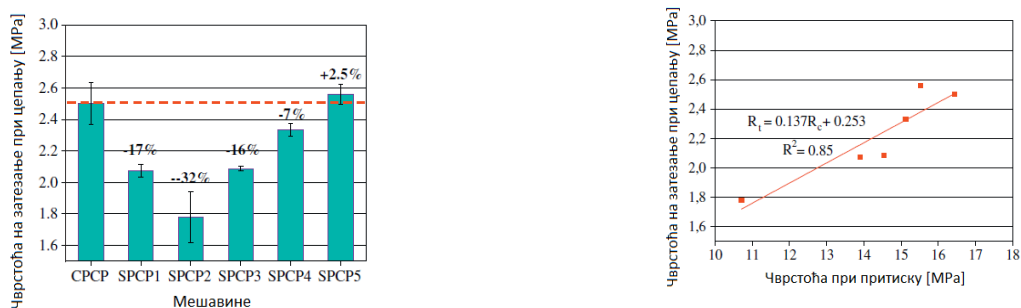
урађених испитивања, приметно је да механичка и физичка својства агрегата битно утичу на механичке карактеристике порозних бетона.

Поједини аутори истраживали су порозан бетон справљен са две различите фракције агрегата, односно узето је 50% једне и 50% друге фракције агрегата [71]. Укупно је направљено 24 узорка (четри серије по шест узорака у серији), при чему прву серију сачињавају комбинације агрегата (4,5 , 9,5 и 12,5 mm), док друга серија, има променљив водоцементни фактор од 0,30 до 0,40. У трећој серији је рађено са променљивом масом цемента (од 150 до 250 kg), а у последњој серији је варирано учешће крупније фракције агрегата, односно коришћене су фракције 9,5 mm и 12,5 mm. Максимална чврстоћа на затезање при цепању је постигнута у мешавини где је коришћен крупни једнофракцијски агрегат.



Слика 3.12 Зависност између чврстоће на затезању при цепању од запреминске масе у сувом стању (лево) и чврстоћи при притиску (десно) [71]

На слици 3.12 дати су резултати анализираних истраживања и приказана је зависност чврстоће на затезање при цепању од запреминске масе у сувом стању (лева слика) и чврстоће при притиску (десна слика) за порозне бетонске мешавине. Како се може видети на сликама, расипање резултата је велико и није могуће успоставити поуздану корелацију између запреминске масе и чврстоће на затезање при цепању, као и чврстоће при притиску и чврстоће на затезање при цепању. Уочава се да са повећањем запреминске масе и чврстоће при притиску долази до пораста чврстоће при цепању. Аутори [73] су анализирали порозне бетоне са агрегатом од морских шкољки, које су употребљене за крупни агрегат (табела 3.1). Чврстоћа на затезање при цепању се креће у границама од 1,78 до 2,56 МПа, при чему је максимална вредност чврстоће постигнута код бетона са комбинацијом крупних и ситних шкољки док контролни узорак има нешто мању чврстоћу на затезање при цепању (2,5 МПа), односно максимална вредност је 2,5% већа у односу на контролни узорак, а минимална вредност је 32% мања у односу на контролни узорак (слика 3.13 лево).



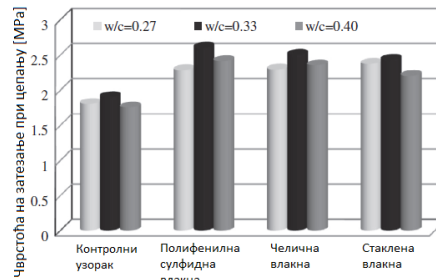
Слика 3.13 Резултати испитивања чврстоће на затезање при цепању у зависности од врсте мешавине (лево); зависност између чврстоће при притиску и чврстоће на затезање при цепању (десно) [73]

Са слике 3.13 десно запажа се расипање резултата и успостављена је корелација између чврстоће на затезање при цепању и чврстоће при притиску након 28 дана. Уочава се повећавање резултата са



порастом чврстоће при притиску. Генерално гледано, морске шкољке могу да се искористе као агрегат за добијање и справљање порозних бетона.

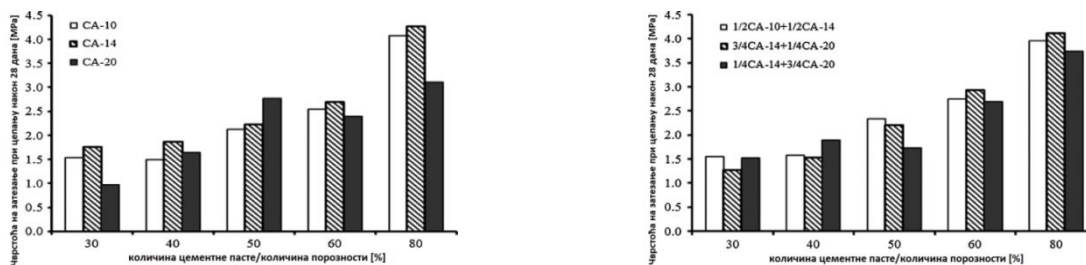
У раду [77] је коришћена комина од пиринча као замена за цемент (табела 3.1). Приказ резултата показује да се коришћењем комине од пиринча, као замене за цемент, повећава чврстоћа на затезање при цепању до 8%. Иако нису исти трендови за све мешавине, максимална чврстоћа је постигнута при водоцементном фактору 0,33 (слика 3.14).



Слика 3.14 Приказ чврстоће на затезање при цепању са различитим вредностима водоцементног фактора [77]

Након анализе добијених резултата закључено је да је максимална чврстоћа постигнута са 8% комине пиринча, као замене за цемент, са водоцементним фактором 0,33 и 0,5% полифенилних-сулфидних влакана.

Аутори [80] су извршили испитивање порозних бетонских мешавина које су справљене са три различите фракције агрегата и касније је вршена комбинација учешћа две фракције (табела 3.1). Урађено је испитивање чврстоће на затезање при цепању након 28 дана, где су резултати приказани на слици 3.15.



Слика 3.15 Зависност између количине цементне пасте/количина порозности и чврстоће при цепању са променљивим учешћем агрегата [80]

Уочава се да се са повећавањем количине цементне пасте повећава чврстоћа на затезање при цепању, односно максимална вредност се постиже са фракцијом агрегата од 5 до 14 mm, а минимална вредност је постигнута са фракцијом 10-20 mm. На основу приказаних резултата истраживања, аутори су закључили да се са повећавањем максималног зрна агрегата смањује носивост, а повећава пропусност порозних бетонских мешавина.

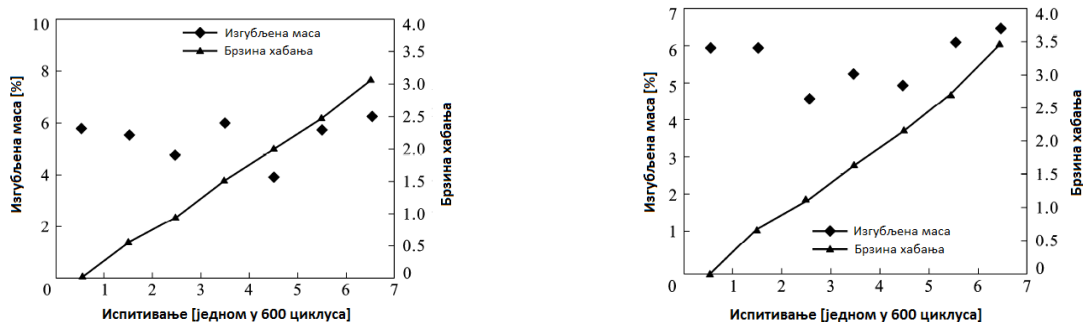
### 3.4 ОТПОРНОСТ НА ХАБАЊЕ

Бетонски елементи у облику плоча, различитих облика и димензија, често се користе за покривање површина намењених кретању пешака. Такође, користе се за израду подова у складиштима или индустријским халама. У таквим условима експлоатације бетон је изложен хабању, тако да се од њега захтева одређена отпорност према таквом дејству. Приликом справљања бетона који треба да буде отпоран на хабање, пажњу треба посветити избору агрегата, по правилу најчешће се користи



дробљени агрегат. Такође, треба посветити пажњу и начину уграђивања и нези бетона, нарочито код површина које ће бити изложене хабању [83].

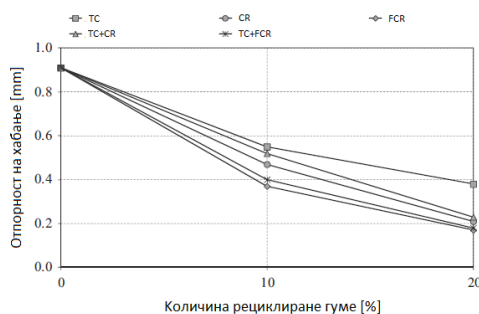
Рад [64] се заснива на испитивању отпорности на хабање и слабљењу текстуре површине на порозном бетону. Хабање и слабљење површинске текстуре порозних бетонских плоча, је испитивано на мешавини која у себи садржи фракцију 5-10 mm од дробљеног базалта као крупног агрегата. Један циклус испитивања се састојао од 600 понављања окретања широког точка, при чему се примећује да на почетном делу циклуса губитак масе је веома велик и касније једним делом опада, па поново расте или се враћа на почетну вредност, али не премашује више од 6% након 4200 циклуса хабања (слика 3.16).



Слика 3.16 Отпорност на хабање на порозним бетонима [64]

Након приказа истраживања, генерални закључак овог рада је да испитиване порозне бетонске мешавине имају добра својства на отпорност на хабање.

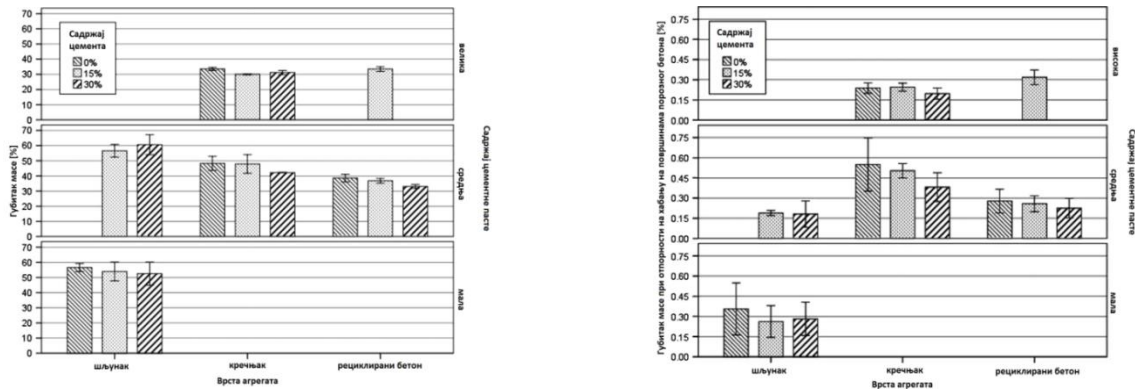
У раду [74] су анализиране порозне бетонске мешавине справљене са додатком рециклиране гуме, константном количином цемента ( $m_c = 450 \text{ kg/m}^3$ ), константним водоцементним фактором (табела 3.1). Испитивањем отпорности на дејство хабања добија се, да се са повећавањем учешћа гумених честица повећава отпорност на хабање (слика 3.17).



Слика 3.17 Зависност између садржаја количине рециклиране гуме и отпорности на хабање [74]

Испитивања отпорности на хабање порозних бетонских мешавина [78] које су справљене помоћу различитих врста агрегата приказана су у табели 3.1. Испитивање отпорности на хабање извршено је помоћу две методе, односно прва метода се заснива на Лос Анђелес методи само што се не убацују челичне куглице, већ узорци у облику цилиндра (пречника 100 mm и висине 100 mm), који су збијани Прокторовим опитом у три серије, а друга метода је испитивање горње хабајуће површине. Поред врсте агрегата, мешавине су подељене и по количини цемента, односно, мала количина цемента ( $276 \text{ kg/m}^3$ ), средња количина ( $284 \text{ kg/m}^3$ ) и велика количина цемента ( $334 \text{ kg/m}^3$ ), где је укупно направљено шеснаест (16) мешавина. Испитивање хабања помоћу Лос Анђелес методе, показује да се губитак масе узорка креће од 30% до 61%. Приликом учешћа мале количине цемента добија се да су вредности губитка масе око 55%, без обзира на количину садржине шљаке као замене за цемент,

а са садржајем високе количине цемента добија се, да је губитак масе у распону од 30% до 35% (слика 3.18).



Слика 3.18 Губитак масе при отпорности на хабање за различите врсте агрегата и количине цемента [78]

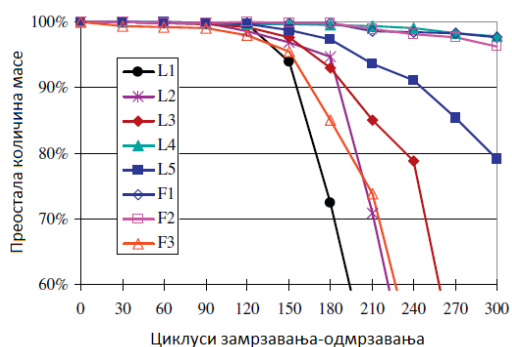
Максимални губитак масе је постигнут код агрегата заобљеног облика и са максималним садржајем шљаке високе пећи (30%), при чему се порозност креће у границама од 55% до 61%. Отпорност на хабање се креће у границама од 0,15% до 0,55% (слика 3.18). Генерални закључак целокупног истраживања у овом раду је да се рециклирани агрегат најбоље показао у случају испитивања отпорности на дејство хабања при обе методе испитивања, па потом агрегат заобљеног облика и на крају кречњак.

### 3.5 ОТПОРНОСТ НА ДЕЈСТВО МРАЗА

Порозни материјали, када садрже довољну количину влаге, могу претрпети одређена оштећења услед циклуса наизменичног смрзавања и одмрзавања. Када се водом засићена цементна паста охлади испод  $0^{\circ}\text{C}$  неће одмах доћи до залеђивања целокупне количине воде. Цементна паста садржи широк спектар пора различитог пречника. У порима пречника 10 mm вода неће прећи у лед све до  $-5^{\circ}\text{C}$ , а у порима пречника 3,5 mm то ће се десити тек на  $-20^{\circ}\text{C}$  [85]. Присуство растворених алкалија у порној води може снизити тачку смрзавања воде за додатних  $1^{\circ}\text{C}$ . Дакле, чак и када температура смрзавања буде достигнута, значајна количина воде у бетону биће охлађена пре него залеђена, будући да су први кристали леда - нуклеуси потребни да иницирају формирање леда. Ови нуклеуси се најпре формирају на површини бетона или у великим празнинама у бетону са тенденцијом продирања у капиларне поре бетона и цементног камена. Међутим, продор кристала леда у капиларне поре малог пречника није ни лак ни брз, чак ни при температурама које су знатно испод  $0^{\circ}\text{C}$ . Познато је да при преласку воде у лед долази до повећавања запремине. Вода ће у облику леда имати за око 9% већу запремину на температури од  $-22^{\circ}\text{C}$ . На нижим температурама и лед ће почети да се скупља. Ако је у порима спречено повећање запремине воде, лед се неће формирати, већ ће вода вршити јак хидростатички притисак на зидове пора. Бетон се од оштећења, која могу изазвати циклуси смрзавања и одмрзавања, може штитити употребом адитива типа аераната и справљањем бетона високих чврстоћа са малим водоцементним фактором, као и употребом агрегата отпорног на дејство мрза. За испитивање отпорности на дејство мрза бетона користе се узорци облика коцке ивице 150 mm или призме 100 x 100 x 400 mm ако се доказивање отпорности на мраз врши мерењем динамичког модула еластичности. Могу се користити и цилиндри (кернови) исечени из уграђеног бетона, димензије  $d = H = 150$  mm или мали цилиндри  $d = 50$  mm и  $H = 56$  mm. За испитивање се користи уређај за хлађење – клима комора која има капацитет да одржава температуру од  $-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  у трајању од 4 сата и одмрзавању у води на

температури од  $+20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  у трајању од најмање четири сата. Прекиди током испитивања нису дозвољени [85].

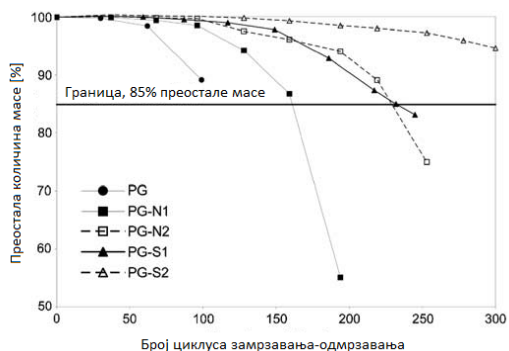
Аутори рада [60] су користили различите додатке у бетону и различите врсте и фракције агрегата за справљање мешавина порозног бетона (табела 3.1). Резултати испитивања отпорности на дејство мрза приказани су на слици 3.19. Приказане су две мешавине справљене у лабораторијским условима и две мешавине које су на терену издржале 300 циклуса дејства мрза. У све четири мешавине употребљена је одређена количина аераната и учешће ситних честица агрегата (песка).



Слика 3.19 Приказ губитка масе након одређеног броја циклуса замрзавања и одмрзавања [60]

На основу свега изнетог, аутори су дошли до закључка да се са учешћем аераната поспешује отпорност на дејство мрза у порозним бетонским мешавинама, како не би дошло до стварања ледених сочива у порама и повећања запремине, што доводи до пуцања у бетону.

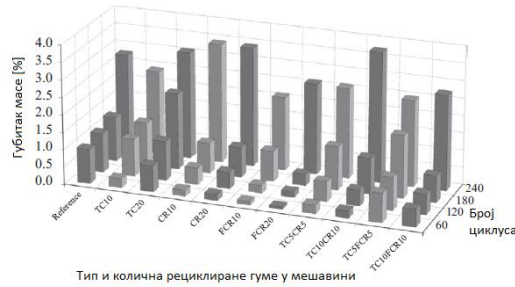
У раду [69] су анализирани порозне бетонске мешавине справљене са речним агрегатом (шљунком). Извршено је испитивање отпорности на дејство мрза. Добијени резултати истраживања су приказани на слици 3.20.



Слика 3.20 Резултати испитивања отпорности на дејство мрза за речни агрегат лоптастог облика [69]

Приметно је да узорци који не садрже аеранте (природне или вештачке) не могу да издрже велики број циклуса дејства мрза (око 99 циклуса), а узорци који садрже око 10% аераната могу да издрже испитивање и до 229 циклуса. На основу свега анализираних, приметно је да порозне бетонске мешавине које се праве са речним агрегатом нису отпорне на дејство мрза, али уз коришћење аераната побољшавају своја својства и могу да издрже већи број циклуса замрзавања-одмрзавања.

У раду [74] су анализирани порозне бетонске мешавине справљене са додатком рециклиране гуме (табела 3.1). Узорци су испитивани на циклично замрзавање и одмрзавање, при чему мешавине које садрже гумене честице имају већу отпорност на циклично замрзавање и одмрзавање. Најбоље резултате при отпорности на дејство мрза дају гумени агрегати са учешћем финих честица агрегата, односно учешћем 10% и 20% финих гумених честица (слика 3.21).

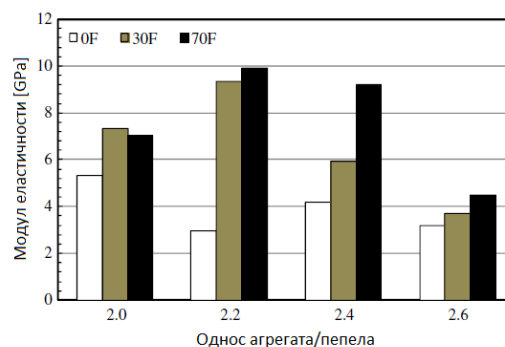


Слика 3.21 Губитак масе за узорке приликом излагања циклусима замрзавања и одмрзавања [74]

Истраживања која су приказана и анализирана у овом раду, доводе до закључка да учешће гумених честица у порозној бетонској мешавини имају позитиван ефекат на отпорност на дејство мраза. Аутори [9] су анализирали справљање порозне бетонске мешавине са променљивим врстама и фракцијама агрегата, додацима у бетону и водоцементним фактором (табела 3.1). Отпорност на дејство мраза испитана је на девет различитих мешавина од којих су четири мешавине имале добру збијеност, а пет порозних мешавина лошу. На основу свега тога једина мешавина која је издржала 300 циклуса јесте мешавина справљена од природног шљунка са садржајем песка (7%) и са хемијским додацима. Остали узорци нису издржали толики број циклуса јер су губили превише масе приликом испитивања. На основу свих приказаних резултата са различитим врстама и фракцијама агрегата, као и различитим учешћем водоцементног фактора, хемијских додатака и песка, закључује се да узорци справљени од речног агрегата имају бољу отпорност на дејство мраза у односу на кречњачки и лаки агрегат.

### 3.6 МОДУЛ ЕЛАСТИЧНОСТИ

У раду [57] је коришћен електрофилтерски пепео као везиво, а за агрегат су коришћени рециклирани блокови различитих фракција и учешћа појединих фракција. На основу састава мешавине, анализиран је модул еластичности који је променљив и зависи од врсте и састава порозног бетона. Максимална вредност модула еластичности је постигнута са односом (агрегата и пепела) 2,2 и садржајем 70% ситних честица агрегата. Резултати истраживања су приказани на слици 3.22.

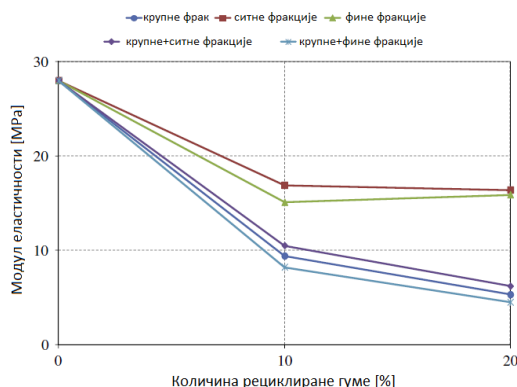


Слика 3.22 Модул еластичности након 28 дана од лакоагрегатног бетона [57]

Генерално гледано овакав тип рециклираног материјала може да се примењује за израду порозног бетона, али чија је намена за израду преградних зидова, паркиралишта, пешачких стаза и стаза у парковима.

У раду [74] су анализирани порозне бетонске мешавине справљене од речног крупног агрегата са додатком рециклиране гуме (табела 3.1). Сва испитивања су вршена након 28 дана. Испитано је

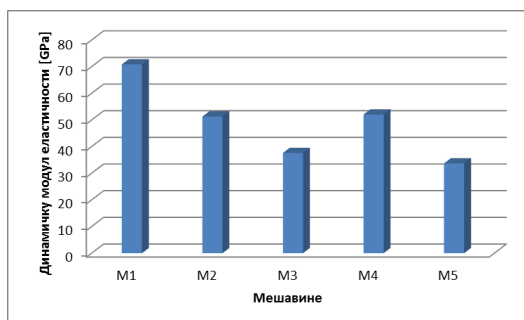
укупно десет узорака са различитим учешћем гуме и урађена је једна контролна мешавина без додатка гуме, справљена од природног агрегата. Модул еластичности испитаних узорака варирао је од 4,5 GPa до 16,9 GPa са учешћем гумених честица агрегата, односно максимална вредност је постигнута код контролног узорка чији је модул еластичности 28 GPa (слика 3.23).



Слика 3.23 Зависност између модула еластичности од садржаја количине рециклиране гуме [74]

Аутори рада [75] су анализирали порозну бетонску мешавину справљену од кречњака уз учешће песка (табела 3.1). Коришћена су три различита водоцементна фактора. Сви узорци су справљени у калупима пречника 101 mm и висине 55-65 mm, односно у калупима у којима се касније врши збијање узорака по Маршалу. На основу урађених испитивања закључено је да се са повећавањем броја удараца Маршаловом набијачу добија знатно већи модул еластичности. Учешћем водоцементног фактора 0,35 добија се средња вредност статичког модула еластичности, док се за водоцементни фактор од 0,27 добијају минималне вредности, а за водоцементни фактор 0,30 добија се максимална вредност статичког модула еластичности.

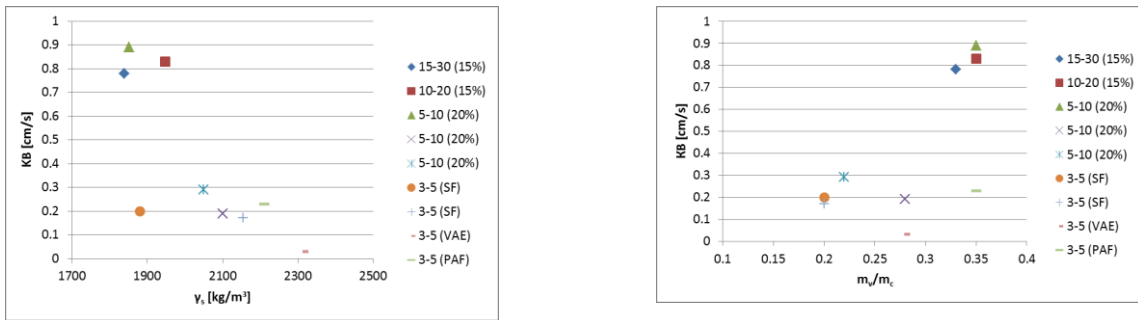
Аутори рада [78] су анализирали пет различитих мешавина, од којих је једна контролна и четири порозне мешавине са различитим типом агрегата и различитим фракцијама агрегата уз додаток ситних честица (табела 3.1). На основу анализираних резултата максимална вредност модула еластичности постигнута је учешћем доломита, односно са већим учешћем фракције (4-8 mm) добија се већа вредност модула еластичности. Резултати истраживања су приказани на слици 3.24.



Слика 3.24 Вредности модула еластичности [78]

### 3.7 КОЕФИЦИЈЕНТ ВОДОПРОПУСТЉИВОСТИ

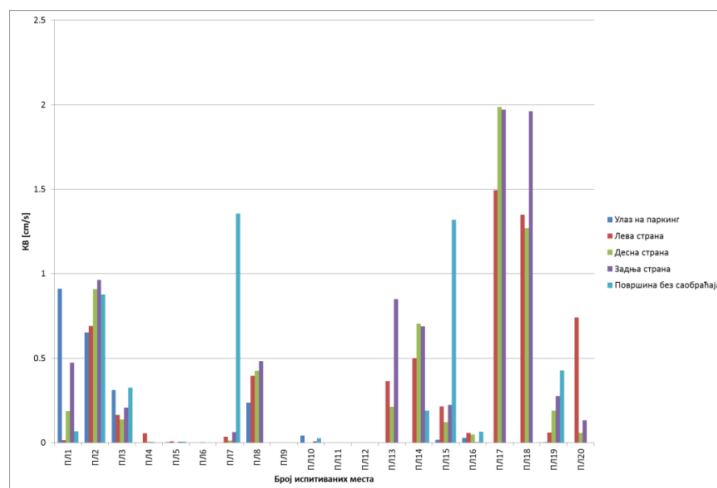
Хидрауличка проводљивост порозног бетона једнако је повезана са порозношћу бетона и величином пора. Истраживање [16] имало је за циљ да се испита утицај различитих фракција агрегата, са различитом врстом и количином додатака у бетону и променљивом количном ситних честица агрегата (табела 3.1).



Слика 3.25 Зависност између коефицијента водопропустљивости и запреминске масе (лева) и водоцементног фактора (десна) [16]

Анализирајући резултате испитивања аутори су закључили да, зависност између коефицијента водопропустљивости и запреминске масе (слика 3.25 лево) није поуздана и да има велико расипање резултата. Повећавањем вредности запреминске масе смањује се вредност коефицијента водопропустљивости и обрнуто. Зависност између коефицијента водопропустљивости и водоцементног фактора (слика 3.25 десно) показује да се са повећавањем водоцементног фактора повећава коефицијент водопропустљивости.

Мерење порозности бетонског коловоза на различитим паркиралиштима широм Калифорније бавио се и Кајханијан са сарадницима (Kayanian, et al.) [84]. На сваком паркиралишту, рађено је мерење на пет места. Прво је на самом уласку у паркинг, па на месту где нема саобраћаја, на месту где стане леви точак кола, па десни и на крају на месту где се задњи крај аута налази. Мерење порозности је вршено помоћу *NCAT* методе. *NCAT* метода се састоји од четири различита пречника епрувете, при чему је доња епрувета највећег пречника и како иде ка врху, све је мањег пречника. Доња епрувета садржи постоље које се ставља на површину и лепи силиконом, па потом се мери време процеђивања воде кроз порозни бетон. Уколико се мерење ради на још неком месту онда се одлепљује епрувета и премешта се на друго место. Резултати испитивања приказани су на слици 3.26.

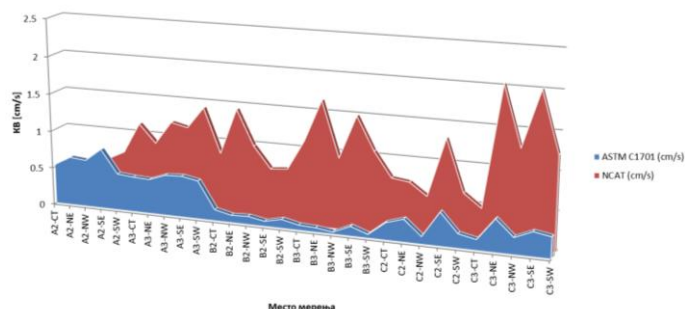


Слика 3.26 Коефицијент водопропустљивости на различитим паркиралиштима [84]

На основу приказаних резултата (слика 3.26) утврђено је да максималну пропусност има паркинг ПЛ17, који је стар свега три године, док има знатне разлике у пропусности за паркиралишта исте старости (нпр. ПЛ3, 4 и 18). Неодржавањем долази до зачепљења пора од прљавштине и других честица које носи ветар.



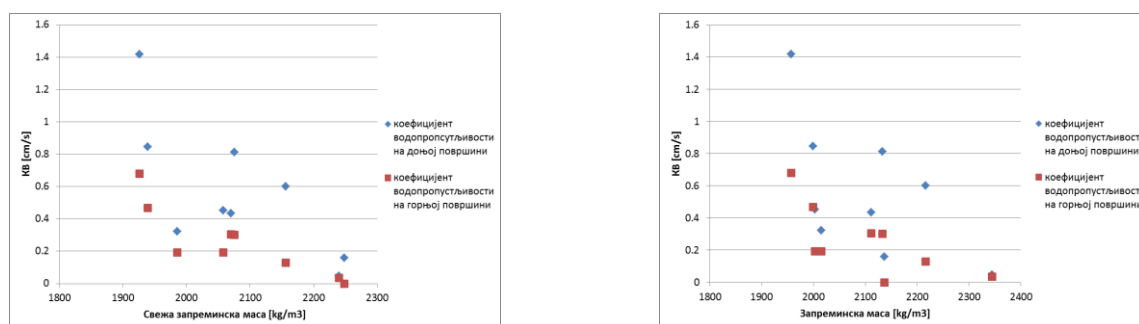
У раду [86] су дата истраживања поређења пропустљивости, помоћу две методе испитивања, постојећих парикралишта која су израђена од порозног асфалта, порозног бетона и обичног бетонског коловоза. Мерења су вршена помоћу тзв. *NCAT* (енгл. *National Center for Asphalt Technology* – Национални центар за асфалтне технологије) и по стандарду *ASTM C1701*. Метода мерења по стандарду *ASTM C1701* је рађена тако што се постави прстен пречника 300 mm и висине 50 mm. Учвршћује се водонепропусним силиконом, потом се у тај прстен сипа одређена количина воде тежине 3,6 kg и мери се време упијања воде, до тренутка када вода нестане из прстена. Мерење пропусности је мерено на плочама димензија 4 x 4 m у Калифорнији. Површина типа *A* је означавала бетонски коловоз (обичан), површина типа *B* представља порозни асфалт и површина типа *C* представља порозни бетон. За сваки тип коловозне површине, справљене су две мешавине различите пропусности. Свих шест плоча су постављене на слоју туцаника, при чему је једна бетонска плоча постављена на слој туцаника дебљине 15 cm, а за све остале плоче слој туцаника је 30 cm. Дебљина испитаних плоча код бетонског коловоза износи 10 cm, док за порозни асфалт су коришћене две дебљине: једна 10 cm, а друга 20 cm. Локације испитивања су постављене на пет различитих места на свакој плочи, а то су била: југоисточно, североисточно, северозападно, југозападно и у центар саме плоче, а резултати испитивања су приказани на слици 3.27.



Слика 3.27 Коефицијент водопропустљивости испитиван помоћу две методе (*ASTM* и *NCAT*) [86]

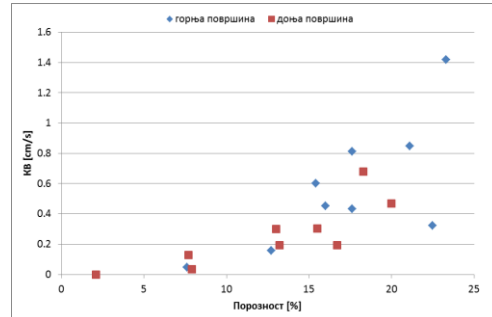
Мерења коефицијента водопропустљивости која су урађена помоћу методе *ASTM* показала су 25% нижу вредност од мерења помоћу методе *NCAT*. Генерално гледано обе методе могу да се примењују за мерење проточности порозног бетона, при чему се добија слаба корелација између *NCAT* и *ASTM* методе мерења.

Сонеби и Басуони (*Sonebi & Bassuoni*) [61] вршили су истраживања коефицијента водопропустљивости порозне бетонске мешавине са променљивим водоцементним фактором (табела 3.1). Анализирајући резултате испитивања (слика 3.28), аутори су закључили да са повећавањем запреминске масе у свежем стању и запреминске масе након 28 дана смањује коефицијент водопропустљивости на горњој и доњој површини испитивања.



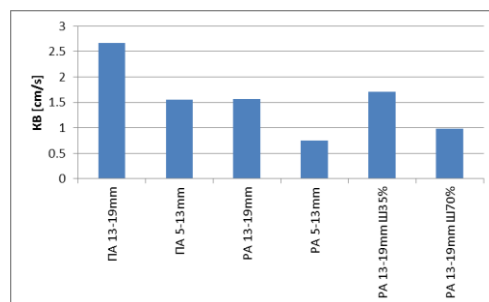
Слика 3.28 Зависност између коефицијента водопропустљивости и запреминске масе свежег бетона (лева) и коефицијента водопропустљивости од запреминске масе након 28 дана (десна) [61]

На слици 3.29 приказани су сумирани резултати зависности коефицијента водопропустљивости од порозности. Како се може видети, расипање резултата је велико и није могуће успоставити корелацију између порозности и коефицијента водопропустљивости. Може се уочити повећано расипање коефицијента водопропустљивости са порастом порозности.



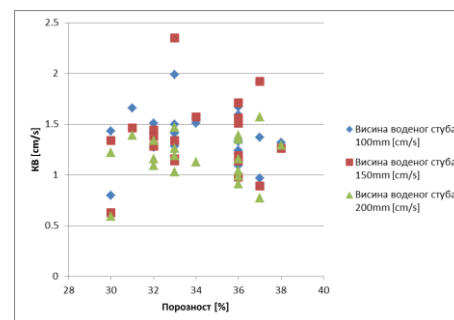
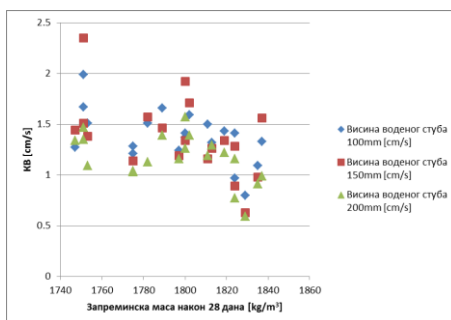
Слика 3.29 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности порозне бетонске мешавине [61]

Истраживања које је спровео *Sriravindrarajah* са сарадницама [65] се заснивало на коришћењу шљаке, као замене за цемент уз учешће рециклираног агрегата за справљање порозне бетонске мешавине (табела 3.1). Након извршених испитивања, приметно је да рециклирани агрегат утиче на смањење вредности коефицијента водопропустљивости (слика 3.30).



Слика 3.30 Резултати испитивања коефицијента водопропустљивости [65]

Утицај електрофилтерског пепела, као замене за цемент за израду порозног бетона истраживао је и Аоки (*Aoki*) [47]. Испитивање коефицијента водопропустљивости рађено је методом опадајућег нивоа воде и коришћене су три различите висине воденог стуба (слика 3.31). У анализираним резултатима запажа се да средња висина воденог стуба, 150 mm, има максималну вредност коефицијента водопропустљивости. На слици 3.31 лево је приказана зависност коефицијента водопропустљивости од запреминске масе након 28 дана, где се примећује мање расипање резултата са повећавањем запреминске масе.

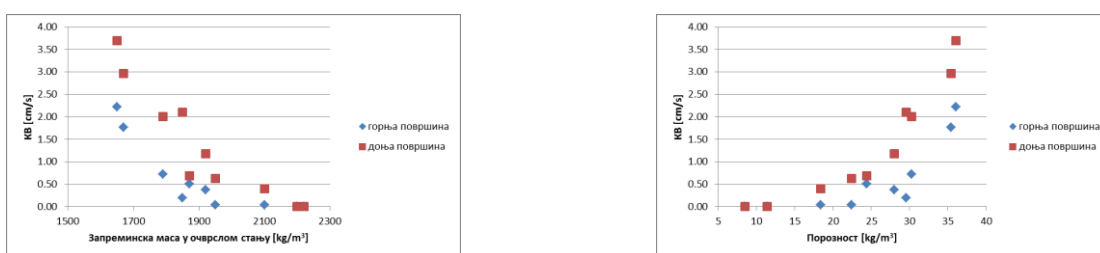




Слика 3.31 Зависност између коефицијента водопропустљивости и запреминске масе након 28 дана (лево); зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности (десно) [47]

На слици 3.31 десно је приказана зависност коефицијента водопропустљивости од порозности, где се уочава да није могуће успоставити поуздану корелацију између поменутих параметара. Повећавањем порозности до одређене границе долази до великог расипања резултата док даљим повећавањем долази до смањења вредности коефицијента водопропустљивости.

Каверн са сарадницима (*Kevern, et al.*) [20] је анализирао утицај коефицијента водопропустљивости на горњој и доњој површини порозног бетона са различитим врстама и фракцијама агрегата (табела 3.1). Резултати истраживања су приказани на слици 3.32. Анализом коефицијента водопропустљивости закључено је да са повећавањем запреминске масе долази до смањења коефицијента водопропустљивости док се са повећавањем порозности повећава коефицијент водопропустљивости.



Слика 3.32 Зависност коефицијента водопропустљивости од запреминске масе (лево); зависност коефицијента водопропустљивости од порозности (десно) [20]

Шафер са сарадницима (*Schaefer, et al.*) [9] истражио је порозне бетонске мешавине справљене са шљунком, кречњаком и лаким агрегатом заобљеног облика, учешћем различитих фракција (табела 3.1). Резултати истраживања су приказани на слици 3.33. Анализом резултата се може видети да постоји велико расипање резултата са повећавањем порозности (слика 3.33 лево).



Слика 3.33 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности (лево); зависност између коефицијента водопропустљивости и запреминске масе очврслог бетона (десно) [9]

На слици 3.33 десно је приказана зависност коефицијента водопропустљивости од запреминске масе, где се запажа повећано расипање резултата са смањивањем запреминске масе и није могуће успоставити корелацију између запреминске масе и коефицијента водопропустљивости.

## 3.8 ЗАКЉУЧАК

На основу анализираних истраживања физичко-механичких својстава порозног бетона, могу се извести следећи закључци:

- механичке карактеристике порозног бетона опадају са повећањем ефективног водоцементног фактора, тј. чврстоћа при притиску бетона справљеног са релативно високим водоцементним фактором (већим од 0,35), значајно опада;

- у већини случајева чврстоћа при притиску расте са повећањем учешћа ситног агрегата (песка) до 10%, а са даљим повећањем чврстоћа при притиску опада;
- учешће хемијских додатака (суперпластификатори, аерант, адитив за модификацију вискозитета) приликом справљања порозног бетона доводи до повећавања чврстоће при притиску, чак достиже вредности обичног (класичног) бетона;
- замена цемента са силикатном прашином у порозним бетонским мешавинама, у износу од 7%, доводи до повећања чврстоће при притиску;
- у случајевима коришћења лаког и рециклираног агрегата за израду порозног бетонског коловоза, чврстоћа при притиску може бити и до четири пута мања у односу на порозне бетонске мешавине од природног агрегата;
- примена минералних додатака типа летећег пепела или згуре не доприноси повећању чврстоће при притиску порозног бетона;
- чврстоћа при савијању порозног бетона може да буде приближно исте вредности као код обичног (класичног) бетона, приликом повећавања учешћа ситног агрегата (песка) до 50%;
- у случају замене природног агрегата рециклираним до 20%, односи чврстоће при савијању од рециклираног и природног агрегата бетона се налазе у границама од око 30%, са повећавањем количине рециклираног агрегата до 100% за пројектовање порозних бетонских мешавина, чврстоћа при савијању додатно опада за 20%;
- чврстоћа на затезање при цепању за порозне бетонске мешавине справљене од рециклираних и лаких агрегата, је мања до 30% у односу на порозне бетонске мешавине справљене од природних агрегата;
- употреба рециклираног агрегата за справљање порозне бетонске мешавине, повољно утиче на отпорност на хабање јер смањује губитак масе и до 60% у односу на порозне бетонске мешавине справљене од природних агрегата;
- примена минералних додатака типа електрофилтерског пепела или шљаке не доприноси смањењу отпорности на дејство хабања;
- отпорност на дејство мрза се смањује приликом коришћења рециклираних агрегата и хемијских додатака (аераната), чиме се поспешује да порозни бетон издржи што већи број циклуса одмрзавања и замрзавања;
- повећане вредности модула еластичности се постижу са бољом збијеношћу узорака, као и са већим процентом учешћа ситног агрегата (песка);
- у односу на порозне бетонске мешавине од природног агрегата, модули еластичности код порозних бетонских мешавина справљених од рециклираног агрегата имају и до 70% мању вредност;
- коефицијент водопропустљивости је већи при коришћењу рециклираног и лаког агрегата у односу на порозне бетонске мешавине са природним агрегатом, односно имају до 20% већу пропусност у односу на природне агрегате;
- замена крупног агрегата са ситним агрегатом доводи до смањења коефицијента водопропустљивости, а тиме и порозности, односно треба избегавати коришћење ситне фракције или је користити до 10% при чему се задржава задовољавајућа вредност коефицијента водопропустљивости.

Након анализе резултата и закључака до којих су дошли други аутори, садржај експерименталног дела ове дисертације је осмишљен тако да допринесе побољшању физичко-механичких својстава порозног бетонског коловоза, али са посебним нагласком на примену различитих врста



рециклираних и отпадних агрегата, различитих врста цемената, као и могућност замене дела цемента летећим пепелом.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА

Основни циљ експерименталног истраживања је одређивање чврстоће при притиску, чврстоће при савијању, отпорности на хабање, модула еластичности и коефицијента водопропустљивости порозних бетона са различитим садржајем рециклираног и природног агрегата у мешавини. Идеја је била да се анализира ефекат количине рециклираног агрегата и минералних додатака. Комплетно истраживање је спроведено у Лабораторији за испитивање грађевинских материјала, Департаман за грађевинарство и геодезију, Факултета техничких наука у Новом Саду.

### 4.1 ПРОГРАМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОГ ИСТРАЖИВАЊА

Овим програмом дефинисани су састави пробних порозних бетонских мешавина, димензије и број узорака за испитивање, услови неге, као и обим и врсте појединих испитивања. За реализацију планираних испитивања предвиђено је да се израде две групе бетона, у зависности од употребе врсте агрегата. Групе су означене на следећи начин:

- *PB P* – порозни бетон код којих је употребљен природни агрегат;
- *PB R* – порозни бетон код којих је употребљен рециклирани агрегат.

У оквиру сваке групе порозног бетона, вариране су врста и количина агрегата и минерални додаци на следећи начин:

- *CEM I 42.5R* (Беочинска фабрика цемента „LaFarge“) у количини 300-400 kg/m<sup>3</sup>;
- електрофилтерски пепео (ТЕ „Никола Тесла“ Б Обреновац – Србија) у циљу супституције дела цемента у количини од 25% од масе цемента.

За справљање свих бетонских мешавина коришћен је непроменљив водоцементни фактор од 0,35.

На основу дефинисаног програма истраживања, варирањем наведених параметара је направљено укупно 12 бетонских мешавина за компаративну анализу следећих својстава очврслог бетона:

- чврстоће при притиску након: 7, 28, 56 и 84 дана;
- чврстоће при савијању након: 28, 56 и 84 дана;
- отпорности на хабање;
- модула еластичности након: 28, 56 и 84 дана;
- водопропустљивости.

Потребан број и димензије узорака за набројана испитивања одређена су према одговарајућим стандардима. Од сваке врсте бетона израђени су следећи узорци:

- чврстоћа при притиску – 144 узорка облика коцке ивице 150 x 150 x 150 mm;
- чврстоћа при савијању – 108 призми димензије 100 mm x 100 mm x 400 mm;
- отпорност на хабање – 108 узорака облика коцке ивице 71 mm;
- модул еластичности – 36 цилиндара пречника 150 mm и висине 300 mm;
- водопропустљивост – коришћени су узорци од чврстоће при притиску.

За компактирање бетона је коришћена лабораторијска шипка. Након уградње, сви узорци су 24 часа неговани у калупима, прекривени *PVC* фолијом, затим су потопљени у воду и неговани на следећи начин:

- 27, 55 и 83 дана у води  $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$  (за испитивање чврстоће при притиску, чврстоће при савијању, отпорности на хабање, модула еластичности и водопропустљивости).

Укупан број справљених и испитаних узорака износи 396, а за њихову израду је утрошено приближно 1,1 m<sup>3</sup> бетона.

## 4.2 ПОДАЦИ О КОМПОНЕНТНИМ МАТЕРИЈАЛИМА

Бетон се производи само на бази претходно утврђене рецептуре, односно на бази пројекта бетонске мешавине, која треба да садржи све усвојене количине компонентних материјала. Компонентни материјали порозног бетона су:

- цемент (*CEM I 42.5 R*);
- агрегат (рециклирани и природни);
- минерални додаци (електрофилтерски пепео из ТЕ „Никола Тесла“ Б);
- вода.

### 4.2.1 Цемент

Провера физичких и механичких својстава цемента извршена је према стандардима *SRPS EN 196-1* [88], *SRPS EN 196-3* [89] и *SRPS EN 196-6* [90]. На основу добијених резултата закључено је да врста цемента (*CEM I 42.5R*, Беоцинска фабрика цемента „La Farge“) задовољава прописана физичко-механичка и механичка својства дефинисана у стандарду *SRPS EN 197-1* [91].

Карактеристични подаци о физичким својствима цемента приказани су у табели 4.1.

Табела 4.1 Физичка својства цемента

Врста испитивања		Резултати
Финоћа млива [%]		0.16
Стандардна конзистенција [%]		30
Време везивања	почетак везивања [min]	145
	крај везивања [min]	235
Сталност запремине (Le Chatelier) [mm]		1.0
Специфична површина [cm <sup>2</sup> /g]		4020
Специфична маса [g/cm <sup>3</sup> ]		3.1

Од механичких својстава урађено је испитивање чврстоће на затезање при савијању и чврстоће при притиску на узорцима цементног материјала. Резултати испитивања механичких својстава приказани су у табели 4.2.

Табела 4.2 Механичка својства цемента

Врста испитивања	Старост узорака [дани]		
	2	7	28
Чврстоћа при притиску [MPa]	30.66	48.02	57.08
Чврстоћа на затезање при савијању [MPa]	6.61	8.25	9.25

За свако механичко својство испитивано је по три узорка, односно у табели 4.2 је приказана средња вредност испитиваних узорака након одређене старости.

### 4.2.2 Агрегат

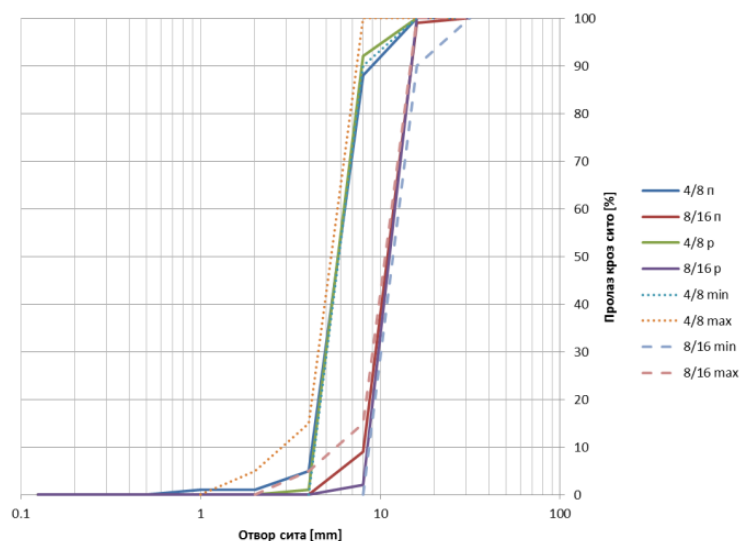
У оквиру експерименталних истраживања коришћен је природни и рециклирани агрегат. Под рециклираним агрегатом подразумевају се рециклиране контролне бетонске коцке (слика 4.1). Већински број коцки су биле марке 40 док је мали број коцки био МБ 35. Примењен природни агрегат је речни, при чему су коришћене две фракције (4/8 и 8/16 mm), добијене са сепарације „Карин-комерц МД“ Нови Сад.



Слика 4.1 Контролне бетонске коцке

Ово је добра симулација реалне ситуације из праксе где се у рециклажном постројењу дробе бетон различитог квалитета, а затим формирају мешавине рециклираног агрегата које се просејавају у фракције. Рециклирани агрегат је разврстан, као и природни агрегат у две фракције (4/8 mm и 8/16mm) и тако складиштен у џаковима. Након одређивања гранулометријског састава формирано је 12 мешавина, за две фракције крупног агрегата, чије су физичке и механичке карактеристике даље испитиване.

У припреми за просејавања агрегата спроведена је процедура узимања репрезентативног узорка, тј. четвртање агрегата [92]. Након тога извршено је сушење сваког узорка – по две фракције крупног природног и рециклираног агрегата. Одређивање гранулометријског састава извршено је методом сувог сејања, а линије просејавања природног и рециклираног крупног агрегата приказане су на слици 4.2.



Слика 4.2 Гранулометријски састав природног и рециклираног крупног агрегата

Са слике се може уочити садржај надмерених зрна за природни агрегат друге фракције. Садржи 1% надмерених зрна на сити 1 mm, што је и једино одступање свих приказаних фракција од референтних вредности.

#### 4.2.2.1 Облик зрна агрегата

Одређивање облика зрна природног и рециклираног агрегата обављено је методом индекса облика [93], а резултати испитивања су приказани у табели 4.3.

Табела 4.3 Индекс облика зрна агрегата

Врста агрегата	Природни агрегат		Рециклирани агрегат	
	Фракција	4/8	8/16	4/8
Остатак на ситима 4 и 8mm ( $M_1$ ) [g]	87.5	961.2	98.1	983.6
Зрна са $L/E > 3$ ( $M_2$ ) [g]	8.0	104.0	11	108.7
$SI = (M_2/M_1) * 100$ [%]	9.14	10.8	11.2	11.1
Категорија према ЕН 12620:2002	SI <sub>15</sub>	SI <sub>15</sub>	SI <sub>15</sub>	SI <sub>15</sub>

Изнаенађује сличност облика зрна ова два различита агрегата јер је познато да су зрна рециклираног агрегата, веће фракције, најчешће угласта, врло слична природном дробљеном агрегату [94]. Очигледно је да обе врсте агрегата имају минималне вредности индекса облика зрна које су дефинисане стандардом [95]. Фракције природног и рециклираног агрегата приказане су на слици 4.3.



Слика 4.3 Изглед зрна рециклираног и природног агрегата по фракцијама

#### 4.2.2.2 Стварна запреминска маса и упијање воде

Одређивање стварне запреминске масе и упијања воде природног и рециклираног агрегата, одређено је према важећим националним стандардима [96]. На основу методе дефинисаних мерења, срачунате су привидна запреминска маса ( $\rho_a$ ), запреминска маса у сувом стању ( $\rho_{rd}$ ) запреминске масе засићеног и површински сувог стања ( $\rho_{ssd}$ ) и упијање воде. Упијање воде је једна од најважнијих особина рециклираног агрегата јер је тај податак неопходан при пројектовању састава бетонских мешавина. Вредности резултата испитивања приказане су у табели 4.4.

Табела 4.4 Запреминска маса и упијање воде

Врста агрегата	Природни агрегат		Рециклирани агрегат	
	Фракција	4/8	8/16	4/8
Привидна запреминска маса ( $\rho_a$ ) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	2582	2659	2625	2636
Запреминска маса у сувом стању ( $\rho_{rd}$ ) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	2494	2602	2259	2303
Запреминска маса у засићеном и површински сувом стању ( $\rho_{ssd}$ ) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	2528	2624	2399	2429
Упијање воде (WA) [%]	1.35	0.83	6.16	5.48

Упијање воде је веће код рециклираног агрегата него код природног агрегата, и то износи око 78% код друге фракције, односно око 85% код треће фракције, што представља велико одступање. Разлике у запреминским масама нису значајне, крећу се од 0 до 12%.



#### 4.2.2.3 Отпорност на дробљење

Мера отпорности агрегата према дробљењу утврђена је методом испитивања *Лос Анђелес* [97]. Испитивање не обухвата дробљивост друге фракције. Резултати испитивања приказани су у табели 4.5.

Табела 4.5 Дробљивост агрегата

Врста агрегата	Природни	Рециклирани
Фракција	8/16	8/16
Дробљивост [%]	28.0	37.0

Дробљивост рециклираног агрегата је за око 25% већа него код природног агрегата, што је последица присуства старог цементног малтера у зрну рециклираног агрегата. Цементни малтер има нижу отпорност на дробљење у поређењу са зрном природног агрегата око кога се налази, па у просеку, зрна рециклираног агрегата имају већу дробљивост.

#### 4.2.2.4 Састојци у рециклираном агрегату

Применом рециклираног бетона, само порекло агрегата је другачије: уместо од природних депозита, агрегат је добијен од бетона контролних коцки. Дробљени рециклирани бетон се може користити као суви агрегат за нови бетон уколико је без загађивача. На основу методе испитивања [98] утврђено је да постоје малтерске и бетонске честице ( $R_c$ ), природни агрегат ( $R_u$ ), материјали на бази битумена ( $R_a$ ) и остале честице (шкољке, пластика, гума, дрво,...) (X). Резултати испитивања приказани су у табели 4.6.

Табела 4.6 Састојци у рециклираном агрегату

Фракција	4/8	8/16
$M_{RC}$ [%]	30.7	46.7
$M_{RU}$ [%]	66.4	51.8
$M_{RB}$ [%]	0	0
$M_{Ra}$ [%]	2.7	0
$M_{Rg}$ [%]	0	0
$M_X$ [%]	0.2	1.5
Укупно [%]	100	100
Врста РА према ЕН 12620	Тип Б	Тип Б

Учешће природног агрегата у рециклираном агрегату је највеће, што је било очекивано, јер агрегат учествује око 70% до 80% приликом справљања бетонске мешавине, а одмах после тога је учешће малтерских и бетонских честица. У малим траговима су се јавили агрегати на бази битумена и остали агрегати, односно уочене су шкољке. Обе фракције рециклираног агрегата припадају типу Б, што је утврђено важећим прописима [95].

#### 4.2.2.5 Утицај на време везивања

Време везивања је урађено стандардизованом методом (СРПС ЕН 1744-6), на основу које се узимају узорци воде из потопљеног рециклираног агрегата (РА) и дестиловане воде. Резултати испитивања су приказани у табели 4.7.

Табела 4.7 Време везивања

Својства	Дестилована вода	Вода из РА
Почетак везивања	3h 20min	3h 25min
Разлика	5min	
Категорија према ЕН 12620	А10 (разлика у времену везивања мања од 10min)	



На основу урађених испитивања максимална разлика између дестиловане воде и воде из рециклираног агрегата је 40 минута. Испитивањем је добијено да је разлика свега 5 минута што представља веома мали однос између анализе дестиловане воде и воде из РА. По стандарду [99] постоје две категорије времена везивања, односно А10 и А40, при чему број у ознаци представља разлику у времену везивања. Узорци припадају групи А10, односно потребно је доста мање времена везивања, табела 4.7.

#### 4.2.2.6 Количина везног малтера

Испитивање количине везног малтера није дефинисано прописима. Постоји неколико метода које су неки од истраживача користили, а најчешћа метода која се користи јесте употреба хлороводоничне киселине тзв. соне киселине [100]. Метода испитивања количине везива се врши узимањем узорака одређене количине у зависности од фракције која се испитује, након чега се потапају у хлороводоничну киселину. Након 72 сата, целокупно везиво спадне са агрегата, при чему се агрегат испере и просеје како би прошле честице везива (малтера). Мерењем масе агрегата без везива добија се колика је тежина везног малтера и на крају може да се изрази количина везног малтера који учествује за фракције. Добијени резултати су приказани у табели 4.8, где се запажа да су вредности количине везног малтера приближно једнаке за обе испитиване фракције.

Табела 4.8 Колична везног малтера

Фракција	4/8	8/16
Маса пре испитивања [g]	400.0	800.0
Маса чистог агрегата у сувом стању [g]	259.8	511.9
Маса везаног малтера [g]	140.2	288.1
Количина везаног малтера [%]	35.1	36.0

#### 4.2.3 Минерални додаци

Минерални додатак употребљен у овом истраживању је летећи пепео из Термоелектране „Никола Тесла“ Б. Пре употребе у бетонској мешавини, пепео је активиран механичким путем (млевењем), а затим просејан кроз сито отвора 0,125 mm. Извршено је испитивање хемијског и минералног састава електрофилтерског пепела, као и пуцоланска својства.

Хемијски састав пепела је приказан у табели 4.9. На основу анализе приметно је да пепео припада класи Ф по ASTM стандарду [101], односно упоређивањем резултата хемијског састава са EN стандардом, уочава се да припада групи кречњачког пепела [102].

Табела 4.9 Хемијски састав пепела

Учешће хемијских елемената [%]	1	2	3
Губитак жарењем на 950°C	6.66	6.88	7.94
SiO <sub>2</sub>	50.07	50.00	50.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.58	18.53	18.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.27	6.25	5.00
TiO <sub>2</sub>	0.51	0.50	0.52
CaO	11.16	11.20	11.50
MgO	1.40	1.39	1.24
Na <sub>2</sub> O	0.62	0.82	0.78
K <sub>2</sub> O	1.76	1.84	1.78
SO <sub>3</sub>	2.86	2.54	2.50
MnO	0.03	0.01	0.01

Пуцоланска својства пепела испитана су према стандарду СРПС Б.Ц1.018:2001 [103]. Према овом стандарду, пуцолански материјали су природни или вештачки, силикатне, силикоалуминатне,

силикокарбонатне супстанце или њихова комбинација. Пуцоланска својства пепела одређена преко механичких особина су најважнија код примене пепела уколико се користи за грађевинске материјале.

У зависности од најмање чврстоће при притиску и чврстоће на затезање при савијању, након седам дана израде епрувете, утврђују се класа пуцоланских материјала, како је приказано у табели 4.10.

Табела 4.10 Класа пуцоланских материјала

Класа	Називна чврстоћа [МПа]		Пуцоланска активност
	на затезање при савијању	при притиску	
5	2.0	5.0	позитивна после 15 дана
10	3.0	10.0	
15	4.0	15.0	

Испитивани узорци електрофилтерског пепела су приказани у табели 4.11. Наиме, испитивани узорци пепела који имају пуцоланска својства спадају у класу 15 пуцоланских материјала.

Табела 4.11 Испитивани узорци пепела

Називна чврстоћа	Бр. узорка	Резултати испитивања		
		Сила [кН]	Сила [кН]	Напон [МПа]
на затезање при савијању	1	6193	7047	8.72
	2	6178		
	3	5770		
при притиску	1-1	74	73.5	45.94
	1-2	71		
	2-1	72		
	2-2	72		
	3-1	74		
	3-2	78		

Поред урађених испитивања, урађена су и одређена испитивања физичких и механичких својстава на призмама са додатком пепела. У зависности од испитивања коришћена је одређена количина пепела, као замена за цемент, по стандарду СРПС ЕН 450-1 [104]. Карактеристичне вредности физичких својстава испитиваних узорака приказане су у табели 4.12.

Табела 4.12 Физичка својства пепела

Врста испитивања		Резултати
Финоћа млива [%]		1.3
Време везивања	почетак везивања [min]	310
	крај везивања [min]	490
Сталност запремине (Le Chatelier) [mm]		0.2
Индекс активности	након 28 дана [%]	100
	након 90 дана [%]	85.4

Анализирани подаци показују да финоћа млива припада категорији С, а остала испитивана својства (индекс активности, сталност запремине и време везивања) су у границама које прописује стандард.

#### 4.2.4 Вода

За справљање бетона користи се вода из градског водовода, па се може употребити без претходних испитивања.

### 4.3 САСТАВ БЕТОНСКИХ МЕШАВИНА

На основу полазних услова датих у програму експерименталних истраживања дефинисан је састав 12 бетонских мешавина. У табели 4.13 су дате ознаке и количине компонентних материјала за 1 m<sup>3</sup> порозних бетонских мешавина и срачуната вредност запреминске масе бетона.

Табела 4.13 Количине компонентних материја за 1m<sup>3</sup> порозне бетонске мешавине

Ознака	Маса цемента [kg/m <sup>3</sup> ] CEM I 42.5R	Вода [kg/m <sup>3</sup> ]		Агрегат [kg/m <sup>3</sup> ]				Летећи пепео [kg/m <sup>3</sup> ]	Запреминска маса [kg/m <sup>3</sup> ]
		m <sub>v</sub>	m <sub>v,dod</sub>	Рециклирани		Природни			
				4/8	8/16	4/8	8/16		
PB P4 – 0	400	140	-	-	-	1381	-	-	1921
PB P8 – 0	400	140	-	-	-	-	1381	-	1921
PB P4;8 – 0	400	140	-	-	-	898	483	-	1921
PB R4 – 0	400	140	75.27	1222	-	-	-	-	1837
PB R8 – 0	400	140	66.96	-	1222	-	-	-	1829
PB R4;8 – 0	400	140	72.37	794	428	-	-	-	1834
PB P4 – 25	300	128.71	-	-	-	1409	-	67.75	1906
PB P8 – 25	300	128.71	-	-	-	-	1409	67.75	1906
PB P4;8 – 25	300	128.71	-	-	-	916	493	67.75	1906
PB R4 – 25	300	128.71	76.88	1248	-	-	-	67.75	1822
PB R8 – 25	300	128.71	68.39	-	1248	-	-	67.75	1813
PB R4;8 – 25	300	128.71	73.91	811	437	-	-	67.75	1819

### 4.4 ИЗРАДА БЕТОНСКИХ МЕШАВИНА

Порозне бетонске мешавине су справљене у лабораторијској мешалици за бетон са вертикалном осовином, запремине 50 литара, произвођача ЗРМК – Љубљана. Време мешања компоненти бетона износило је 3 минута. Код свих рецептура са рециклираним агрегатом, претходно је квашен агрегат одређеном количином воде, и то у трајању од 1 дана, пре справљања порозних бетонских мешавина. Након тога, су справљане порозне бетонске мешавине. Температура бетона током справљања је приказана у табели 4.14.

Табела 4.14 Температура свежег бетона

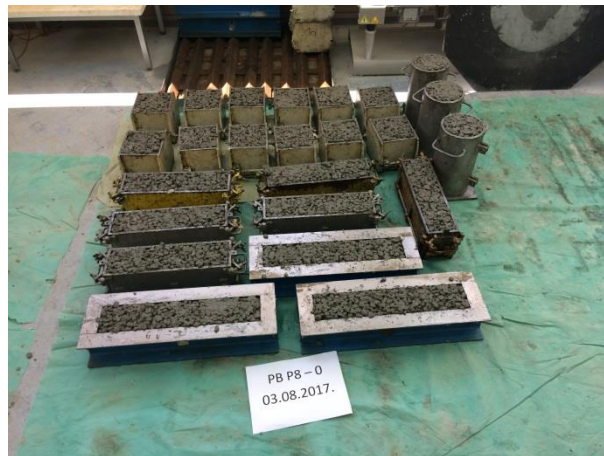
Ознака мешавине	Температура свежег бетона приликом справљања [°C]			Средња вредност температуре [°C]
	1	2	3	
PB P4 – 0	29.2	29.1	29	29.1
PB P8 - 0	29.7	29.5	29.3	29.5
PB P4;8 – 0	27.7	27.3	27.5	27.5
PB R4 – 0	27.5	24.9	25.3	25.9
PB R8 - 0	26.1	25.6	25.6	25.8
PB R4;8 – 0	23.5	22.9	23.3	23.2
PB P4 – 25	28.2	28.2	27.8	28.1
PB P8 – 25	27.8	27.5	27.4	27.6
PB P4;8 – 25	29.0	28.0	28.1	28.4
PB R4 – 25	26.6	27.7	27.3	27.2
PB R8 – 25	28.5	27.8	27.9	28.1
PB R4;8 – 25	26.1	25.6	25.5	25.7

Након измерене температуре свежег бетона, одређене су конзистенције порозних бетонских мешавина и потом су, уграђивањем у калупе, израђени узорци за испитивање својстава очврслих бетона. Компактирање се вршило помоћу шипке и мистрије јер коришћењем вибро-стола долази до додатног збијања и великог смањења пора, односно цементна паста пада на дно калупа. Узорци су рађени у два слоја и сабијани са по 15 удараца по слоју. Након компактирања узорци су држани у калупима 24 сата, а затим вађени из калупа и неговани у складу са одговарајућим режимом неге. Након вађења узорака из калупа, на свим узорцима је означена врста мешавине одређеном бојом, јер шупљине смањују видљивост исписаних карактеристика на узорку. Сваки узорак је обележен

различитом бојом како би се могли разликовати. На сликама 4.4 и 4.5 приказано је справљање бетонских мешавина и узорци након уграђивања у калупе.



Слика 4.4 Справљање бетонске мешавине



Слика 4.5 Бетон уграђен у калупе

## 4.5 ПОСТУПЦИ, ТОК ИСПИТИВАЊА И РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА

### 4.5.1 Својства свежег бетона

#### 4.5.1.1 Конзистенција

Конзистенција свежег порозног бетона одређена је методом слегања у складу са стандардом СРПС ЕН 12350-2 [105]. У табели 4.15 су приказани резултати одређивања конзистенције порозног бетона, а на слици 4.6 је приказан поступак одређивања конзистенције порозног бетона.

Табела 4.15 Вредности слегања и одређивање конзистенције

Ознака мешавине	Вредност слегања [mm]	Врста конзистенције
PB P4 - 0	10.0	S1
PB P8 - 0	5.0	S1
PB P4;8 - 0	5.0	S1
PB R4 - 0	1.0	S1
PB R8 - 0	3.0	S1
PB R4;8 - 0	15.0	S1
PB P4 - 25	0.0	S1
PB P8 - 25	1.0	S1
PB P4;8 - 25	2.0	S1
PB R4 - 25	2.0	S1
PB R8 - 25	8.0	S1
PB R4;8 - 25	0.0	S1



Слика 4.6 Мерење конзистенције методом слегања за бетоне PB P4-0 и PB R4-25

#### 4.5.1.2 Запреминска маса

Запреминска маса порозног бетона одређена је према стандарду СРПС ИСО 6276 [106] за све пројектоване мешавине. Средње вредности запреминске масе у свежем стању за сваку мешавину приказане су у табели 4.16.

Табела 4.16 Запреминска маса свежег бетона

Мешавина	Број узорка	$m_k$ [g]	$m_{k,pun}$ [g]	$m_{b,sv}$ [g]	$\gamma_{b,sv}$ [ $kg/m^3$ ]	$\gamma_{b,sv,sr,v}$ [ $kg/m^3$ ]
PB P4 – 0	1	9620	15700	6080	1801	1782
	2	9625	15610	5985	1773	
	3	9650	15625	5975	1770	
PB P8 – 0	1	9620	16185	6565	1945	1915
	2	9625	16150	6525	1933	
	3	9650	15945	6295	1865	
PB P4;8 – 0	1	9620	16290	6670	1976	2036
	2	9625	16615	6990	2071	
	3	9650	16605	6955	2061	
PB R4 – 0	1	9580	16440	6860	2033	1999
	2	9625	16125	6500	1926	
	3	9595	16470	6875	2037	
PB R8 – 0	1	9625	16930	7305	2164	2123
	2	9640	16670	7030	2083	
	3	9580	16740	7160	2121	
PB R4;8 – 0	1	9620	16038	6418	1902	1984
	2	9625	16740	7115	2108	
	3	9650	16200	6550	1941	
PB P4 – 25	1	9620	15545	5925	1756	1773
	2	9625	15690	6065	1797	
	3	9650	15615	5965	1767	
PB P8 – 25	1	9620	15655	6035	1788	1780
	2	9625	15555	5930	1757	
	3	9650	15710	6060	1796	
PB P4;8 – 25	1	9620	15595	5975	1770	1773
	2	9625	15570	5945	1761	
	3	9650	15685	6035	1788	
PB R4 – 25	1	9620	15850	6230	1846	1792
	2	9625	15565	5940	1760	
	3	9650	15625	5975	1770	
PB R8 – 25	1	9620	15460	5840	1730	1768
	2	9625	15695	6070	1799	
	3	9650	15640	5990	1775	
PB R4;8 – 25	1	9620	15600	5980	1772	1832
	2	9625	15970	6345	1880	
	3	9650	15875	6225	1844	



### 4.5.1.3 Порозност

Дат је приказ срачунатих вредности порозности у порозном бетону. Поступак срачунавања је једноставан и потребна је запреминска маса свежег бетона свих узорака како би се одредила прецизна порозност за сваки узорак посебно. Вредности срачунатих пора у свежем бетону приказане су у табели 4.17.

Табела 4.17 Садржај пора у свежем бетону

Врсте мешавина	Ознака узорака											
	Старост бетона - 7 дана			Старост бетона - 28 дана			Старост бетона - 56 дана			Старост бетона - 84 дана		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PB P4-0	25.52	24.59	24.96	26.13	23.97	26.13	26.56	26.87	25.95	31.69	26.69	26.26
PB P8-0	18.97	18.91	21.32	22.12	20.02	19.47	22.55	20.02	19.22	22.99	22.31	17.80
PB P4;8-0	17.68	17.74	14.04	16.75	13.98	13.73	17.43	15.77	16.20	16.57	13.48	14.16
PB R4-0	10.89	15.94	11.09	15.87	11.77	13.32	17.16	13.72	17.15	16.94	13.18	17.61
PB R8-0	4.73	6.68	8.43	4.93	8.03	9.56	6.06	7.42	9.12	5.60	8.05	8.09
PB R4;8-0	11.10	10.56	16.91	7.53	16.62	14.73	11.37	12.71	9.35	15.13	18.84	10.56
PB P4-25	19.47	21.37	22.19	19.88	16.89	17.57	18.99	15.39	16.48	18.93	17.23	18.72
PB P8-25	14.59	18.38	17.97	15.87	19.40	17.23	15.46	22.53	19.54	15.39	20.15	17.63
PB P4;8-25	18.79	16.21	19.40	19.20	23.82	17.57	17.09	21.17	15.19	21.37	21.85	17.97
PB R4-25	19.42	18.46	22.42	19.55	21.60	19.83	17.69	20.30	24.33	17.71	20.10	16.55
PB R8-25	23.39	22.37	21.96	20.25	22.58	17.66	16.63	18.96	17.52	16.16	21.35	13.08
PB R4;8-25	21.74	19.62	14.36	14.91	17.91	16.75	16.34	19.69	18.12	16.21	21.33	18.39

### 4.5.2 Својства очврслог бетона

Испитивање очврслог бетона обухватило је одређивање стандардних физичко-механичких својстава, која су већ споменута у претходним поглављима, а поред тога урађена су и додатна недеструктивна испитивања помоћу склерометра и ултразвука, односно одређена је површинска тврдоћа бетона и брзина продирања таласа кроз порозне бетонске коцке.

#### 4.5.2.1 Чврстоћа бетона при притиску

Чврстоћа бетона при притиску одређена је према стандарду СРПС ЕН 12390-3 на узорцима облика коцке са ивицом 15 cm при старости: 7, 28, 56 и 84 дана, као средња вредност чврстоћа добијених на три узорка, за сваку врсту бетона. Сила лома је одређена помоћу хидрауличне пресе капацитета 3000 kN, а брзина доношења оптерећења износила је  $0,8 \pm 0,2$  MPa/s.

Пре одређивања чврстоће бетона при притиску на истим узорцима испитивани су и: коефицијент водопропустљивости, димензије и маса узорака. Испитивање чврстоће при притиску је приказано на слици 4.7, а резултати мерења, сила лома и срачунате чврстоће при притиску за сваки узорак, приказани су у табелама од 4.18 до 4.29.



Слика 4.7 Одређивање чврстоће при притиску

Запреминска маса свежег бетона је срачуната према изразу:

$$\gamma_{b,sv} = \frac{m_{k,pun} - m_k}{V_k} = \frac{m_{b,sv}}{V_k} \quad 4.1$$

где је:

$m_k$ -маса празног калупа,

$m_{k,pun}$ -маса пуног калупа,

$m_{b,sv}$ -маса свежег бетона,

$V_k$ -запремина калупа (калуп облика коцке ивице 15 cm).

Чврстоћа при притиску је срачуната према изразу:

$$f_c = \frac{P}{A} * 10^3 \quad 4.2$$

где је:

$f_c$ -чврстоћа при притиску [MPa],

P-сила лома [kN],

A-површина бетонског узорка на коју делује сила [mm<sup>2</sup>].

Табела 4.18 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	$f_c$ [MPa]	$f_{c, sr}$ [MPa]
7	1	149.1	150.2	150.2	6212	1846.77	154.8	6.88	7.37
	2	149.6	149.2	149.8	6191	1851.61	173.0	7.69	
	3	149.7	151	149.5	6274	1856.54	169.5	7.53	
28	4	149	149	150	6159	1849.47	251.7	11.19	11.88
	5	149.3	149.8	151	6307	1867.56	278.6	12.38	
	6	149.5	150	105.2	6102	1811.63	271.7	12.08	
56	7	150	149.9	149.8	6101	1811.32	287.4	12.77	12.54
	8	150	149.7	151	6167	1818.80	271.8	12.08	
	9	150	149	150	6129	1828.19	287.5	12.78	
84	10	150	150	150.2	6118	1810.33	290.8	12.92	12.90
	11	150	150.1	150.1	6140	1816.84	285.5	12.69	
	12	150	150.2	150.2	6255	1848.40	294.3	13.08	

Табела 4.19 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	$f_c$ [MPa]	$f_{c, sr}$ [MPa]
7	1	150.5	149.9	149.5	6634	1966.96	312.9	13.91	12.33
	2	150.36	150.65	150.8	6621	1938.30	282.6	12.56	
	3	150.03	151	149.93	6449	1898.67	236.5	10.51	
28	4	150	149	149.5	6420	1921.39	264.2	11.74	13.54
	5	151	149.3	150.3	6604	1949.00	308.3	13.70	
	6	149	149	150.4	6620	1982.61	341.7	15.19	
56	7	150	150	149.7	6393	1898.02	288.3	12.81	14.34
	8	150	150	150	6655	1971.85	328.4	14.60	
	9	150	149	149.6	6594	1972.15	351.2	15.61	
84	10	149.8	150	150	6369	1889.63	289.4	12.86	14.64
	11	150	150	150	6416	1901.04	335.8	14.18	
	12	150.2	150.1	150.05	6809	2012.78	362.7	16.12	

Табела 4.20 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4;8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	149.3	152	150	6805	1999.10	367.1	16.32	15.07
	2	149.2	149.1	149.8	6799	2040.27	269	11.96	
	3	149.1	149.2	149.8	7075	2123.09	380.9	16.93	
28	4	150	149.2	149.8	6893	2056.06	355.4	15.80	19.41
	5	150.1	149.2	149.8	7105	2117.89	499	22.18	
	6	151	150.3	150.1	7109	2086.85	455.7	20.25	
56	7	150	148.7	150	6961	2080.55	375.2	16.68	20.18
	8	151	149	149.5	6822	2028.18	502.1	22.32	
	9	149.3	149.7	150	6937	2069.18	485.0	21.56	
84	10	150	149.5	148.9	6881	2060.75	382.1	16.98	20.46
	11	150.1	150	150.2	7110	2102.46	508.6	22.60	
	12	150	150	150	7182	2128.00	490.3	21.79	

Табела 4.21 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	149.8	150.3	150.1	6570	1944.08	471.2	20.94	19.98
	2	149.8	149.9	150.2	6545	1940.56	435.3	19.35	
	3	149.9	150.3	150.1	6460	191.03	441.9	19.64	
28	4	149.4	149.5	151	6785	2011.78	575.7	25.59	26.85
	5	149.1	148.3	149.6	6885	2081.39	645.2	28.68	
	6	150	149.6	151	6625	1955.18	591.3	26.28	
56	7	150	150	150	7000	2074.07	612.4	27.22	27.56
	8	149.3	149.7	150.3	6910	2057.02	592.1	26.32	
	9	150	149	150	6503	1939.75	655.9	29.15	
84	10	149.7	150	150	7008	2080.61	634.0	28.18	28.12
	11	149	149.7	150	6714	2006.70	662.1	29.43	
	12	150	149	149.3	6685	2003.38	602.1	26.76	

Табела 4.22 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	149.8	150.3	150.1	6925	2049.12	520.4	23.13	20.85
	2	149.8	149.9	150.2	7065	2094.73	453.3	20.15	
	3	149.9	150.3	150.1	6800	2010.79	433.5	19.27	
28	4	149.9	149.7	150	6956	2066.55	570.6	25.36	24.12
	5	148	149.9	150.3	7090	2126.30	552.1	24.54	
	6	150.1	151	149	6954	2059.16	505.3	22.46	
56	7	150	149.8	150.1	7000	2075.46	589.3	26.19	24.92
	8	150	150.6	151.3	6892	2016.46	573.2	25.48	
	9	151.3	149.5	150.2	6865	2020.65	519.8	23.10	
84	10	150	150	150	7412	2196.15	593.4	26.37	25.10
	11	149.9	150	151	7255	2136.82	578.5	25.71	
	12	150	149.8	150	7128	2114.82	522.1	23.20	

Табела 4.23 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4;8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	150	150	151	6625	1949.96	438.3	19.48	20.50
	2	150.1	150	149.6	6955	2064.87	519.7	23.10	
	3	149.9	150.1	150	7030	2082.96	425.7	18.92	
28	4	149.2	150	149.5	6667	1992.64	574.7	25.54	24.79
	5	149.5	149.8	150	6828	2032.59	534	23.73	
	6	148.9	150.1	150	6400	1909.03	564.5	25.09	
56	7	150.1	150.3	149.9	6857	2027.65	592.3	26.32	25.71
	8	149.3	149.5	149	6541	1966.78	545.7	24.25	
	9	149.3	149.1	150.3	7185	2147.49	597.4	26.55	
84	10	149	149.5	151	6953	2067.13	602.3	26.77	26.01
	11	150	149.2	150	6914	2059.58	552.4	24.55	
	12	148.5	149	149.9	6977	2103.56	601.2	26.72	



Табела 4.24 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	Р [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	149.3	149.4	150	6071	1814.51	143.3	6.37	5.12
	2	149.5	149.9	150.3	5843	1734.74	120.3	5.35	
	3	149.5	149	150	5882	1760.38	81.8	3.64	
28	4	149	151.2	150.3	6052	1787.32	195.6	8.69	9.16
	5	151.2	151.3	150.8	6272	1818.08	227.2	10.10	
	6	150.8	151.3	149.9	6105	1785.02	195.3	8.68	
56	7	149.1	148.5	149.7	6273	1892.56	206.8	9.19	9.71
	8	149.3	149	150	6300	1888.01	238.5	10.60	
	9	150	149.8	149	6409	1914.26	210.1	9.34	
84	10	150	150	150	6127	1815.41	210.8	9.37	9.91
	11	149.8	150.1	150.1	6092	1805.04	243.5	10.82	
	12	150.1	150	150	6288	1861.87	214.6	9.54	

Табела 4.25 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	Р [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	151	149.2	149	6317	1881.82	179.4	7.97	4.97
	2	150	150	149.8	6027	1788.16	58.8	2.61	
	3	149.2	150.1	149.8	6290	1874.95	97.5	4.33	
28	4	150.4	149.6	150.1	6122	1812.73	211.5	9.40	7.21
	5	151	151.2	149.2	6033	1771.07	119.5	5.31	
	6	149.2	149	150.7	6310	1883.48	155.8	6.92	
56	7	150.1	149.9	150	6113	1811.26	248.8	11.06	8.19
	8	150	148.9	149	5784	1738.03	134.5	5.98	
	9	151	149.5	149	6174	1835.53	169.8	7.55	
84	10	149.5	149	150.1	6145	1837.87	262.4	11.66	8.56
	11	150.1	149.9	148.9	5939	1772.70	142.1	6.32	
	12	150	150.3	150.7	6190	1821.91	173.1	7.69	

Табела 4.26 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4;8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	Р [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	149.3	149.5	150.1	6111	1824.02	141.5	6.29	6.45
	2	149.8	149.6	150	6297	1873.26	184.3	8.19	
	3	149	149.4	150.8	6057	1804.34	109.3	4.86	
28	4	149.3	149.5	150	6222	1858.39	175.6	7.80	7.83
	5	149.8	148.8	151.2	5743	1704.01	141.9	6.31	
	6	150.7	150.2	150	6100	1796.62	210.9	9.37	
56	7	149.8	149.5	149	5960	1786.10	182.7	8.12	8.19
	8	150.1	151	150.4	6391	1874.84	148.3	6.59	
	9	151	150.2	150	6261	1840.37	221.7	9.85	
84	10	150	150.1	149.5	5870	1743.91	186.8	8.30	8.37
	11	150	149	150	6160	1837.43	151.3	6.72	
	12	150	150	150.1	5876	1739.88	226.7	10.08	

Табела 4.27 Чврстоћа бетона при притиску за РВ Р4-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	Р [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	151	149.9	150	6370	1876.16	303.7	13.50	13.00
	2	150.3	149.8	149.9	6295	1865.19	310.5	13.80	
	3	150	150	151	6085	1791.02	263.3	11.70	
28	4	150	149.6	150.8	6325	1869.12	385.6	17.14	16.07
	5	149.2	149.1	149	5979	1803.83	326	14.49	
	6	150.5	150	149.3	6291	1866.52	373.1	16.58	
56	7	149.8	150.2	149.7	6517	1934.84	397.2	17.65	16.48
	8	150.1	150.2	149.2	6450	1917.52	333.8	14.84	
	9	148.9	149.3	149	6164	1860.89	381.7	16.96	
84	10	149	148.5	150	6440	1940.36	402.1	17.87	16.84
	11	149.8	150	150.5	6265	1852.60	339.2	15.08	
	12	150	150	150	6337	1877.63	395.2	17.56	

Табела 4.28 Чврстоћа бетона при притиску за РВ R8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	Р [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	150	150	150	5930	1757.04	207.3	9.21	10.65
	2	150.3	150	150	6000	1774.23	239.2	10.63	
	3	150	150	151	6025	1773.36	272.6	12.12	
28	4	149.2	149.3	149	6336	1908.98	380.9	16.93	16.15
	5	150	149.1	150.1	6003	1788.21	315.4	14.02	
	6	149.3	149.8	150.6	6172	1832.44	393.9	17.51	
56	7	150.2	149.8	150	6374	1888.60	392.9	17.46	17.21
	8	149.9	149.9	150.2	6282	1861.34	347.5	15.44	
	9	149.8	150.1	150.1	6453	1912.00	421.3	18.72	
84	10	150	149	150	6503	1939.75	420.0	18.67	17.96
	11	150	150	149.8	6125	1817.24	360.0	16.00	
	12	150	150	149.5	6733	2001.64	432.0	19.20	

Табела 4.29 Чврстоћа бетона при притиску за РВ R4;8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	Р [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
7	1	150.3	150.5	150.8	6105	1789.74	243.3	10.81	14.21
	2	150.8	150.8	150.8	6250	1820.12	290.2	12.90	
	3	150.2	150.6	150.3	6625	1948.64	425.9	18.93	
28	4	150	151	149	6614	1959.79	497.7	22.12	19.14
	5	149.3	150.3	149.2	6439	1923.23	374.3	16.64	
	6	149	150.1	149	6476	1943.36	420	18.67	
56	7	150	150	149.9	6411	1900.82	517.7	23.01	19.93
	8	149.8	149.9	149.9	6546	1944.74	389.9	17.33	
	9	150.1	150.2	150.1	6281	1856.08	437.5	19.44	
84	10	150	150	150	6191	1834.37	520.2	23.12	20.12
	11	150	151	150	6430	1892.57	395.6	17.58	
	12	150	150	150.2	6563	1942.00	442.2	19.65	

#### 4.5.2.2 Чврстоћа бетона при савијању

Чврстоћа бетона при савијању одређена је према стандарду СРПС ЕН 12390-5 [107] на узорцима облика призме димензија 10 cm x 10 cm x 40 cm, односно 10 cm x 10 cm x 50 cm. Приликом израде узорака, коришћено је шест калупа димензија 10 cm x 10 cm x 40 cm и три калупа димензија 10 cm x 10 cm x 50 cm. Испитивање је обављено при старости: 28, 56 и 84 дана и срачуната је средња вредност чврстоће при савијању на основу испитивања три узорка, за сваку врсту порозног бетона. Непосредно пре испитивања одређене су димензија и масе узорака. Резултати испитивања су приказани у табелама од 4.30 до 4.41, а метода испитивања чврстоће бетона при савијању приказана је на слици 4.8.



Слика 4.8 Одређивање чврстоће бетона при савијању

Чврстоћа бетона при савијању израчуната је према следећем изразу:

$$f_{cf} = \frac{3 * F * l}{2 * d_1 * d_2^2}$$

4.3

где је:

$f_{cf}$ - чврстоћа при савијању [MPa],

F- сила лома [N],

l- растојање [mm],

$d_1$  и  $d_2$ - мере попречног пресека [mm].

Табела 4.30 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	$f_c$ [MPa]	$f_{c, sr}$ [MPa]
28	1	400	101	101	8060	1975.30	6.8	3.06	2.87
	2	400.5	102	101	8028	1945.73	6.06	2.73	
	3	401.4	101.8	102	7960	1909.80	6.26	2.82	
56	4	400	100	101	7819	1935.40	6.36	2.86	2.95
	5	400	100	100	8087	2021.75	6.39	2.88	
	6	400	100	100	8446	2111.50	6.91	3.11	
84	7	500	100	100.2	10111	2018.16	7.18	3.23	3.01
	8	500	101	100	10002	1980.59	6.43	2.89	
	9	500	99.7	100	9596	1924.97	6.47	2.91	

Табела 4.31 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	$f_c$ [MPa]	$f_{c, sr}$ [MPa]
28	1	400	100	101	8060	1995.05	5.03	2.26	2.24
	2	401	100	101	8435	2082.66	4.98	2.24	
	3	400.5	100	100.5	8319	2066.82	4.92	2.21	
56	4	400	100	99.8	8510	2131.76	5.32	2.39	2.37
	5	399.9	99	99.9	8268	2090.49	5.24	2.36	
	6	400	100	100	7891	1972.75	5.22	2.35	
84	7	500	100	100	10390	2078.00	5.47	2.46	2.43
	8	499	100	100	10464	2096.99	5.37	2.42	
	9	499	100	100	10070	2018.04	5.34	2.40	

Табела 4.32 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4;8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	400	100	101	8128	2011.88	4.62	2.08	2.53
	2	400	101	100	8217	2033.91	6.24	2.81	
	3	400	100	99	8582	2167.17	6.00	2.70	
56	4	499.8	101	100.7	10636	2092.34	4.83	2.17	2.72
	5	500.7	100.5	100.3	10880	2155.68	6.53	2.94	
	6	500	100	100	11114	2222.80	6.75	3.04	
84	7	400	100	100	8619	2154.75	4.98	2.24	2.82
	8	400	100	100	8698	2174.50	6.74	3.03	
	9	400	100	100	8994	2248.50	7.05	3.17	

Табела 4.33 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	400	100.5	100	7760	1930.35	8.43	3.79	4.22
	2	400	100	100	7690	1922.50	8.91	4.01	
	3	400	100	100	8235	2058.75	10.78	4.85	
56	4	400	100	100	7991	1997.75	10.85	4.88	4.47
	5	400	99.9	99.8	7676	1924.77	8.99	4.05	
	6	400	100	100	8930	2232.50	9.93	4.47	
84	7	500	100	100	10477	2095.40	10.20	4.59	4.61
	8	500	99.8	101	10301	2043.89	11.10	4.99	
	9	499	99	100	10206	2065.95	9.41	4.23	

Табела 4.34 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	400	100	100	8271	2067.75	8.27	3.72	3.78
	2	400	100	100	7690	1922.50	8.53	3.84	
	3	400	100	100	8235	2058.75	8.43	3.79	
56	4	401	101	100	8262	2039.95	8.65	3.89	3.98
	5	401	101	100	8409	2076.25	9.01	4.05	
	6	500	100	100	10272	2054.40	8.85	3.98	
84	7	400	100	100	8509	2127.25	8.82	3.97	4.03
	8	500	100	100	10976	2195.20	9.12	4.10	
	9	500	100	100	10101	2020.20	8.93	4.02	

Табела 4.35 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4;8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	400	101	99.9	8149	2019.10	8.90	4.01	4.02
	2	400	101	99.8	8038	1993.59	8.96	4.03	
	3	400	99.9	100	8337	2086.34	8.92	4.01	
56	4	400	100	100	8392	2098.00	9.32	4.19	4.23
	5	400	101	101	8509	2085.33	9.45	4.25	
	6	400	100	99	8331	2103.79	9.42	4.24	
84	7	500	100	101	9917	1963.76	9.54	4.29	4.31
	8	500	101	101	9663	1894.52	9.63	4.33	
	9	499	100	101	9863	1956.98	9.59	4.32	

Табела 4.36 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	400	100	100	7735	1933.75	5.5	2.48	2.22
	2	401	100	101	7570	1869.09	4.72	2.12	
	3	401	100	100	7572	1888.28	4.61	2.07	
56	4	499	100	99	9688	1961.09	6.01	2.70	2.76
	5	500	100	100	9523	1904.60	6.07	2.73	
	6	500	99	99	9690	1977.35	6.32	2.84	
84	7	400	101	100	7668	1898.02	6.88	3.10	2.95
	8	400	99.8	100	7409	1855.96	6.45	2.90	
	9	399.8	100	100	7617	1905.20	6.35	2.86	

Табела 4.37 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	400	101	100	7736	1914.85	6.23	2.80	3.06
	2	400	100	100	7931	1982.75	7.02	3.16	
	3	400	100	99	8162	2061.11	7.12	3.20	
56	4	401	101	101	10070	2461.74	6.58	2.96	3.24
	5	400	100	101	9435	2335.40	7.32	3.29	
	6	400	99	99	9975	2544.38	7.68	3.46	
84	7	400	100	100	7610	1902.50	6.99	3.15	3.45
	8	400	100	100	8014	2003.50	7.87	3.54	
	9	400	100	100	7978	1994.50	8.12	3.65	

Табела 4.38 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4;8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	400	100	100	7371	1842.75	6.17	2.78	2.81
	2	400	100	99	7756	1958.59	6.44	2.90	
	3	400	100	101	7777	1925.00	6.12	2.75	
56	4	500	100	100	9502	1900.40	6.55	2.95	2.99
	5	500	100	100	9134	1826.80	6.99	3.15	
	6	500	100	100	9522	1904.40	6.41	2.88	
84	7	401	100	100	7953	1983.29	6.83	3.07	3.14
	8	400	99	100	7588	1916.16	7.23	3.25	
	9	400	100	100	7698	1924.50	6.90	3.11	

Табела 4.39 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	400	100	101	7764	1921.78	7.31	3.29	3.22
	2	400.3	100	101	8009	1980.94	7.23	3.25	
	3	400.3	100	100.5	7771	1931.64	6.95	3.13	
56	4	401	101	101	7837	1915.86	7.87	3.54	3.44
	5	400	100	101	7884	1951.49	7.72	3.47	
	6	400	99	99	7891	2012.80	7.35	3.31	
84	7	500	100	100	9093	1818.60	8.45	3.80	3.75
	8	499	99.8	100	9184	1844.17	8.35	3.76	
	9	499	100	100	9352	1874.15	8.21	3.69	

Табела 4.40 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	401	100	102	7944	1942.20	6.29	2.83	2.90
	2	402	100	102	7625	1859.57	5.84	2.63	
	3	401	99.6	101	7956	1972.29	7.18	3.23	
56	4	401	100	99.8	7836	1958.03	6.51	2.93	3.19
	5	400	99.8	100	7823	1959.67	7.23	3.25	
	6	401	100	100	7737	1929.43	7.54	3.39	
84	7	499	101	100	10095	2003.02	7.22	3.25	3.45
	8	500	100	99	9854	1990.71	7.78	3.50	
	9	500	100	100	9999	1999.80	7.98	3.59	

Табела 4.41 Чврстоћа бетона при савијању за РВ Р4;8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Дужина [mm]	Ширина [mm]	Висина [mm]	Маса [g]	Зап. маса [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>c</sub> [MPa]	f <sub>c, sr</sub> [MPa]
28	1	400	100	101	8219	2034.41	8.93	4.02	3.71
	2	400	99	99	7842	2000.31	6.72	3.02	
	3	400.5	101	100	8249	2039.28	9.06	4.08	
56	4	400	100	99.7	8276	2075.23	10.36	4.66	4.32
	5	400	100	100	8312	2078.00	9.62	4.33	
	6	401	100	99.8	8339	2083.72	8.82	3.97	
84	7	500	100	100	9810	1962.00	10.51	4.73	4.45
	8	501	100	99	10281	2072.82	9.98	4.49	
	9	500	100	101	10534	2085.94	9.17	4.13	

**4.5.2.3 Отпорност на хабање**

Отпорност на хабање је испитана помоћу методе широког точка. Уређај се састоји од широког точка за хабање, левка за складиштење са једним контролним вентилом, који регулише проток абразивног материјала, левка за усмеравање протока, држача узорка и контратега како је приказано на слици 4.9. Испитивање је обављено у складу са одредбама стандарда СРПС ЕН 1338:2009 [108] на призматичним узорцима димензија 100 mm x 100 mm x 70 mm. Страна на којој се испитује узорак је равна, а површина се прекрива бојом (маркером) како би се извршило мерење удубљења. Потом се узорак ставља у апаратуру и примакне се тако да додирује широки точак за хабање. Димензије удубљења се мере након достигнутих 75 обртаја, који се постигну за  $60 \pm 3s$ . Резултати испитивања отпорности на хабање су приказани у табелама од 4.42 до 4.53.



Слика 4.9 Испитивање хабања помоћу широког точка

Табела 4.42 Отпорност на дејство хабања за мешавину РВ Р4-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	19.63	19.78	19.72	19.91	I
	2	19.91	17.32	15.09		
	3	19.29	17.22	19.52		
56	4	20.00	18.00	15.00	20.00	I
	5	19.87	19.87	19.87		
	6	19.50	19.80	19.90		
84	7	14.47	15.38	15.37	19.82	I
	8	13.80	16.39	19.82		
	9	0.00	9.32	18.07		

Табела 4.43 Отпорност на дејство хабања за мешавину РВ Р8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	19.36	19.36	17.78	19.98	I
	2	19.98	19.53	17.74		
	3	19.72	15.88	0.00		
56	4	15.03	19.00	19.80	19.80	I
	5	14.00	16.50	19.60		
	6	17.00	17.00	18.50		
84	7	16.00	16.00	16.00	19.90	I
	8	14.68	15.28	19.90		
	9	14.70	14.70	14.70		

Табела 4.44 Отпорност на дејство хабања за мешавину РВ Р4;8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	19.35	18.00	14.27	19.91	I
	2	19.53	17.64	10.9		
	3	19.91	15.00	16.19		
56	4	0.00	17.00	19.00	19.90	I
	5	15.89	15.89	19.90		
	6	18.70	18.70	17.92		
84	7	16.32	16.81	19.94	19.94	I
	8	19.13	19.13	19.13		
	9	19.87	18.84	17.70		

Табела 4.45 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R4-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	15.25	15.22	15.22	15.78	I
	2	15.78	15.75	15.75		
	3	15.58	15.58	15.58		
56	4	19.38	18.36	18.90	20.10	H
	5	6.48	15.29	19.52		
	6	14.69	16.51	20.10		
84	7	19.10	19.10	19.10	19.80	I
	8	19.50	19.50	19.80		
	9	19.00	18.90	19.00		

Табела 4.46 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	16.01	15.95	16.23	16.25	I
	2	16.23	16.02	16.05		
	3	16.25	16.12	16.05		
56	4	19.08	19.08	19.08	19.85	I
	5	17.83	19.74	13.53		
	6	19.85	18.12	17.01		
84	7	18.00	18.50	18.50	19.90	I
	8	18.30	18.30	18.30		
	9	17.00	18.00	19.90		

Табела 4.47 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R4;8-0

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	16.98	16.25	17.4	19.82	I
	2	16.08	19.47	16.08		
	3	19.82	18.32	19.21		
56	4	19.53	19.96	19.01	19.96	I
	5	19.72	18.38	15.84		
	6	18.12	19.53	19.53		
84	7	15.00	17.40	19.80	19.92	I
	8	15.00	15.30	19.00		
	9	16.30	17.00	19.92		

Табела 4.48 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB R4-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	15.57	19.18	18.19	19.69	I
	2	10.12	16.59	19.69		
	3	19.27	15.64	13.42		
56	4	17.98	17.98	17.98	19.87	I
	5	19.87	19.87	17.00		
	6	16.89	16.89	17.85		
84	7	16.17	17.85	19.01	19.89	I
	8	19.79	19.79	19.79		
	9	19.89	19.63	16.65		

Табела 4.49 Отпорност на дејство хабања за мешавину PB P8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	19.37	19.64	19.99	19.99	I
	2	19.19	19.51	11.48		
	3	19.11	19.45	19.48		
56	4	18.21	18.21	18.21	19.00	I
	5	18.30	17.20	18.30		
	6	19.00	19.00	19.00		
84	7	18.89	18.88	18.88	18.94	I
	8	0.00	0.00	16.32		
	9	16.93	18.94	17.49		



Табела 4.50 Отпорност на дејство хабања за мешавину РВ Р4;8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	16.40	19.48	19.48	19.63	I
	2	19.63	19.63	17.07		
	3	17.58	19.32	17.74		
56	4	19.78	18.78	18.78	19.92	I
	5	16.50	17.50	19.92		
	6	19.00	17.80	18.70		
84	7	16.13	18.70	19.90	19.90	I
	8	17.50	17.50	17.50		
	9	16.78	16.78	16.78		

Табела 4.51 Отпорност на дејство хабања за мешавину РВ Р4-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	19.91	19.99	14.37	20.00	I
	2	19.18	20.00	19.47		
	3	19.52	18.54	18.43		
56	4	17.60	17.60	19.40	19.55	I
	5	19.53	16.28	16.76		
	6	19.55	18.40	15.41		
84	7	18.35	18.35	19.80	19.85	I
	8	16.75	17.70	19.85		
	9	19.50	19.50	19.50		

Табела 4.52 Отпорност на дејство хабања за мешавину РВ Р8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	18.09	18.17	16.22	20.00	I
	2	15.02	19.96	20.00		
	3	18.82	15.05	18.04		
56	4	19.35	19.57	19.90	19.90	I
	5	11.33	16.56	19.57		
	6	19.87	18.76	17.23		
84	7	19.98	19.98	19.98	19.98	I
	8	19.07	19.07	19.07		
	9	19.96	19.96	19.96		

Табела 4.53 Отпорност на дејство хабања за мешавину РВ Р4;8-25

Старост [дани]	Ознака узорка	Ширина хабајуће површи [mm]			Максимална дубина удубљења [mm]	Категорија
		Лево	Средина	Десно		
28	1	17.02	19.80	19.73	20.14	H
	2	15.93	18.96	20.14		
	3	18.7	19.04	18.59		
56	4	16.01	18.00	19.87	19.87	I
	5	19.02	19.02	16.58		
	6	19.09	19.09	19.09		
84	7	18.09	18.09	18.09	19.61	I
	8	18.09	18.09	18.09		
	9	8.41	13.63	19.61		

#### 4.5.2.4 Модул еластичности

##### 4.5.2.4.1 Статички модул еластичности

Статички модул еластичности је одређен према стандарду СРПС ИСО 6784 на цилиндрима пречника 150 mm и висине 300 mm, при старости бетона од: 28, 56 и 84 дана. Репрезентативна вредност модула еластичности за сваку врсту бетона одређена је као средња вредност модула еластичности добијених мерењем напона и деформација на сва три цилиндра. За наношење оптерећења (притиска) употребљена је хидраулична преса капацитета 400 kN и 4000 kN, а брзина наношења оптерећења износила је  $0,6 \pm 0,2$  MPa/s. За мерење деформација коришћени су екстензометри



тачности 0,001 mm са мерним базама 250 mm. Поступак одређивања статичког модула еластичности састоји се из следећих фаза:

- одређивање чврстоће бетона при притиску на основу које се одређује горња граница оптерећења  $\sigma_a = f_{c,28}/3$ , док се за доњу границу усваја оптерећење при ком долази до деформације од 0,01 mm;
- постављање узорка за испитивање у пресу након чега се изводе три циклуса оптерећења и растерећења узорка (елиминисање нееластичних деформација);
- оптерећење и растерећење узорка у два циклуса и регистровање силе, односно деформације при доњем и горњем нивоу оптерећења.

Испитивање модула еластичности приказано је на слици 4.10, а резултати испитивања за све врсте порозних бетона приказани су у Нумеричком прилогу дисертације.



Слика 4.10 Одређивање статичког модула еластичности

#### 4.5.2.4.2 Динамички модул еластичности

Динамички модул еластичности одређен је на основу брзине ултразвука и запреминске масе бетона (слика 4.11).



Слика 4.11 Одређивање динамичког модула еластичности

Брзина ултразвука је добијена мерењем времена потребног да ултразвучни талас прође кроз бетонски узорак познате дужине. Мерење је обављено помоћу ултразвучног апарата *Pundit* са сондама фреквенције 82 kHz на истим узорцима на којима је одређен статички модул еластичности (пречника 150 mm и висине 300 mm). Резултати мерења приказани су у табелама од 4.54 до 4.65.

Табела 4.54 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ Р4-0

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	149.9	299.9	10643.4	2010.99	3250	21.24	20.91
	2	149.9	300.0	10706.0	2022.15	3210	20.84	
	3	150.0	300.0	10458.6	1972.79	3235	20.65	
56	1	149.9	299.9	10643.4	2010.99	3680	27.23	26.64
	2	149.9	300.0	10706.0	2022.15	3641	26.81	
	3	150.0	300.0	10458.6	1972.79	3621	25.87	
84	1	149.9	299.9	10643.4	2010.99	3624	26.41	26.75
	2	149.9	300.0	10706.0	2022.15	3655	27.01	
	3	150.0	300.0	10458.6	1972.79	3688	26.83	

Табела 4.55 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ Р8-0

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	150.0	300.0	9618.0	1814.22	4106	30.59	29.57
	2	150.0	299.0	9447.0	1787.93	3968	28.15	
	3	151.0	300.0	9716.2	1808.55	4071	29.97	
56	1	150.0	300.0	9618.0	1814.22	4141	31.11	30.78
	2	150.0	299.0	9447.0	1787.93	4117	30.30	
	3	151.0	300.0	9716.2	1808.55	4135	30.92	
84	1	150.0	300.0	9618.0	1814.22	4109	30.63	30.85
	2	150.0	299.0	9447.0	1787.93	4182	31.27	
	3	151.0	300.0	9716.2	1808.55	4117	30.65	

Табела 4.56 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ Р4;8-0

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	149.5	299.0	10014.6	1908.05	3280	20.53	21.07
	2	149.0	300.0	10036.8	1918.72	3410	22.31	
	3	149.8	298.0	9501.8	1809.16	3355	20.36	
56	1	149.5	299.0	10014.6	1908.05	3382	21.82	21.37
	2	149.0	300.0	10036.8	1918.72	3373	21.83	
	3	149.8	298.0	9501.8	1809.16	3362	20.45	
84	1	149.5	299.0	10014.6	1908.05	3411	22.20	21.84
	2	149.0	300.0	10036.8	1918.72	3389	22.04	
	3	149.8	298.0	9501.8	1809.16	3431	21.30	

Табела 4.57 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ Р4-0

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	150.3	303.3	10644	1977.99	4165	34.31	33.83
	2	150.1	302.0	10458	1957.00	4160	33.87	
	3	150.5	300.5	10271	1921.35	4163	33.30	
56	1	150.3	303.3	10648	1978.74	4182	34.61	34.20
	2	150.1	302.0	10471	1959.43	4185	34.32	
	3	150.5	300.5	10293	1925.46	4183	33.69	
84	1	150.3	303.3	10652	1979.48	4270	36.09	35.63
	2	150.1	302.0	10482	1961.49	4255	35.51	
	3	150.5	300.5	10323	1931.07	4275	35.29	

Табела 4.58 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ Р8-0

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	150.0	302.2	11036	2066.54	3895	31.35	31.22
	2	150.1	302.7	10963	2046.75	3897	31.08	
	3	150.0	300.9	10947	2058.74	3894	31.22	
56	1	150.0	302.2	11036	2066.54	3915	31.67	31.59
	2	150.1	302.7	10963	2046.75	3920	31.45	
	3	150.0	300.9	10947	2058.74	3921	31.65	
84	1	150.0	302.2	11036	2066.54	4005	33.15	32.87
	2	150.1	302.7	10963	2046.75	3989	32.57	
	3	150.0	300.9	10947	2058.74	3997	32.89	

Табела 4.59 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ R4;8-0

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	150.0	299.0	10898.2	2062.58	3914	31.60	32.04
	2	149.3	300.0	11116.0	2116.50	3916	32.46	
	3	150.1	300.5	11087.6	2085.17	3922	32.07	
56	1	150.0	299.0	10898.2	2062.58	3957	32.30	32.57
	2	149.3	300.0	11116.0	2116.50	3910	32.36	
	3	150.1	300.5	11087.6	2085.17	3982	33.06	
84	1	150.0	299.0	10898.2	2062.58	4007	33.12	33.05
	2	149.3	300.0	11116.0	2116.50	3993	33.75	
	3	150.1	300.5	11087.6	2085.17	3935	32.29	

Табела 4.60 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ R4-25

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	149.8	300.0	10620.0	2008.58	2921	17.14	17.01
	2	150.0	300.0	10490.8	1978.86	2932	17.01	
	3	150.0	300.0	10507.6	1982.03	2918	16.88	
56	1	149.8	300.0	10620.0	2008.58	3080	19.05	18.57
	2	150.0	300.0	10490.8	1978.86	3059	18.52	
	3	150.0	300.0	10507.6	1982.03	3024	18.12	
84	1	149.8	300.0	10620.0	2008.58	3091	19.19	19.12
	2	150.0	300.0	10490.8	1978.86	3110	19.14	
	3	150.0	300.0	10507.6	1982.03	3099	19.04	

Табела 4.61 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ R8-25

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	151.0	299.0	10066.4	1880.01	3312	20.62	20.89
	2	149.5	301.2	9985.0	1888.52	3310	20.69	
	3	149.0	302.3	10305.6	1955.12	3306	21.37	
56	1	151.0	299.0	10066.4	1880.01	3312	20.62	21.24
	2	149.5	301.2	9985.0	1888.52	3345	21.13	
	3	149.0	302.3	10305.6	1955.12	3351	21.95	
84	1	151.0	299.0	10066.4	1880.01	3384	21.53	21.82
	2	149.5	301.2	9985.0	1888.52	3394	21.75	
	3	149.0	302.3	10305.6	1955.12	3367	22.16	

Табела 4.62 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ R4;8-25

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	150.0	298.0	9206.6	1748.28	2974	15.46	15.75
	2	151.0	300.5	9676.6	1798.19	2960	15.75	
	3	150.5	301.0	9865.2	1842.37	2950	16.03	
56	1	150.0	298.0	9206.6	1748.28	3078	16.56	16.75
	2	151.0	300.5	9676.6	1798.19	3025	16.45	
	3	150.5	301.0	9865.2	1842.37	3058	17.23	
84	1	150.0	298.0	9206.6	1748.28	3101	16.81	17.21
	2	151.0	300.5	9676.6	1798.19	3110	17.39	
	3	150.5	301.0	9865.2	1842.37	3075	17.42	

Табела 4.63 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ R4-25

Старост узорка	Ознака узорка	$\varnothing$ [mm]	H [mm]	m [g]	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	150.0	298.0	9696.6	1841.33	4280	33.73	33.55
	2	150.0	299.0	9671.8	1830.47	4277	33.48	
	3	150.0	300.0	9681.0	1826.11	4279	33.44	
56	1	150.0	298.0	9696.6	1841.33	4305	34.13	33.87
	2	150.0	299.0	9671.8	1830.47	4288	33.66	
	3	150.0	300.0	9681.0	1826.11	4304	33.83	
84	1	150.0	298.0	9696.6	1841.33	4333	34.57	34.54
	2	150.0	299.0	9671.8	1830.47	4374	35.02	
	3	150.0	300.0	9681.0	1826.11	4317	34.03	

Табела 4.64 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ R8-25

Старост узорка	Ознака узорка	Ø [mm]	H [mm]	m [g]	γ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	150.0	301.0	9922.2	1865.39	3688	25.37	24.44
	2	150.0	301.0	10039.4	1887.42	3603	24.50	
	3	150.0	301.0	9496.0	1785.26	3625	23.46	
56	1	150.0	301.0	9922.2	1865.39	3998	29.82	29.23
	2	150.0	301.0	10039.4	1887.42	3988	30.02	
	3	150.0	301.0	9496.0	1785.26	3950	27.85	
84	1	150.0	301.0	9922.2	1865.39	4021	30.16	29.32
	2	150.0	301.0	10039.4	1887.42	3957	29.55	
	3	150.0	301.0	9496.0	1785.26	3978	28.25	

Табела 4.65 Одређивање динамичког модула еластичности за мешавину РВ R4;8-25

Старост узорка	Ознака узорка	Ø [mm]	H [mm]	m [g]	γ [kg/m <sup>3</sup> ]	v [m/s]	E <sub>d</sub> [GPa]	E <sub>d,sr</sub> [GPa]
28	1	150.0	300.0	10275.0	1938.15	3405	22.47	22.29
	2	150.0	300.0	10230.2	1929.70	3403	22.35	
	3	150.0	300.0	10103.8	1905.86	3402	22.06	
56	1	150.0	300.0	10275.0	1938.15	3831	28.45	27.76
	2	150.0	300.0	10230.2	1929.70	3745	27.06	
	3	150.0	300.0	10103.8	1905.86	3817	27.77	
84	1	150.0	300.0	10275.0	1938.15	3831	28.45	27.88
	2	150.0	300.0	10230.2	1929.70	3777	27.53	
	3	150.0	300.0	10103.8	1905.86	3811	27.68	

#### 4.5.2.5 Коэффициент водопроницаемости

Коэффициент водопроницаемости порозних бетона је одређен методом падајућег нивоа воде, као што је рађено у раду [16], односно представља интерну методу испитивања водопроницаемости бетона, како је приказано на слици 4.12. Узорци су облика коцке ивице 15 cm, који су претходно неговани у води. Пре самог испитивања, коцке су дан раније извађене из воде. Испитивање је обављено тако што се на средини коцке, односно са горње стране поставља стаклена плочица, те на њу баждарена мензура која садржи воду до нивоа 300 mm. Након пуњења, стакло се нагло измакне уз истовремено покретање штоперице. Мерено је време које је потребно да сва вода истекне из епрувете.



Слика 4.12 Одређивање коефицијента водопроницаемости

Коэффициент водопроницаемости се одређује помоћу следећих израза:

$$r_{eff} = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad 4.4$$

$$A_{eff} = r_{eff}^2 * \pi \quad 4.5$$

$$k_p = \frac{V}{A_{eff} * (t_2 - t_1)}$$

где је:

$r_{eff}$ -ефективни или средњи полупречник [cm],

$r_1$ -полупречник попречног пресека епрувете [cm],

$r_2$ -полупречник уписане кружнице квадратне базе узорка коцке[cm],

$A_{eff}$ -ефективна површина протицаја [cm<sup>2</sup>],

$k_p$ -коэффициент водопропустљивости методом падајућег нивоа воде [cm/s],

$t_1$ -време почетка експеримента [s],

$t_2$ -време краја експеримента [s],

$V$ -количина воде сакупљене у времену  $\Delta t$  [cm<sup>3</sup>].

Табела 4.66 Коэффициент водопропустљивости за порозне бетонске мешавине PB P4-0, PB P8-0 и PB P4;8-0

Старост узорка	Ознака узорка	PB P4-0		PB P8-0		PB P4;8-0	
		$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]	$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]	$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]
7	1	2.94	2.38	2.51	2.34	0.30	0.31
	2	1.93		1.66		0.36	
	3	2.27		2.85		0.27	
28	4	2.97	2.90	2.98	2.88	0.33	0.29
	5	2.94		2.94		0.28	
	6	2.78		2.71		0.25	
56	7	2.54	2.60	2.96	2.69	0.30	0.27
	8	2.78		2.62		0.24	
	9	2.47		2.50		0.26	
84	10	2.41	2.23	2.31	2.21	0.30	0.27
	11	2.16		2.30		0.24	
	12	2.13		2.02		0.26	

Табела 4.67 Коэффициент водопропустљивости за порозне бетонске мешавине PB R4-0, PB R8-0 и PB R4;8-0

Старост узорка	Ознака узорка	PB R4-0		PB R8-0		PB R4;8-0	
		$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]	$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]	$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]
7	1	0.40	0.35	0.93	1.04	0.58	0.58
	2	0.36		0.99		0.53	
	3	0.31		1.19		0.62	
28	4	0.44	0.40	1.01	1.09	0.53	0.58
	5	0.36		1.09		0.65	
	6	0.41		1.19		0.56	
56	7	0.45	0.45	0.95	1.02	0.85	0.88
	8	0.44		1.08		0.99	
	9	0.45		1.02		0.81	
84	10	0.45	0.44	0.85	0.96	0.84	0.85
	11	0.43		0.98		0.91	
	12	0.45		1.05		0.79	

Табела 4.68 Коэффициент водопропустљивости за порозне бетонске мешавине PB P4-25, PB P8-25 и PB P4;8-25

Старост узорка	Ознака узорка	PB P4-25		PB P8-25		PB P4;8-25	
		$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]	$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]	$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]
7	1	2.74	2.88	1.64	2.36	2.79	2.67
	2	2.94		2.96		2.21	
	3	2.97		2.49		3.01	
28	4	2.05	1.68	1.31	1.58	2.65	2.66
	5	1.33		2.06		2.98	
	6	1.65		1.37		2.36	
56	7	1.87	1.79	1.38	1.82	2.42	2.48
	8	1.73		2.37		2.87	
	9	1.76		1.70		2.15	
84	10	1.72	1.69	1.49	2.14	2.69	2.81
	11	1.65		2.62		3.11	
	12	1.71		2.31		2.63	

Табела 4.69 Коефицијент водопропустљивости за порозне бетонске мешавине PB R4-25, PB R8-25 и PB R4;8-25

Старост узорка	Ознака узорка	PB R4-25		PB R8-25		PB R4;8-25	
		$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]	$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]	$k_p$ [cm/s]	$k_{p,sr}$ [cm/s]
7	1	1.18	1.19	1.17	1.08	1.74	1.55
	2	1.05		1.11		1.54	
	3	1.35		0.97		1.35	
28	4	0.82	0.90	2.21	2.16	1.26	1.38
	5	0.94		2.98		1.48	
	6	0.93		1.30		1.38	
56	7	0.89	0.90	1.14	1.42	0.65	0.75
	8	0.93		1.64		0.86	
	9	0.88		1.49		0.75	
84	10	0.77	0.82	1.43	1.44	0.76	0.77
	11	0.93		1.49		0.79	
	12	0.76		1.41		0.76	

#### 4.5.2.6 Одређивање чврстоће порозног бетона неструктивном методом

##### 4.5.2.6.1 Метода ултразвука

Испитивање методом ултразвука подразумева мерење брзине продирања лонгитудиналних таласа кроз порозне бетонске коцке. Стандард који је коришћен приликом ових испитивања је СРПС ЕН 12504-4 [110]. Брзина продирања таласа кроз узорке зависи од: крутости, хомогености и компактности бетона, па оваква истраживања дају податке о пропадању овог типа бетонског коловоза. Мерење је извршено помоћу ултразвучног апарата *Pundit* са сондама фреквенције 82 kHz на истим узорцима на којима је одређена чврстоћа при притиску. Резултати мерења брзине продирања ултразвука кроз порозне бетонске узорке приказани су у табели 4.70.

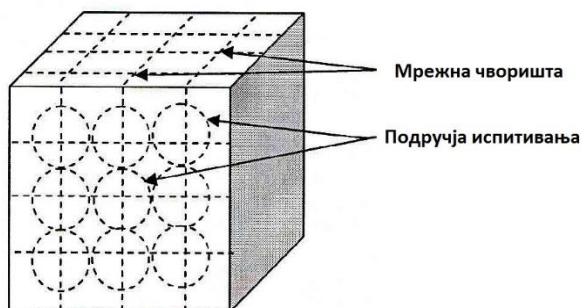
Табела 4.70 Брзина продирања таласа кроз порозне бетонске узорке

Ознака	Брзина продирања таласа [m/s]											
	након 7 дана			након 28 дана			након 56 дана			након 84 дана		
PB P4-0	4180,37	4323,70	4326,59	4399,61	4443,45	4436,20	4473,16	4468,72	4491,02	4550,05	4495,50	4653,57
PB P8-0	5119,05	4892,41	4767,90	4797,44	4923,91	5045,15	5090,50	5238,65	5312,87	5177,42	5281,69	5409,36
PB P4;8-0	5055,30	4881,13	5201,16	4918,03	5303,89	5171,23	5067,57	5655,43	5232,48	5428,23	5685,61	5507,96
PB R4-0	4656,99	4562,44	4660,10	4683,39	4794,21	4731,86	4885,99	4694,97	4912,66	4973,42	5143,84	4950,50
PB R8-0	5021,23	5015,63	4753,70	5151,20	5074,29	5082,39	5263,16	5208,33	5247,40	5325,44	5284,37	5244,76
PB R4;8-0	4934,21	5111,24	4856,37	5092,15	4901,64	5064,63	5223,90	5154,20	5202,09	5302,49	5202,31	5198,37
PB P4-25	4327,54	4324,98	3969,03	4447,76	4526,95	4165,75	4325,92	4704,83	4500,00	4736,84	5060,81	4810,90
PB P8-25	4163,60	3469,55	3621,36	4769,56	3932,29	4489,47	5229,97	4605,94	4934,64	5221,19	4800,64	4802,56
PB P4;8-25	4002,68	4203,93	3994,64	4197,75	4153,42	4249,06	4480,56	4480,60	4844,92	4610,66	4482,07	4907,31
PB R4-25	4398,06	4477,66	4017,86	4513,54	4375,37	4533,13	4618,71	4585,54	4581,54	4685,53	4618,71	4624,87
PB R8-25	4522,61	4629,39	4777,07	4721,52	4648,76	4932,82	4957,10	4925,52	4960,26	5033,56	4983,39	5208,33
PB R4;8-25	4343,93	4597,56	4645,36	4663,21	4492,48	4589,32	4746,84	4516,58	4623,20	4782,15	4527,16	4756,87

##### 4.5.2.6.2 Метода склерометра

Поред методе ултразвука, обављено је и испитивање површинске тврдоће бетона помоћу Шмитовог чекића, при чему се сваки узорак претходно обрађује поравнавањем испитне површине. Склерометром се мери индекс одскока игле склерометра, а који зависи од површинске тврдоће бетона. Анализом измерених индекса одскока могуће је одредити: уједначеност квалитета, хомогеност бетона, а посебно и чврстоћу при притиску. Испитивање је обављено у складу са стандардом СРПС ЕН 12504-2 [111].

Сва испитивања помоћу склерометра обављена су на коцкама димензија 15 cm x 15 cm x 15 cm, са по 10 удараца, код којих је растојање између два ударна места било 25 mm, а од ивице коцке 30 mm. Десети ударац био је насумично изабран на неком међупростору подручја испитивања. Приказ подручја испитивања на пробним бетонским коцкама приказан је на слици 4.13.



Слика 4.13 Подручје испитивања на пробним бетонским узорцима

Испитивање недеструктивном методом Шмитовим чекићем је обављено помоћу апарата *Matest Digital C386N*. Приликом испитивања склерометар је био увек у хоризонталном положају. Средња вредност резултата испитивања индекса склерометра је приказана у табели 4.71.

Табела 4.71 Резултати индекса склерометра измерени на порозним бетонским узорцима

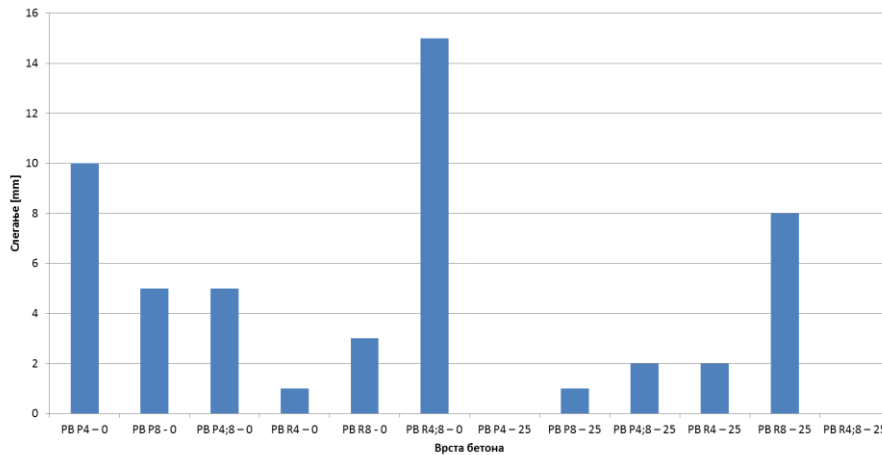
Ознака	Индекс склерометра											
	након 7 дана			након 28 дана			након 56 дана			након 84 дана		
PВ P4-0	21,4	22,7	22,2	21,5	24,9	24,2	24,9	24,5	26,5	32,4	26,8	35,4
PВ P8-0	26,1	24,5	23,7	24,3	26,1	27,4	24,9	30,0	32,8	30,1	31,5	32,3
PВ P4;8-0	28,2	26,1	31,2	24,0	31,9	30,1	25,1	31,8	29,4	24,6	32,9	29,2
PВ R4-0	29,2	26,8	27,2	28,6	32,3	30,8	31,4	30,7	33,6	33,2	37,7	25,4
PВ R8-0	29,9	28,6	26,7	31,3	30,0	27,6	40,2	37,4	27,0	41,8	41,5	29,0
PВ R4;8-0	30,2	32,5	30,0	40,0	29,6	29,9	34,2	29,0	39,9	38,2	29,0	38,2
PВ P4-25	22,6	21,7	21,2	22,5	24,8	21,0	21,6	24,9	24,3	23,7	32,5	26,3
PВ P8-25	23,7	20,0	21,9	26,3	20,0	24,3	26,1	25,2	26,1	33,5	27,5	28,9
PВ P4;8-25	21,4	23,5	21,2	22,5	22,3	23,4	24,1	21,2	24,7	25,0	22,5	25,5
PВ R4-25	22,8	30,6	20,0	28,4	24,0	25,9	30,5	23,5	26,3	28,7	24,5	27,5
PВ R8-25	20,0	20,5	20,8	22,7	21,1	30,0	29,6	24,1	29,9	29,1	28,1	29,6
PВ R4;8-25	20,8	22,5	22,6	28,9	25,2	26,3	31,5	26,2	27,2	29,6	27,4	28,6



## 5 АНАЛИЗА И ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

### 5.1 КОНЗИСТЕНЦИЈА БЕТОНА

Резултати мерења конзистенције испитаних порозних бетона приказани су у табели 4.15, а ради лакшег сагледавања утицаја састава бетонских мешавина на вредност конзистенције, средње вредности конзистенције су приказане графички на слици 5.1.

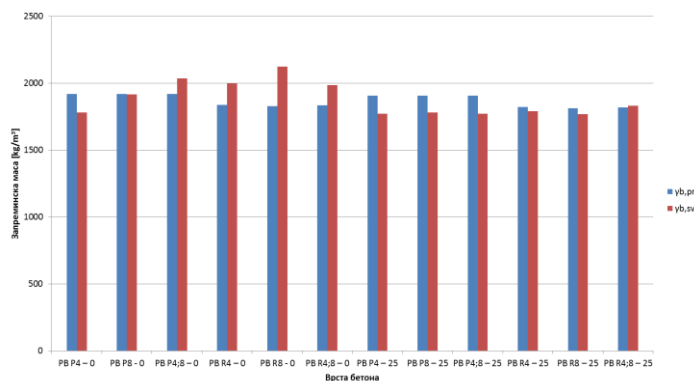


Слика 5.1 Промена конзистенције бетона у зависности од врсте порозног бетона

На основу измерених резултата може се закључити да је на свим бетонским мешавинама добијена крута конзистенција која се креће у границама од 0 до 15 mm, односно мешавине припадају класи S1. Анализом утицаја варираних компонентних материјала на вредност конзистенције, не може се прецизно сагледати одређена законитост, осим што се уочава да примена електрофилтерског пепела има утицаја на смањење вредности конзистенције.

### 5.2 ЗАПРЕМИНСКА МАСА СВЕЖЕГ БЕТОНА

У циљу провере тачности одређивања састава бетонских мешавина, извршено је упоређивање вредности пројектоване запреминске масе ( $\gamma_{b,pr}$ ) и измерене запреминске масе свежег бетона ( $\gamma_{b,sv}$ ). Добијене вредности приказане су на слици 5.2. Поређењем пројектованих и измерених вредности запреминских маса бетона у свежем стању, констатовано је да су разлике занемарљиве и да се у анализи осталих својстава бетона могу користити пројектоване количине компонентних материјала.



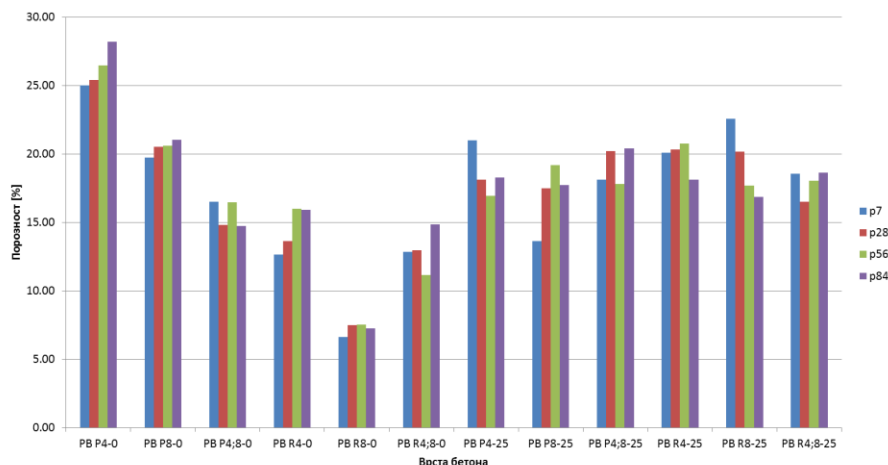
Слика 5.2 Запреminsка маса порозног бетона

Са слике 5.2 се уочава да добијене вредности запреминских маса припадају групи тзв. лаких бетона.



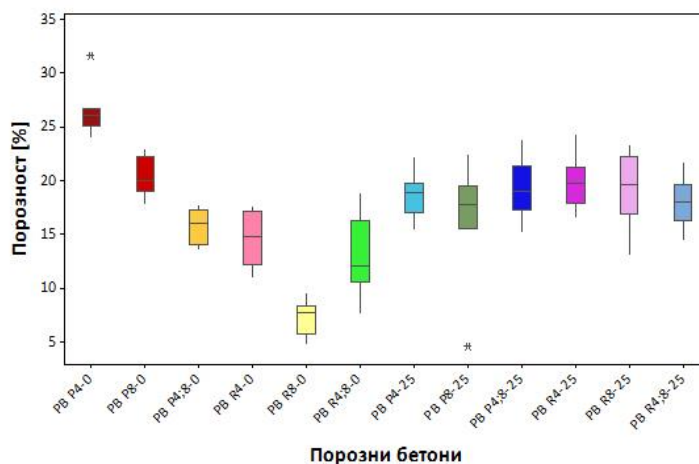
### 5.3 ПОРОЗНОСТ ОЧВРСЛОГ БЕТОНА

Порозност је један од битних параметара код порозних бетонских мешавина. У претходним поглављима дат је табеларни приказ садржаја пора за испитане узорке, као и њихове средње вредности док се на слици 5.3 приказују средње вредности за све испитане бетоне након: 7, 28, 56 и 84 дана.



Слика 5.3 Порозност бетона

Са слике се види да порозност бетона зависи првенствено од врсте агрегата. Порозни бетони са природним агрегатом имају већу порозност у односу на порозне бетоне са рециклираним агрегатом јер обла зрна природног агрегата дају већу количину отворених пора у поређењу са рециклираним агрегатом. Анализом дијаграма закључено је да старост бетона нема утицаја на отворену порозност.

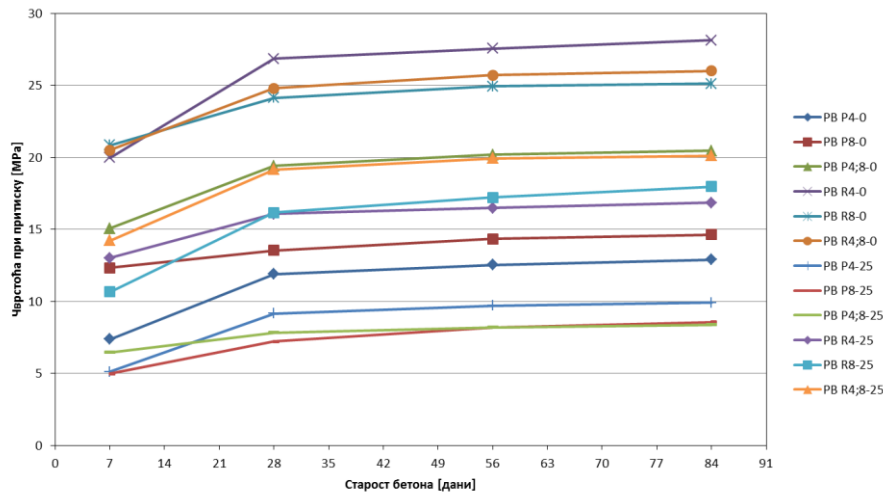


Слика 5.4 Порозност за порозне бетоне

На слици 5.4 су приказане минималне, максималне и средње вредности резултата испитивања порозног бетона. Са слике се закључује да порозни бетони са природним агрегатом имају максималну порозност, док минимална порозност је регистрована код бетоне са рециклираним агрегатом. Минерални додатак утиче на порозност и запажа се да су вредности порозности приближне са малим вредностима одступања, односно налазе се у границама од 15 до 22%.

**5.4 ЧВРСТОЋА ПРИ ПРИТИСКУ**

Промена чврстоће при притиску у функцији од времена приказана је на слици 5.5.

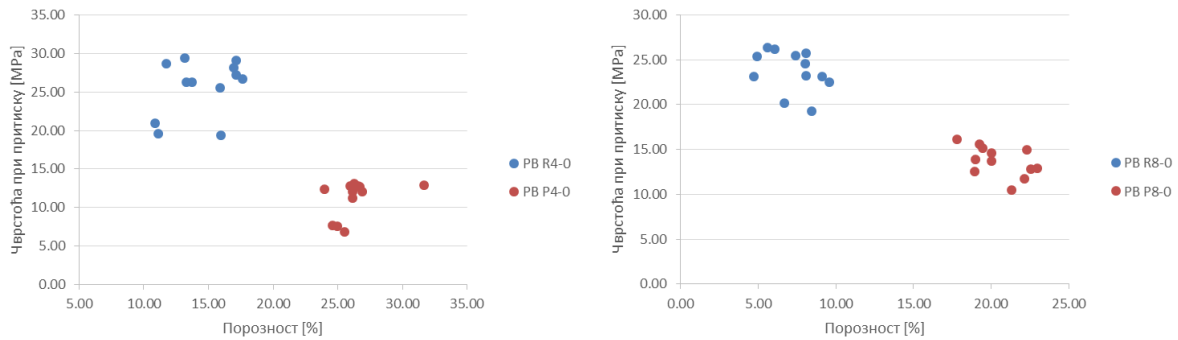


Слика 5.5 Промена чврстоће при притиску у функцији од времена за порозне бетоне

Са слике 5.5 се запажа, да вредности чврстоће при притиску варирају у распону од 4,97 до 20,85 МПа за старост од 7 дана, односно варирају 5,99 до 26,96 МПа за старост од 28 дана, за старост од 56 дана резултати испитивања варирају у распону од 9,60 до 30,86 МПа и при старости од 84 дана варирају у распону од 9,91 до 36,33 МПа. Приликом испитивања долазило је до лома узорака кроз цементни камен, и то у случају где је коришћен природни агрегат, док је код рециклираног агрегата до лома долазило кроз нови цементни камен и кроз стари цементни камен којим је обавијен рециклирани агрегат. Генерално посматрано, учешће електрофилтерског пепела није допринело повећању чврстоће при притиску, односно порозни бетони који су справљени без пепела имају веће вредности чврстоће при притиску. Са повећањем старости бетона, чврстоћа при притиску се повећава.

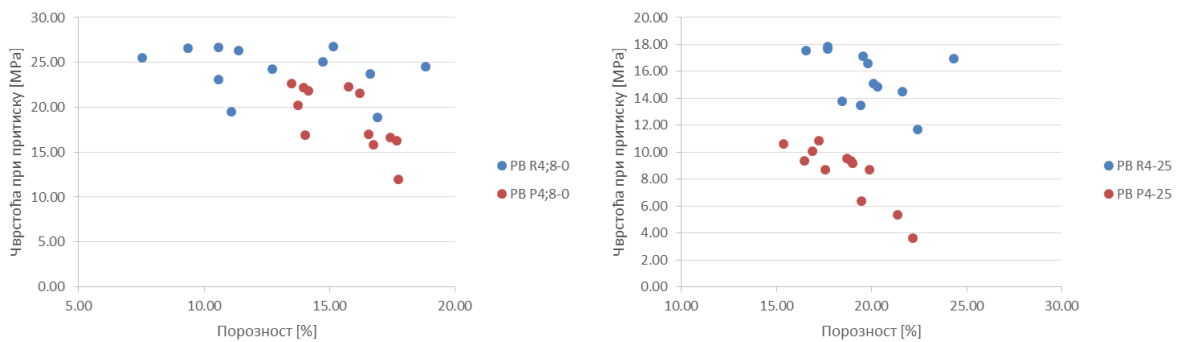
Са дијаграма на слици 5.5 уочава се сличан тренд прираштаја чврстоће при притиску у периоду од 7 до 28 дана старости. Чврстоћа порозних бетона постигнуте при старости од 28 дана се незнатно повећавају са повећавањем старости (56 и 84 дана). Повећање износи од 1 до 2 МПа. Најбоље механичке карактеристике имају бетони са рециклираним агрегатом, без додатка електрофилтерског пепела, а најмање вредности испод 10 МПа показали су бетони са природним агрегатом и учешћем електрофилтерског пепела са количином од 25 %.

На наредним сликама приказане су зависности чврстоће при притиску и порозности и чврстоће при притиску и запреминске масе. Слика 5.6 приказује зависност чврстоће при притиску и порозности за четири порозна бетона, односно приказује упоредну анализу бетона са природним и бетона са рециклираним агрегатом, фракцијама 4/8 и 8/16 mm. Бетони пројектовани са фракцијом 4/8 mm, није могуће успоставити зависност, док се код бетона који су пројектовани са фракцијом 8/16 mm запажа зависност, односно да се повећањем порозности чврстоћа при притиску опада и обрнуто.



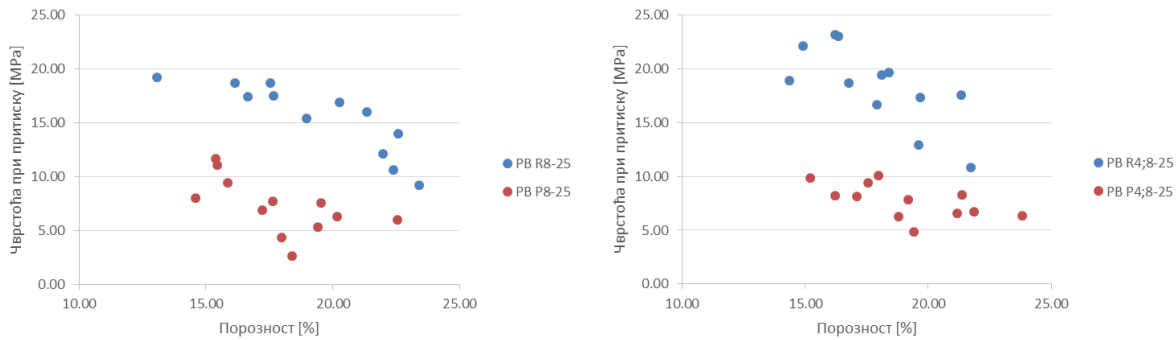
Слика 5.6 Зависност између чврстоће при притиску и порозности за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0

Зависност чврстоће при притиску и порозности за мешавине у којима је употребљена комбинација друге и треће фракције без додатка пепела показује, слика 5.7 лево, велико расипање резултата и не може се поуздано успоставити корелација. Знатно веће расипање је приметно код рециклираног агрегата док се код природног агрегата примећује да се смањивањем порозности чврстоћа при притиску повећава. На слици 5.7 десно приметно је да рециклирани агрегат има значајно већу чврстоћу при притиску у односу на природни агрегат са приближно истом количином пора. Расипање резултата код рециклираног агрегата је веће у односу на природни агрегат и запажа се да се повећавањем порозности смањује чврстоћа при притиску, али не за све резултате испитивања.



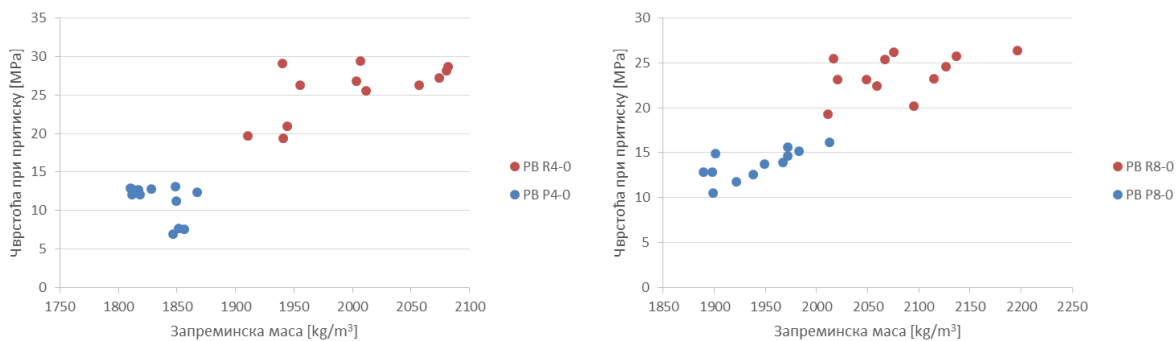
Слика 5.7 Зависност између чврстоће при притиску и порозности за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25

На слици 5.8 се примећује да бетони који су справљени са рециклираним агрегатом имају боља својства чврстоће при притиску у односу на бетоне справљене са природним агрегатом. Оштроивична зрна рециклираног агрегата дају бољу повезаност у односу на обла зрна природног агрегата. Коришћењем треће фракције (слика 5.8 лево) за порозне бетоне, запажа се да рециклирани агрегат има мање расипање резултата у односу на природни агрегат, али уједно код оба бетона је приметна разлика да повећањем порозности, чврстоћа при притиску опада, што је доказано испитивањима. Слична ситуација је и на слици 5.8 десно, само што је расипање резултата веће код бетона који су справљени од рециклираног агрегата док је код природног агрегата расипање доста мање.



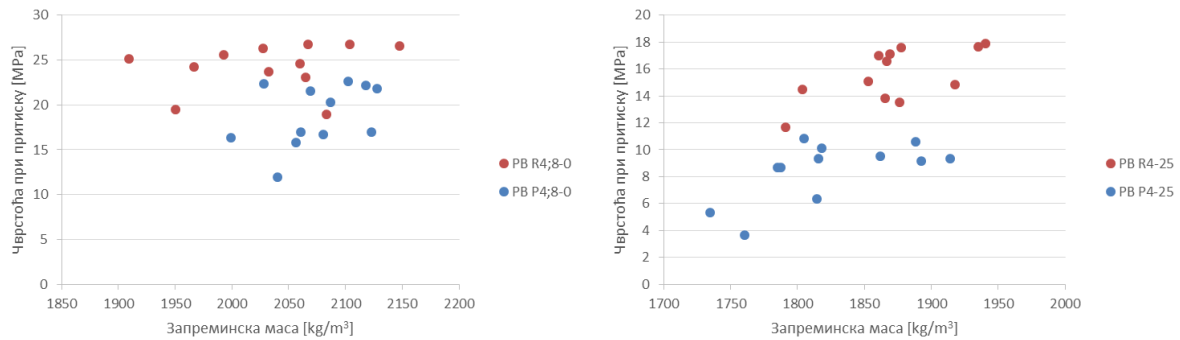
Слика 5.8 Зависност између чврстоће при притиску и порозности за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25

Однос чврстоће при притиску и запреминске масе за бетоне који су справљени са другом и трећом фракцијом агрегата без додатка пепела је приказан на слици 5.9. Приметно је да код друге фракције природног агрегата, резултати исте запреминске масе имају променљиву вредност чврстоће при притиску. То се дешава услед лошијег компактирања узорака. Узорци који су пројектовани са рециклираним агрегатом имају одређено расипање резултата, односно запажа се да повећањем запреминске масе, расте и чврстоћа при притиску (слика 5.9 лево). На слици 5.9 десно уочава се да порозни бетони који су справљени са природним агрегатом имају доста мање расипање резултата у односу на бетоне који су справљени са рециклираним агрегатом.



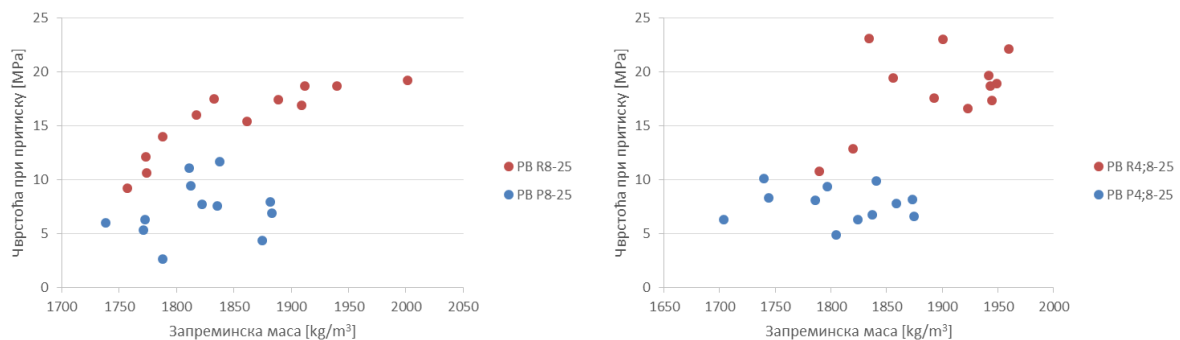
Слика 5.9 Зависност између чврстоће при притиску и запреминске масе за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0

На слици 5.10 лево се закључује да је расипање резултата велико и да се не може успоставити поуздана корелација код бетона са природним и рециклираним агрегатом. Приметно је да се при приближно истим запреминским масама очврслог бетона добијају знатне разлике чврстоће при притиску. Зависност између чврстоће при притиску и запреминске масе очврслог бетона код узорака где је коришћен пепео и друга фракција за справљање порозних бетона (слика 5.10 десно), показује расипање резултата, при чему је код природног агрегата израженије расипање резултата у односу на рециклирани агрегат. Уједно се примећује да је чврстоћа при притиску код рециклираног агрегата већа у односу на природни агрегат.



Слика 5.10 Зависност између чврстоће при притиску и запреминске масе PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25

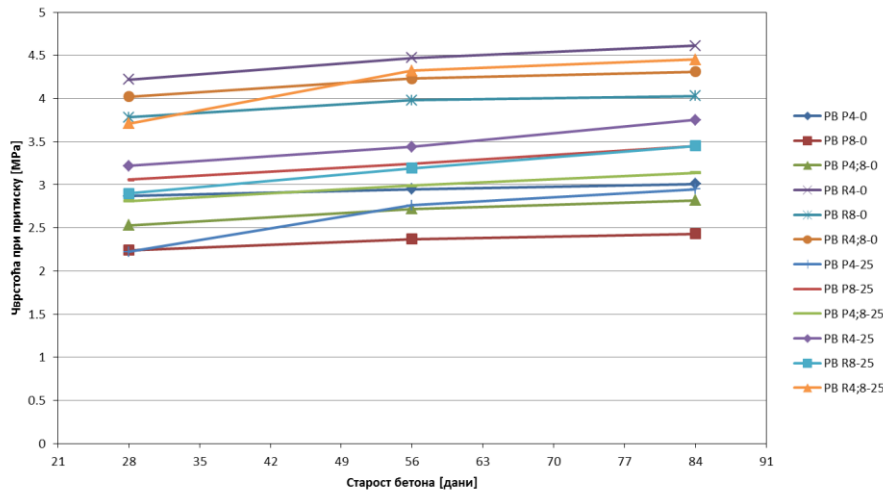
Порозни бетони са рециклираним агрегатом треће фракције имају мање расипање резултата и може се постићи поуздана полиномска корелација, док код природног агрегата расипање резултата је знатно веће и није могуће успоставити поуздану корелацију (слика 5.11 лево). Бетони пројектовани комбинацијом друге и треће фракције имају велика одступања у резултатима, за обе врсте агрегата (слика 5.11 десно). Запажа се да ни код једне врсте агрегата не може да се успостави поуздана корелација.



Слика 5.11 Зависност између чврстоће при притиску и запреминске масе порозних бетона PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25

## 5.5 ЧВРСТОЋА ПРИ САВИЈАЊУ

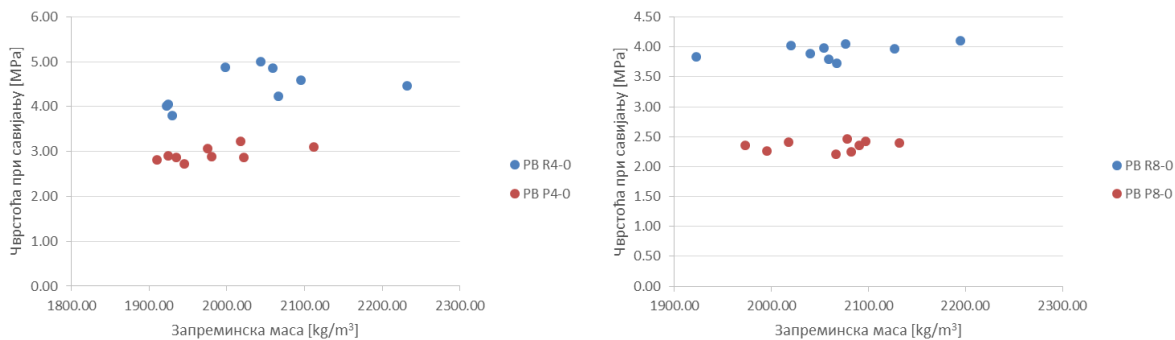
Резултати истраживања су табеларно приказани у претходном поглављу где су дате појединачне вредности испитаних узорака, као и средње вредности, док се на слици 5.12 приказује промена средњих вредности чврстоће при савијању у функцији од времена (старост бетона).



Слика 5.12 Промена чврстоће при савијању у функцији времена за порозне бетоне

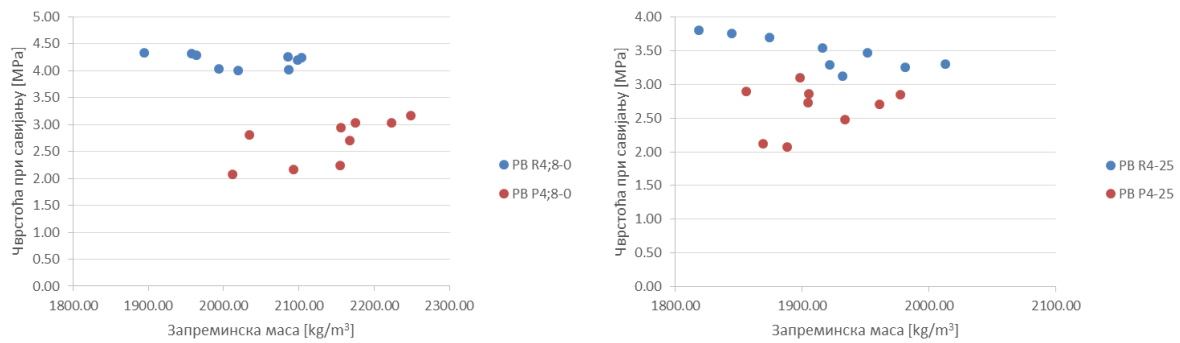
На слици 5.12 се запажа да повећањем старости бетона долази до постепеног раста чврстоће при савијању, али са незнатним скоком, осим у случајевима за порозне бетоне који садрже пепео као замену за цемент. Анализом приказаних резултата је приметно да порозни бетони који су пројектовани са рециклираним агрегатом имају већу чврстоћу при савијању у односу на природни агрегат. Рециклирани агрегат има бољу адхезију између новог цементног камена и старог цементног камена, јер стари цементни камен поспешује адхезију. Расипање резултата није велико у односу на чврстоћу при притиску јер се протеже у неким оквирним границама од око 2,22 МПа до 4,2 МПа након 28 дана, односно крећу се у границама од око 2,37 МПа до око 4,5 МПа при старости од 56 дана, а за узорке који су испитани након 84 дана, резултати се крећу у границама од око 2,43 МПа до 4,61 МПа. Након анализираних промена чврстоће при савијању у функцији времена, анализирана је зависност чврстоће при савијању и запреминске масе, које су приказане на наредним сликама. Поређени су порозни бетони који су справљени са истом фракцијом, али само са различитим врстама агрегата (рециклирани или природни агрегат).

Зависност чврстоће при савијању и запреминске масе очврслог бетона које су справљене са другом фракцијом агрегата (4/8 mm), без додатка пепела као замене за цемент, приказани су на слици 5.13 лево односно бетони који су справљени са трећом фракцијом (8/16 mm), без додатка пепела као замене за цемент, приказани су на слици 5.13 десно. Приметно је да није успостављена поуздана корелација јер је расипање резултата значајно код бетона са рециклираним агрегатом у односу на бетоне са природним агрегатом. Запажа се да бетони са рециклираним агрегатом имају знатно веће вредности чврстоће при савијању у односу на бетоне са природним агрегатом, и то за минимално 50% и више.



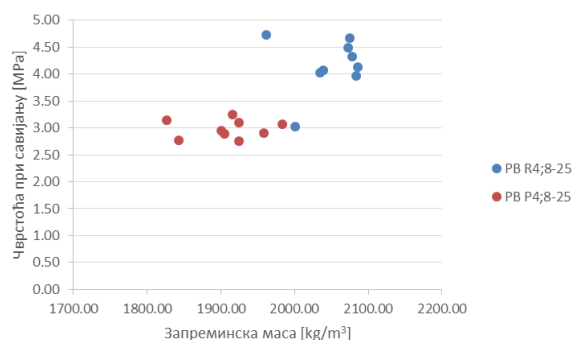
Слика 5.13 Зависност између чврстоће при савијању и запреминске масе за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0

Порозни бетон који је пројектован са комбинацијом друге и треће фракције, има велико расипање резултата код бетона са природним агрегатом у односу на бетоне са рециклираним агрегатом. Успостављање корелације није урађено због одступања резултата који су приказани на слици 5.14 лево. Бетони пројектовани од рециклираног агрегата друге фракције, али справљени са минералним додатком имају такође велико расипање резултата код обе врсте агрегата. Са слике 5.14 десно се примећује да није могуће успоставити поуздану корелацију.



Слика 5.14 Зависност између чврстоће при савијању и запреминске масе за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25

Однос између чврстоће при савијању и запреминске масе код порозних бетона који су пројектовани са трећом фракцијом агрегата и са минералним додатком (слика 5.15 лево) показује велику концентрацију резултата у малом распону запреминске масе очврслог бетона. Такође се уочава да узорци који су пројектовани са природним агрегатом, гледано појединачно, имају већу чврстоћу при савијању у односу на бетоне са рециклираним агрегатом. Порозни бетони справљени са комбинацијом друге и треће фракције са минералним додатком (слика 5.15 десно) имају велико расипање резултата и није могуће успоставити поуздану корелацију, односно бетони са рециклираним агрегатом имају веће вредности чврстоће при савијању у односу на бетоне са природним агрегатом.

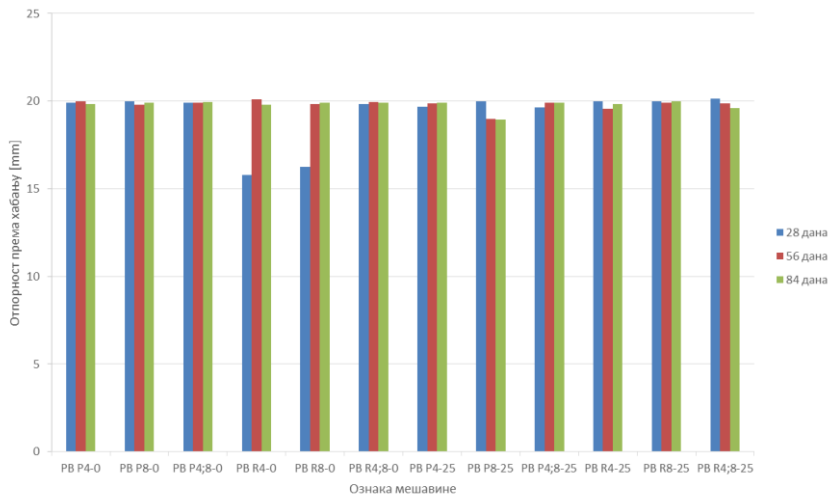


Слика 5.15 Зависност између чврстоћа при савијању и запреминске масе за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25

## 5.6 ОТПОРНОСТ НА ХАБАЊЕ

Испитивање отпорности на хабање за порозне бетоне који су испитани након 28, 56 и 84 дана, приказано је на слици 5.16. Теоретски гледано, отпорност на хабање је знатно већа уколико бетон садржи већу количину агрегата који имају оштроивични облик у односу на природне агрегате које

имају заобљени облик зрна. Теоретска тврдња је доказана и код порозних бетона, где је приметно са слике 5.16, да вредности отпорности на хабање су знатно мање код рециклираног агрегата у односу на природни агрегат. На пар места се појављује случај када природни агрегат има мало боља својства у односу на рециклирани агрегат, а значајно се види код порозног бетона *PB P8-25*. Генерално гледано велика разлика се уочава на почетку, односно испитивања отпорности на хабање након 28 дана, и доста је мања код бетона са рециклираним агрегатом него код бетона са природним агрегатом. Старењем, порозни бетони са природним агрегатом постижу боља својства и имају мањи губитак масе у односу на бетоне са рециклираним агрегатом.

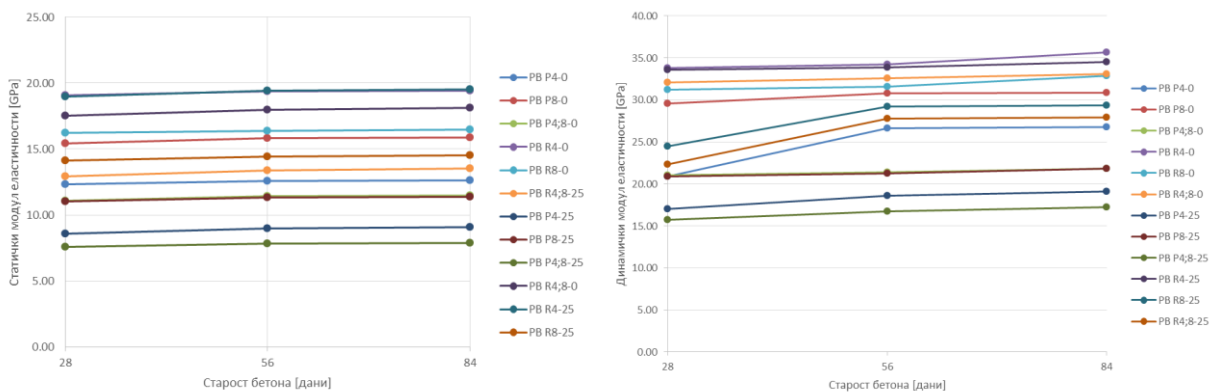


Слика 5.16 Отпорност на хабање за порозне бетоне

Већина резултата испитивања отпорности на хабање припада тзв. граници за коришћење порозног бетонског коловоза која је прописана стандардом за испитивање бетонског коловоза (СРПС У.Е3.020) [112].

## 5.7 МОДУЛ ЕЛАСТИЧНОСТИ

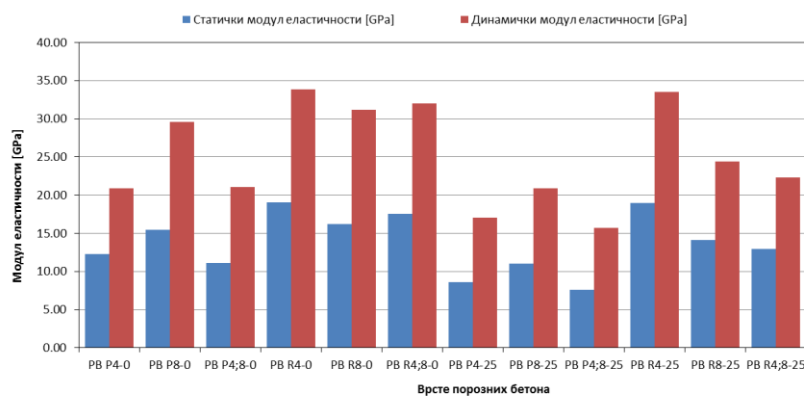
Вредности промене статичког и динамичког модула еластичности у функцији од времена (старост бетона) приказане су на слици 5.17. Статички модул еластичности (слика 5.17 лево) има постепен раст у току времена за све врсте порозних бетона. Бетони који су пројектовани са рециклираним агрегатом имају знатно веће вредности статичког модула еластичности у односу на бетоне пројектоване са природним агрегатом.



Слика 5.17 Промена статичког модула еластичности у функцији времена (лево), промена динамичког модула еластичности у функцији времена (десно)

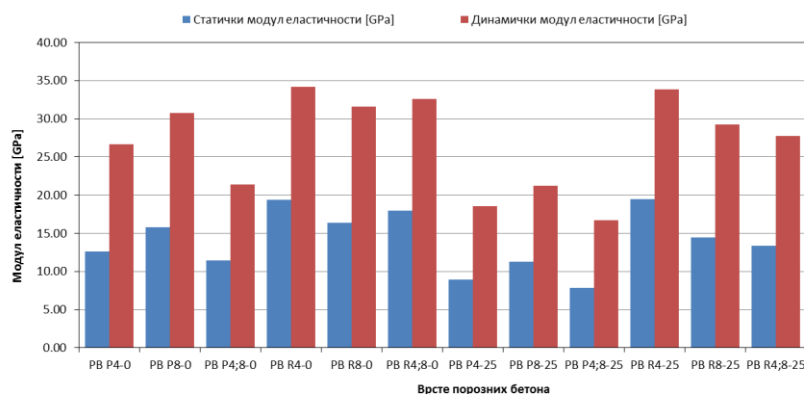


Вредности промене динамичког модула еластичности у зависности од времена приказане су на слици 5.17 десно. Уочава се да код неких порозних бетона постоји приметан скок вредности динамичког модула еластичности између 28 и 56 дана. Приметан скок се појављује код три бетона од којих су два пројектована са рециклираним агрегатом и минералним додатком, а један је пројектован са природним агрегатом без минералног додатка. Разлика између динамичког и статичког модула еластичности је приметна, и то знатно. Динамички модул еластичности који је одређен ултразвучном методом је приближно два пута већи од статичког модула еластичности. Резултати статичког и динамичког модула еластичности након 28 дана старости приказани су на слици 5.18. Анализом резултата је приметно да статички модул еластичности износи приближно 48% до 58% динамичког модула еластичности. Интензитет пораста и пада статичког модула еластичности је пропратио и динамички модул само са знатно већим вредностима. Агрегат и минерални додаток знатно утичу на одређивање модула еластичности код испитаних узорака.



Слика 5.18 Статички и динамички модул еластичности при старости од 28 дана

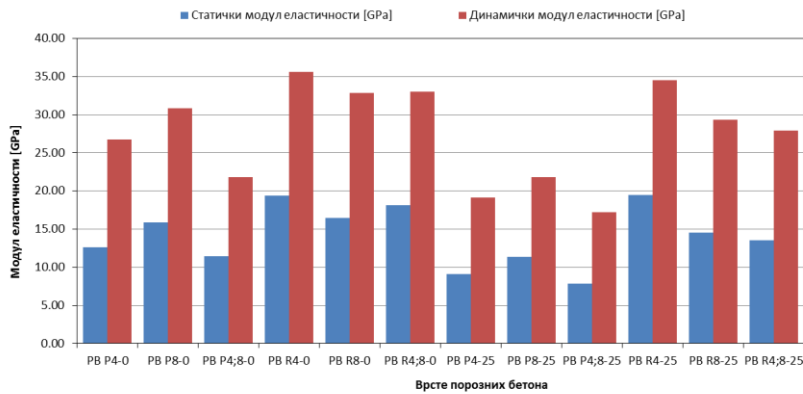
Резултати испитивања статичког и динамичког модула при старости од 56 дана приказани су на слици 5.19. Прираст и пад резултата испитивања статичког модула еластичности пропраћени су интензитетом пораста и пада динамичког модула еластичности само са увећаним вредностима. Статички модул еластичности износи 46% до 58% динамичког модула еластичности.



Слика 5.19 Статички и динамички модул еластичности при старости од 56 дана

Добијене вредности модула еластичности описане су у претходном поглављу и приметно је да статички модул еластичности износи 45 до 57% динамичког модула еластичности при старости од 84

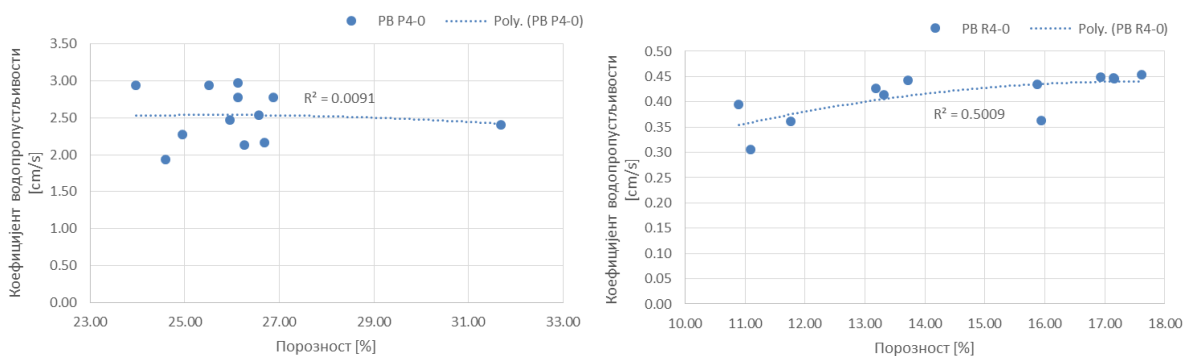
дана. Сумарни резултати испитивања приказани су на слици 5.20. Трендови пораста и пада вредности статичког и динамичког модула еластичности су готово исти. Вредности модула код порозних бетона са рециклираним агрегатом су веће у односу на вредности модула порозног бетона са природним агрегатом. Утицај агрегата и минералног додатка знатно поспешује вредности оба модула еластичности.



Слика 5.20 Статички и динамички модул еластичности при старости од 84 дана

## 5.8 КОЕФИЦИЈЕНТ ВОДОПРОПУСТЉИВОСТИ

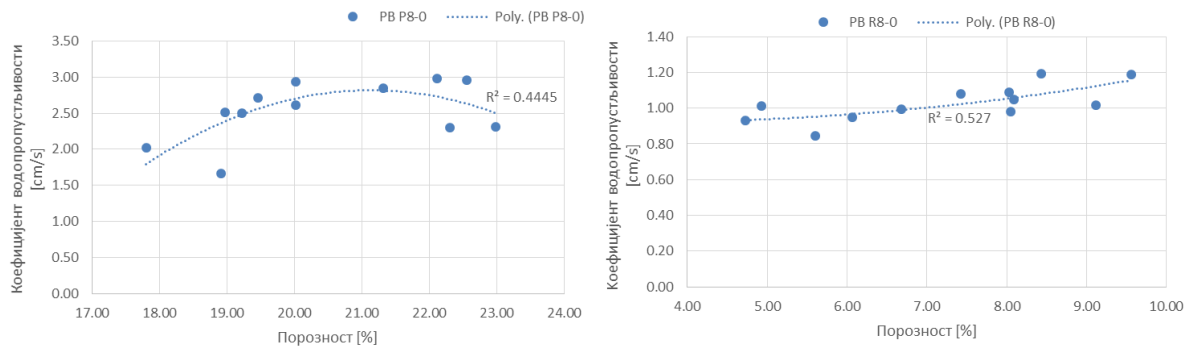
Метода испитивања коефицијента водопропустљивости је описана у поглављу 4.5.2.5. То је тзв. метода опадајућег нивоа воде. Ову методу су користили и неки од аутора [16], [58] у својим радовима на основу чега су добијали резултате коефицијента водопропустљивости. Велику улогу на коефицијент водопропустљивости има порозност очврслог бетона, као и количина отворених пора кроз које вода може да продре. На слици 5.21 је дат приказ зависности коефицијента водопропустљивости и порозности порозних бетона *PB P4-0* (слика 5.21 лево) и *PB R4-0* (слика 5.21 десно). За обе мешавине урађена је полиномска функција, односно коефицијент корелације за мешавину *PB P4-0* износи 0,095 тј. припада групи врло слабе корелације док мешавина *PB R4-0* има коефицијент који је већи од *PB P4-0*, тј., износи 0,71 и припада групи јаке корелације. Закључено је да порозни бетони са природним агрегатом имају доста слабију вредност корелације, односно не запажа се поуздана зависност, као код бетона са рециклираним агрегатом.



Слика 5.21 Приказ зависности између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне *PB P4-0* (лево) и *PB R4-0* (десно)

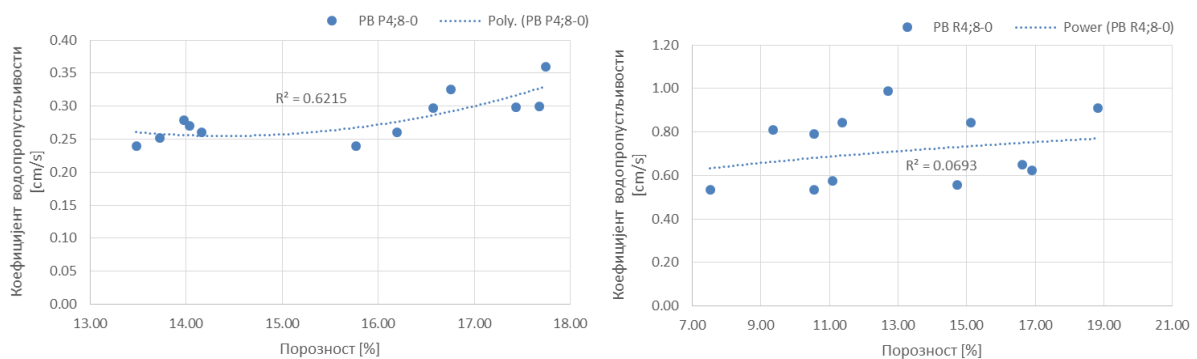
За пројектоване бетоне *PB P8-0* (слика 5.22 лево) и *PB R8-0* (слика 5.22 десно) расипање резултата је осредње. Потврда ове претпоставке је и коефицијент корелације који показује да бетон који је пројектован са природним агрегатом, фракције 8/16 mm има вредност коефицијента корелације

0,667, односно припада групи слабе корелације. Порозни бетон који је пројектован са рециклираним агрегатом, фракције 8/16 mm без минералног додатка има већу вредност коефицијента корелације (0,726) и припада групи јаке корелације. Закључује се да порозни бетони који су пројектовани са рециклираним агрегатом, треће фракције има бољу зависност у односу на бетоне који су пројектовани са природним агрегатом исте фракције.



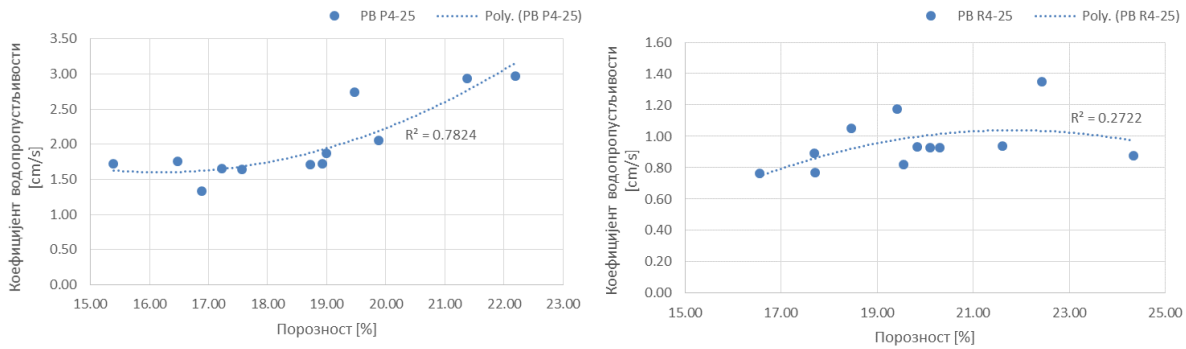
Слика 5.22 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P8-0 (лево) и PB R8-0 (десно)

Примећује се да повећањем порозности расте и вредност коефицијента водопропустљивости (слика 5.23). Са слике се запажа да је расипање резултата различито и да је могуће успоставити поуздану корелацију код порозног бетона са природним агрегатом (слика 5.23 лево), док код бетона који су справљени са рециклираним агрегатом (слика 5.23 десно) није могуће успоставити поуздану корелацију. Са слике 5.23 десно приметно је да расипање резултата је велико и коефицијент корелације је доста мали и припада групи тзв. врло слабој корелацији.



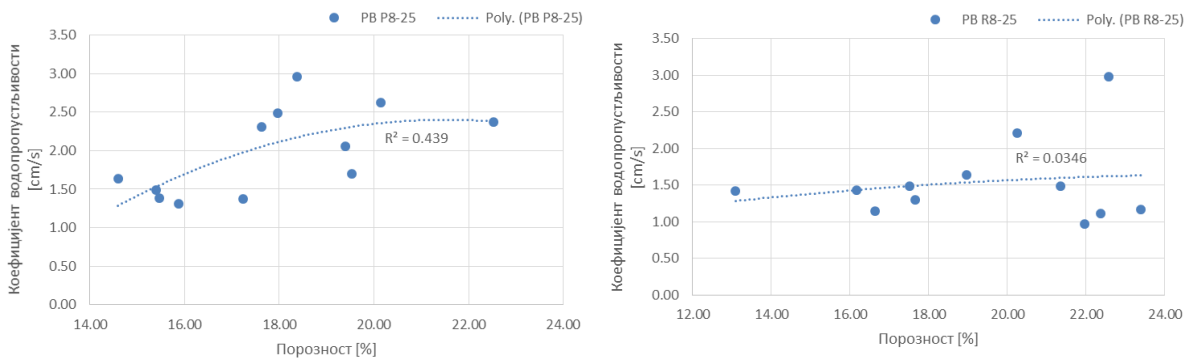
Слика 5.23 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P4;8-0 (лево) и PB R4;8-0 (десно)

Употреба електрофилтерског пепела као замене цемента, добро се показује код бетона који су пројектовани са природним агрегатом, него код бетона са рециклираним агрегатом. На слици 5.24 су приказани порозни бетони који су справљени са комбинацијом фракција агрегата (4/8 и 8/16 mm). Приликом одређивања зависности, изабрана је полиномска функција која је имала бољу поузданост у односу на остале функције. Вредности коефицијената корелације су променљиве, односно за бетон PB P4-25 вредност коефицијента припада јакој корелацији (0,88), док за бетоне PB R4-25 припада групи слабе корелације (0,521). Закључено је да порозни бетон са учешћем минералног додатка има доста бољу зависност код бетона који су пројектовани са природним агрегатом него код бетона са рециклираним агрегатом.



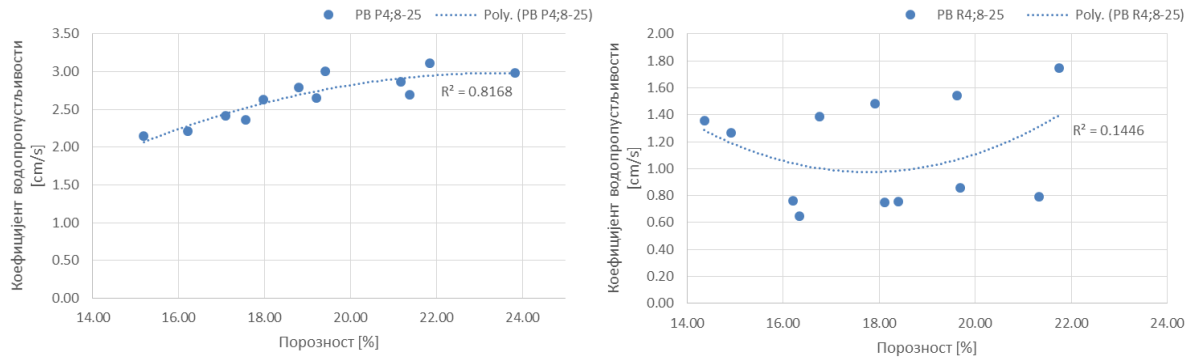
Слика 5.24 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P4-25 (лево) и PB R4-25 (десно)

Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности за неке порозне бетоне су лоше успостављене. Проблем се јавља када приликом исте количине пора имамо различите вредности коефицијента водопропустљивости, чиме се запажа да има доста затворених пора које не дозвољавају да вода продре кроз испитане бетоне. На слици 5.25 су приказани порозни бетони PB P8-0 и PB R8-0, при чему порозан бетон справљен са природним агрегатом имају коефицијент корелације 0,662 који припада групи слабе корелације. Порозни бетон справљен са рециклираним агрегатом има коефицијент корелације 0,186 и припада групи врло слабе корелације.



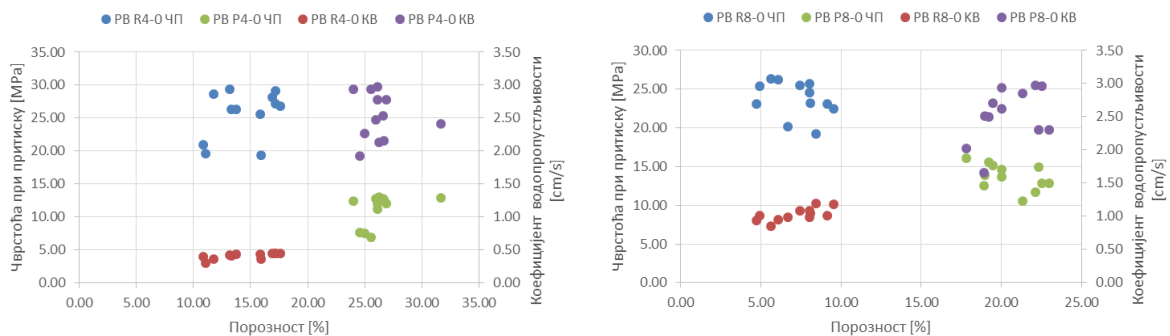
Слика 5.25 Зависност коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P8-25 (лево) и PB R8-25 (десно)

Порозни бетони који су пројектовани са природним агрегатом и минералним додатком дају боље корелације, у односу на бетоне са рециклираним агрегатом, што је приметно са слике 5.26. Са слике се уочава да повећањем порозности расте постепено и коефицијент водопропустљивости. За обе врсте порозних бетона, успостављена је полиномска функција која показује најбољу зависност између већ наведених резултата испитивања. Вредности коефицијената корелације припадају групи врло јаке корелације (0,903) за порозни бетон PB P4;8-25, односно припадају групи врло слабе корелације (0,380) за бетон PB R4;8-25.



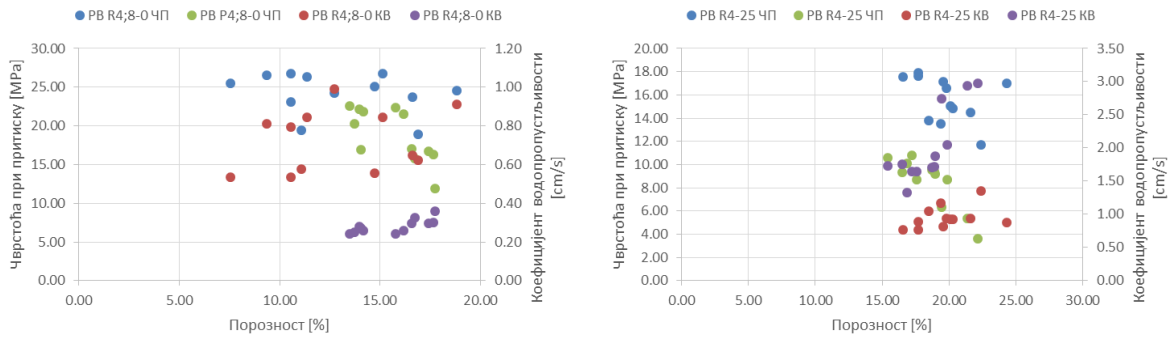
Слика 5.26 Зависност између коефицијента водопропустљивости и порозности за порозне бетоне PB P4;8-25 (лево) и PB R4;8-25 (десно)

Порозност такође утиче и на чврстоћу при притиску. На слици 5.27 је дат приказ зависности између чврстоће при притиску и коефицијента водопропустљивости од порозности за порозне бетоне са различитим врстама агрегата са истом фракцијом. Слика 5.27 лево приказује порозне бетоне који су пројектовани са фракцијом 4/8 mm, рециклираног и природног агрегата без учешћа минералног додатка, односно слика 5.27 десно приказује порозне бетоне справљене са фракцијом 8/16 mm. Приметно је велико расипање резултата за чврстоћу при притиску и коефицијент водопропустљивости, на основу чега није могуће да се успостави поуздана корелација.



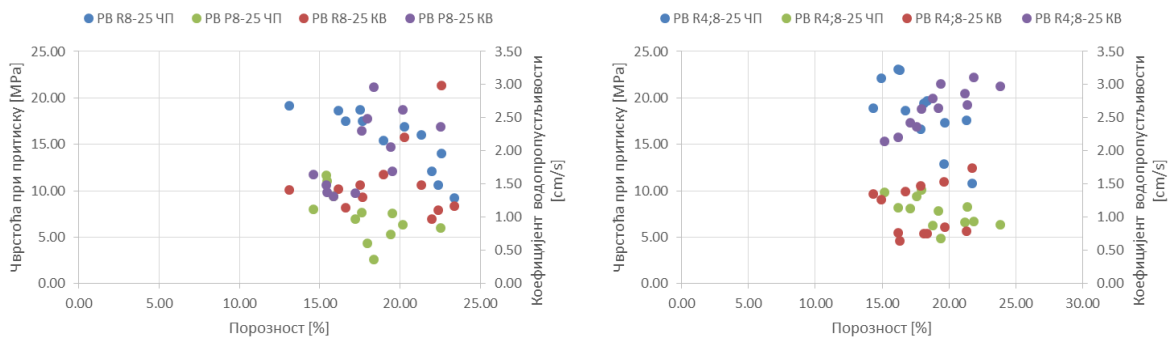
Слика 5.27 Зависност између чврстоће при притиску и коефицијента водопропустљивости од порозности за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0

Слика 5.28 приказује зависност између чврстоће при притиску и коефицијента водопропустљивости од порозности за порозне бетоне који су справљени са комбинацијом друге и треће фракције агрегата (слика 5.28 лево) и справљени са другом фракцијом и учешћем пепела (слика 5.28 десно). Опажа се да је расипање резултата са комбинацијом агрегата знатно веће и није могуће успоставити поуздану корелацију, што означава да је порозни бетонски коловоз јако осетљив и да се не показује добро са комбинацијом фракцијама агрегата. Сличан случај се појављује код пепела, само што је расипање резултата у границама од 15% до 25% порозности и бетон показује различите вредности чврстоће при притиску и коефицијента водопропустљивости, за приближно исте вредности порозности.



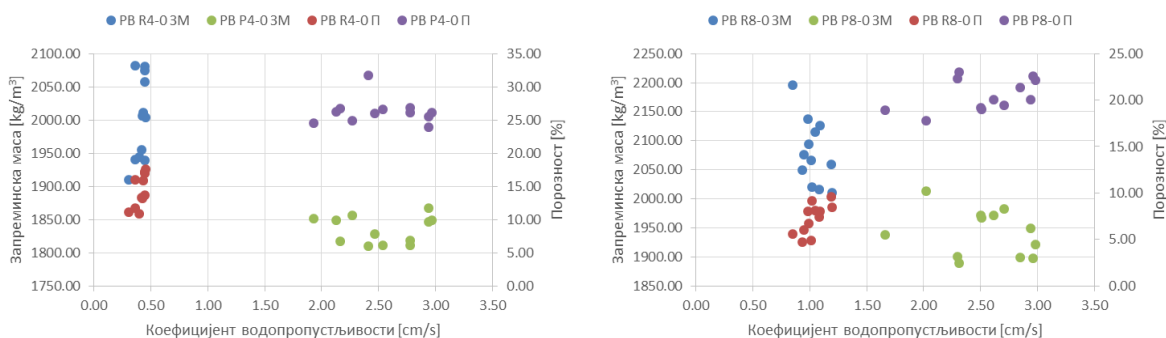
Слика 5.28 Зависност између чврстоће при притиску и коефицијента водопропустљивости од порозности за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25

Трећа фракција агрегата показује најбоље резултате истраживања са учешћем пепела за већ поменуте зависности (слика 5.29 лево). Запажа се да смањењем порозности расте чврстоћа при притиску и смањује се коефицијент водопропустљивости за обе врсте агрегата. Порозни бетони који су пројектовани са различитим учешћем друге и треће фракције агрегата доводе до великог расипања резултата и не може се постићи поуздана корелација што се примећује на слици 5.29 десно.



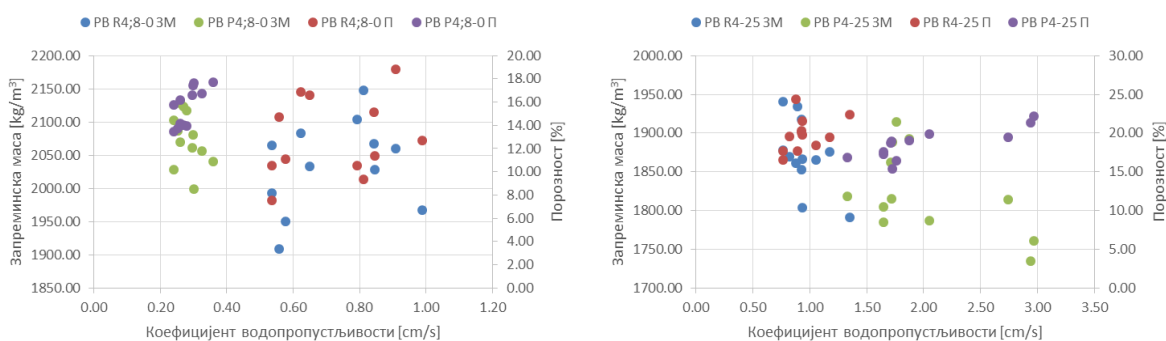
Слика 5.29 Зависност између чврстоће при притиску и коефицијента водопропустљивости од порозности за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25

Поред приказаних зависности које су претходно обрађене, такође је интересантна зависност запреминске масе очврслог бетона и порозности у односу на коефицијент водопропустљивости. На слици 5.30 лево се показује велика разлика резултата за исту вредност коефицијента водопропустљивости код бетона са рециклираним агрегатом док је исти случај и код бетона који су пројектовани са трећом фракцијом агрегата (слика 5.30 десно). Код бетона са природним агрегатом расипање резултата је веће у односу на бетоне са рециклираним агрегатом. Распростирање резултата за бетоне са рециклираним агрегатом показују да за исту вредност коефицијента водопропустљивости бетон има различите вредности запреминске масе очврслог бетона и порозности, што теоретски није могуће. Један од разлога ове појаве је велика количина шупљина.



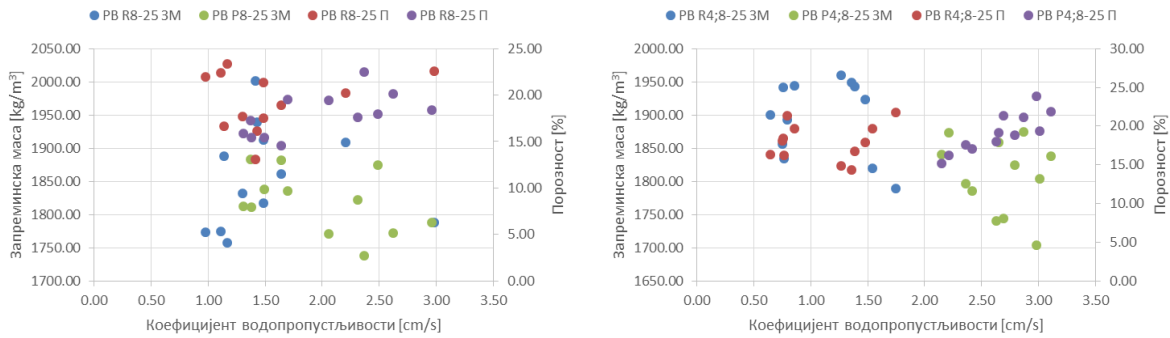
Слика 5.30 Зависност између запреминске масе очврслог бетона и порозности од коефицијента водопропустљивости за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0

Вредности резултата порозних бетона са учешћем обе фракције агрегата дају шаролике вредности испитивања, односно дају велико одступање резултата, па није могуће успоставити поуздану корелацију за дате узорке (слика 5.31 лево). Слична прича је и код бетона који су справљени са другом фракцијом и са учешћем минералног додатка (слика 5.31 десно), где је приметно велико расипање резултата и где није могуће успоставити поуздану корелацију (има и случајева где при истој вредности коефицијента водопропустљивости добијамо различите вредности запреминске масе очврслог бетона и порозности).



Слика 5.31 Зависност између запреминске масе очврслог бетона и порозности од коефицијента водопропустљивости за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25

Порозни бетони пројектовани са фракцијама агрегата 8/16 mm, дају најбоље резултате истраживања са учешћем минералног додатка (слика 5.32 лево). Са слике 5.32 лево је приметно да је велико расипање резултата и није могуће успоставити поуздану корелацију, али уједно се види са дијаграма да повећањем коефицијента водопропустљивости расте порозност, а смањује се запреминска маса очврслог бетона. На слици 5.32 десно није могуће успоставити поуздану корелацију, а самим тим не може ни да се дође до закључка да се повећањем коефицијента водопропустљивости повећава порозност, а смањује запреминска маса очврслог бетона. Запажа се да је расипање резултата значајно велико и да је тешко уочити неку логичност и повезаност, због чега се може закључити да је порозни бетон јако осетљива бетонска мешавина и да није препоручљиво коришћење две различите фракције агрегата приликом справљања бетона.



Слика 5.32 Зависност између запреминске масе очврслог бетона и порозности од коефицијента водопропустљивости за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25

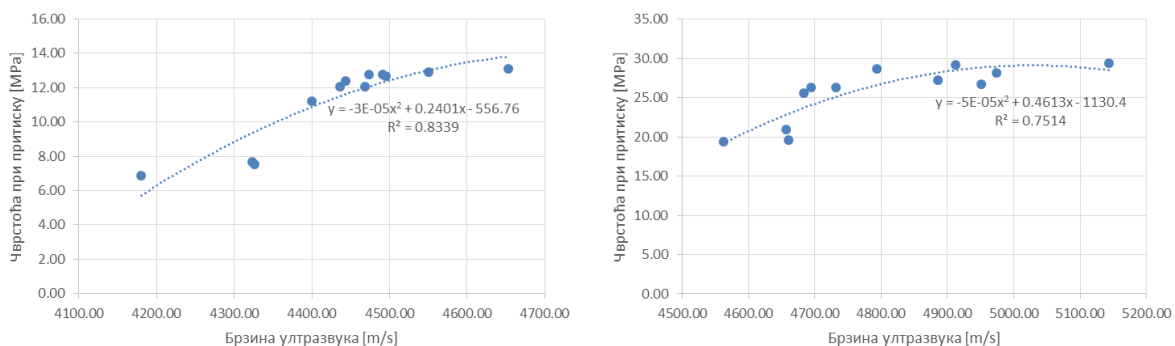
Генерално посматрано, код зависности које су урађене за коефицијент водопропустљивости, примећује се да:

- коришћење пепела као замена цемента, доводи до великог расипања резултата при истим вредностима коефицијената водопропустљивости,
- порозни бетони који се састоје са две различите фракције агрегата, било од природног или рециклираног, дају велико расипање резултата и није могуће успоставити било какву корелацију како би се дошло до неких закључака. Порозни бетон је јако осетљив бетон приликом справљања и најбоље се показује применом са фракцијама 8/16 mm, које дају логичке резултате истраживања.

## 5.9 НЕДЕСТРУКТИВНА МЕТОДА ИСПИТИВАЊА

### 5.9.1 Испитивање ултразвучном методом

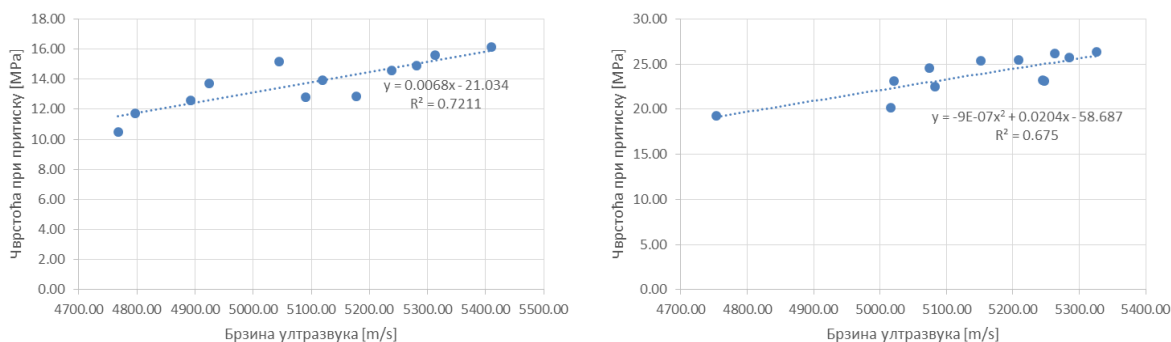
Након испитивања недеструктивне (ултразвучне) методе и одређивања чврстоће при притиску, урађене су зависности и успостављене корелације за сваки испитани порозни бетон. Корелације су углавном полиномске функције, а на неким порозним бетонима је урађена и експоненцијална функција јер приказује значајно боље резултате у односу на полиномску функцију. На слици 5.33 лево је приказан порозни бетон PB P4-0, а на слици 5.33 десно бетон PB R4-0. На сваком дијаграму исписана је једначина, као и коефицијент корелације и закључено је да оба порозна бетона имају поуздану корелацију односно имају поуздано успостављену полиномску функцију.



Слика 5.33 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне PB P4-0 (лево) и PB R4-0 (десно)

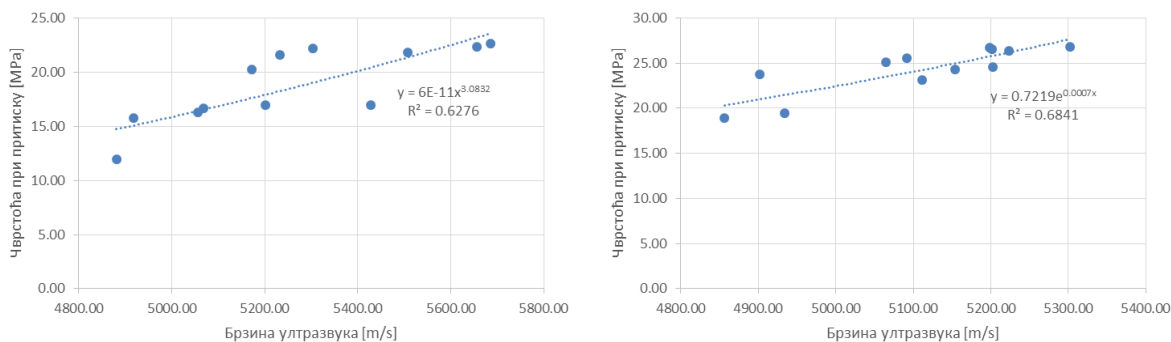


Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне *PB P8-0* и *PB R8-0* су приказане на сликама 5.34 лево и 5.34 десно. Код порозног бетона *PB P8-0* урађена је линеарна функција, а за бетон *PB R8-0* урађена је полиномска функција. Линеарна функција је изабрана због постизања бољег коефицијента корелације у односу на полиномску функцију. Вредности коефицијента корелације (када се уради квадратни корен) имају вредност 0,849 за порозни бетон *PB P8-0*, односно 0,822 за бетону *PB R8-0*, тј. оба порозна бетона према коефицијенту корелације припадају групи јаке корелације.



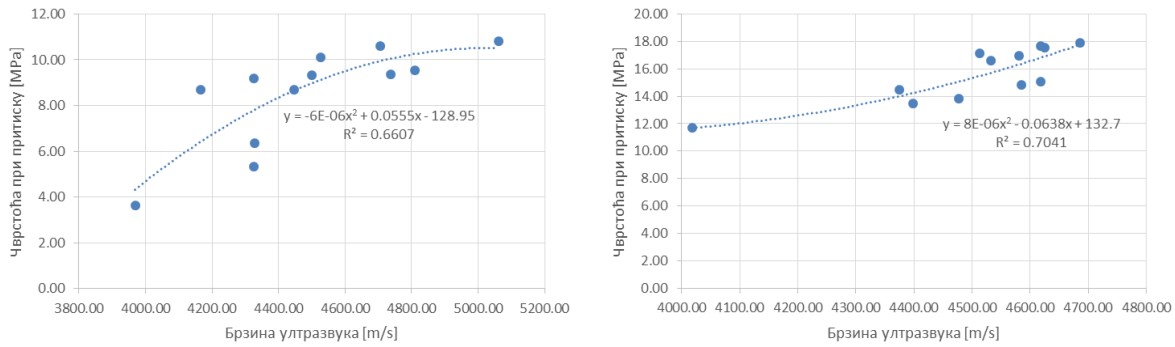
Слика 5.34 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне *PB P8-0* (лево) и *PB R8-0* (десно)

Зависности између чврстоће при притиску и брзине ултразвука порозних бетона *PB P4;8-0* и *PB R4;8-0* приказане су на слици 5.35. Приметно је да су успостављене јаке корелације између оба порозна бетона, при чему коефицијент корелације износи 0,792 за порозни бетон *PB P4;8-0* и 0,827 за бетон *PB R4;8-0*. За оба бетона урађена је експоненцијална функција јер даје знатно боље резултате коефицијента корелације у односу на остале анализирани функције.



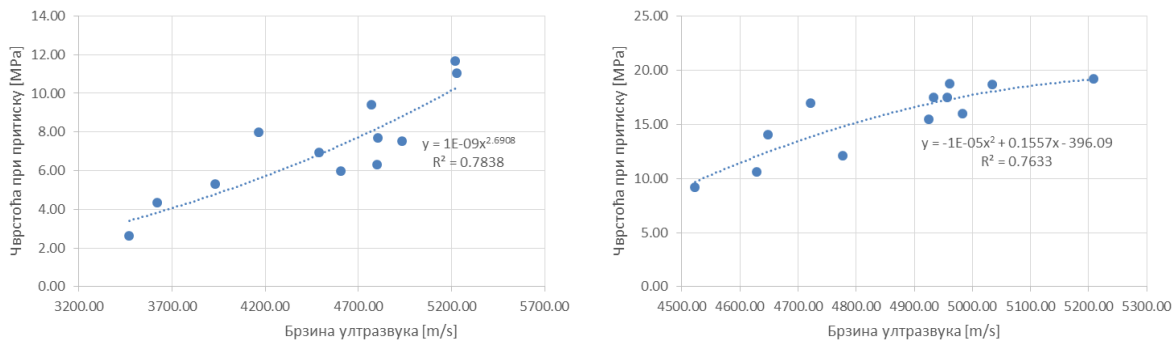
Слика 5.35 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне *PB P4;8-0* (лево) и *PB R4;8-0* (десно)

Функције за бетон *PB P4-25* (слика 5.36 лево) и *PB R4-25* (слика 5.36 десно) је полиномна. Расипање резултата је доста мањег интензитета. За порозни бетон *PB P4-25* добијени коефицијент корелације је 0,813 и припада групи јаке корелације, док порозни бетон *PB R4-25* има коефицијент корелације 0,839 који, такође, припада групи јаке корелације. Повећањем брзине ултразвука расте и чврстоћа при притиску испитаних узорака.



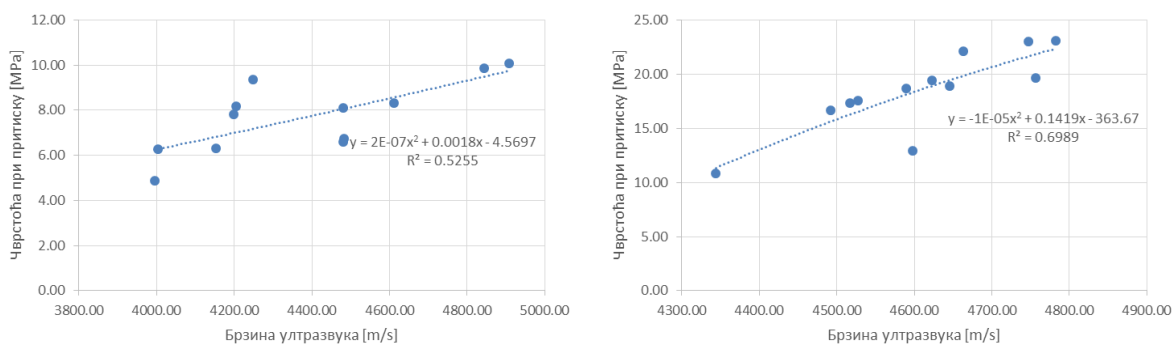
Слика 5.36 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне *PB P4-25* (лево) и *PB R4-25* (десно)

Слика 5.37 лево приказује зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозни бетон *PB P8-25*, где се запажа да је успостављена експоненцијална функција са јаком зависношћу. Коефицијент корелације износи 0,885, који припада групи јаке корелације. Порозни бетон *PB R8-25* је приказан на слици 5.37 десно. Како би се постигла што боља зависност, урађена је полиномска функција уз коефицијент корелације (0,874) који припада групи јаке корелације.



Слика 5.37 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне *PB P8-25* (лево) и *PB R8-25* (десно)

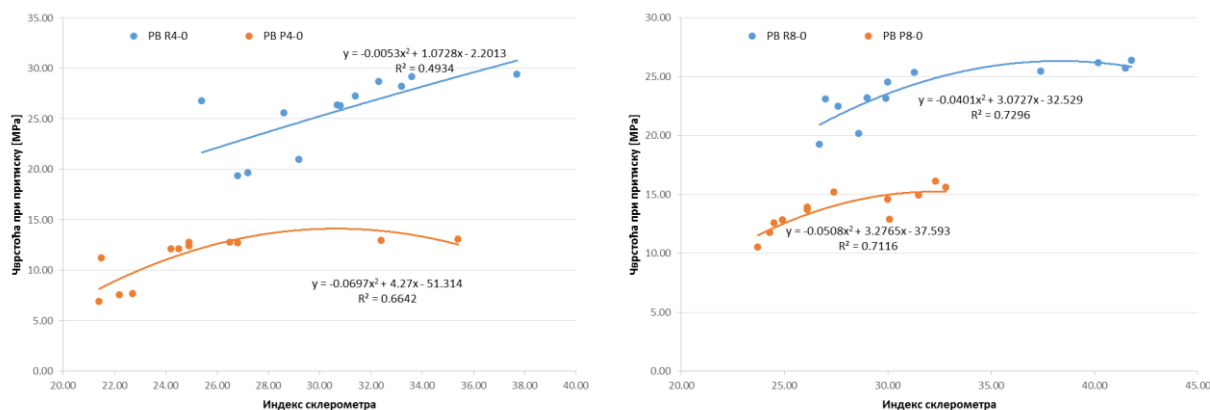
Како би се постигла што боља зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне *PB P4;8-25* (слика 5.38 лево) и *PB R4;8-25* (слика 5.38 десно) урађена је полиномска функција. Доказ да је постигнута добра зависност је коефицијент корелације који износи 0,724 за порозни бетон *PB P4;8-25* односно 0,836 за бетон *PB R4;8-25*. Оба коефицијента припадају тзв. групи јаке корелације. Запажа се да повећањем брзине ултразвука расте и чврстоћа при притиску.



Слика 5.38 Зависност између чврстоће при притиску и брзине ултразвука за порозне бетоне *PB P4;8-25* (лево) и *PB R4;8-25* (десно)

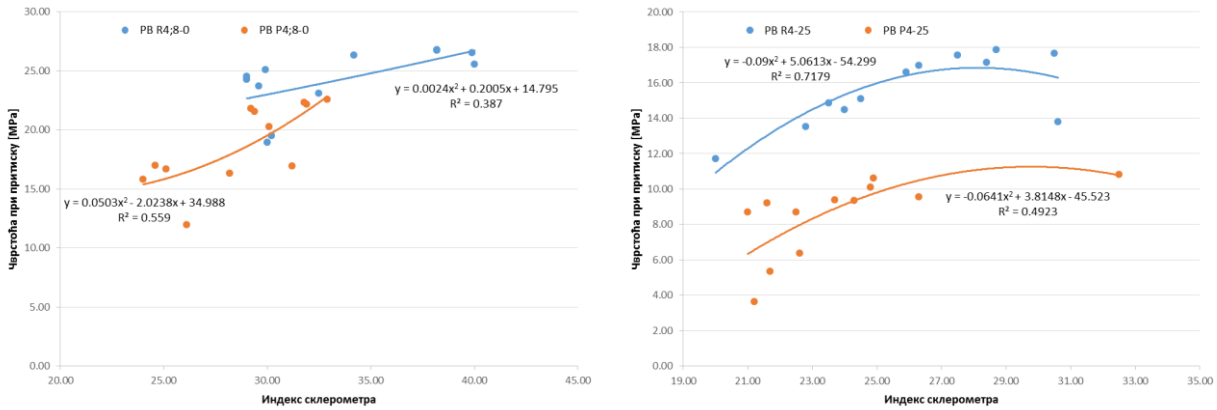
**5.9.2 Испитивање склерометром**

Резултати индекса склерометра су урађени у облику дијаграма, односно приказана је зависност између средње вредности индекса склерометра и испитане вредности чврстоће при притиску. Поред коефицијента корелације приказане су и добијене једначине за дату зависност. Свим коефицијентима корелације потребно је урадити квадратни корен како би се добила права вредност коефицијента корелације. На слици 5.39 је приказана зависност чврстоће при притиску од индекса склерометра за порозне бетоне које су справљене помоћу друге и треће фракције агрегата. Природни агрегат у оба случаја има мању вредност индекса склерометра, а уједно и мању вредност чврстоће при притиску. Код бетона који су справљени са природним агрегатом и фракцијом 4/8 mm (слика 5.39 лево), даје бољу зависност у односу на бетоне са рециклираним агрегатом јер коефицијент корелације за природни агрегат износи 0,815 док за рециклирани износи 0,702, што је за око 13% мања вредност. Бетони који су пројектовани са фракцијом 8/16 mm (слика 5.39 десно), приказују другачије закључке, односно вредности корелације износе 0,854 (са рециклираним агрегатом) и 0,843 (са природним агрегатом), што представља 1,25% мању вредност коефицијента корелације код природног агрегата у односу на рециклирани.



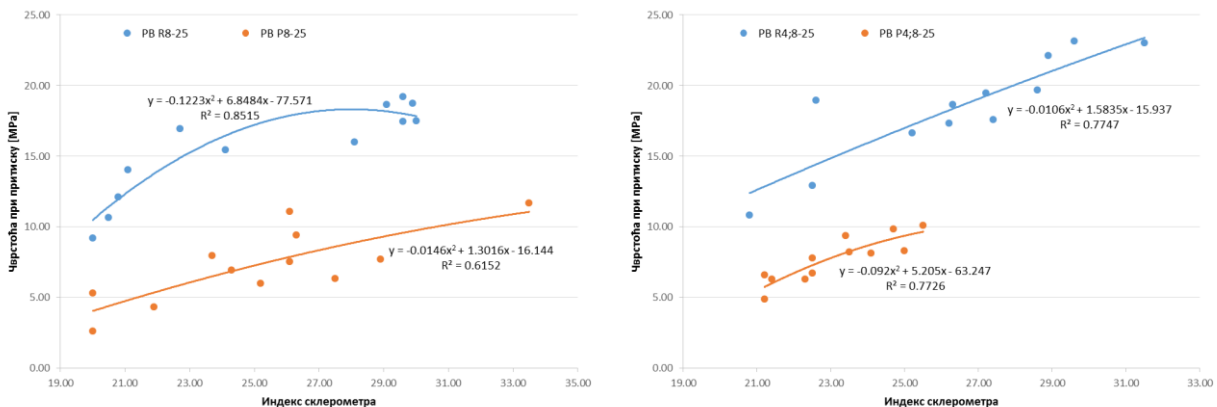
Слика 5.39 Зависност између чврстоће при притиску од индекса склерометра за порозне бетоне PB P4-0, PB R4-0, PB P8-0 и PB R8-0

Комбинацијом агрегата без минералног додатка (слика 5.40 лево), доводи да се коефицијенти корелације разликују за око 17%, односно бетони са природним агрегатом имају већу вредност коефицијента корелације у односу на бетоне са рециклираним агрегатом. Учешће пепела као замена цемента у порозним бетонима који се пројектују са фракцијом 4/8 mm (слика 5.40 десно), представља побољшање за рециклирани агрегат, а доста лоше утиче на бетоне са природним агрегатом. Оба коефицијента припадају групи јаке корелације, што показује да је постигнута поуздана полиномна функција за овај тип испитивања. Разлика у коефицијенту корелације је за око 17%, односно бетони са рециклираним агрегатом имају већу вредност у односу на природни за 17%.



Слика 5.40 Зависност између чврстоће при притиску од индекса склерометра за порозне бетоне PB P4;8-0, PB R4;8-0, PB P4-25 и PB R4-25

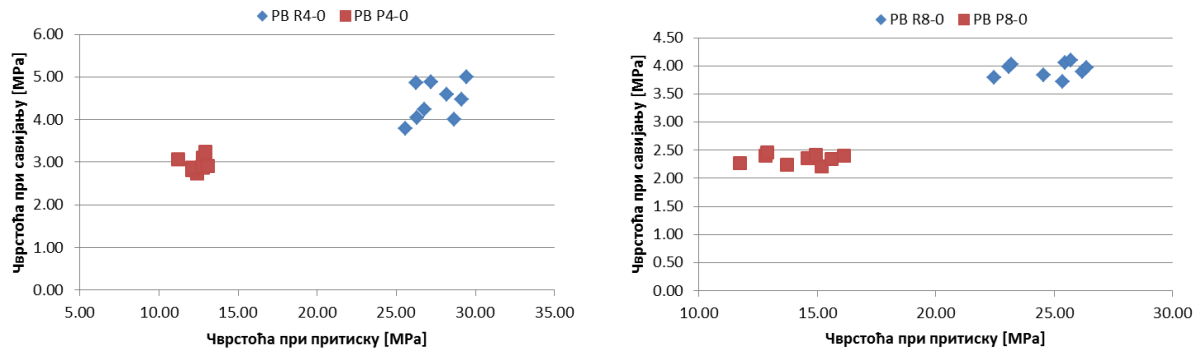
Учешће пепела, такође, поспешује бетоне са рециклираним агрегатом, са учешћем треће (слика 5.41 лево) и комбинацијом двеју фракција (слика 5.41 десно). Комбинацијом агрегата 4/8 и 8/16 mm, пепео доста боље утиче на зависност између чврстоће при притиску од индекса склерометра, што је приметно на слици 5.41 десно. Вредности коефицијената корелације су доста веће и већином припадају јакој корелацији, док бетон који је справљен са трећом фракцијом рециклираног агрегата даје најбоље вредности коефицијента корелације и припада групи врло јаке корелације.



Слика 5.41 Зависност између чврстоће при притиску од индекса склерометра за порозне бетоне PB P8-25, PB R8-25, PB P4;8-25 и PB R4;8-25

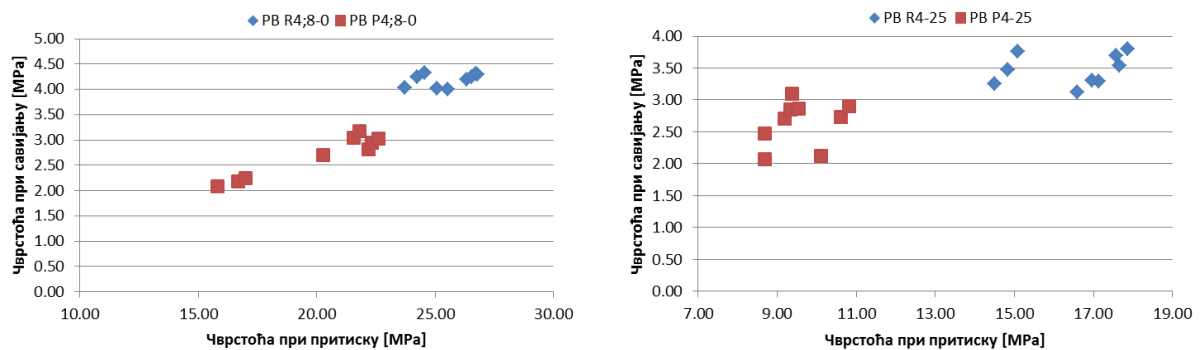
## 5.10 ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

У овом поглављу је дат приказ корелација карактеристичних физичко-механичких својстава порозних бетона, како би се што лакше дошло до закључака. На слици 5.42 је приказан однос чврстоће при савијању и чврстоће при притиску, за бетоне који су справљени са другом и трећом фракцијом агрегата без учешћа минералних додатака. Запажа се да повећањем чврстоће при притиску расте и чврстоћа при савијању за ове две врсте фракција агрегата (слика 5.42).



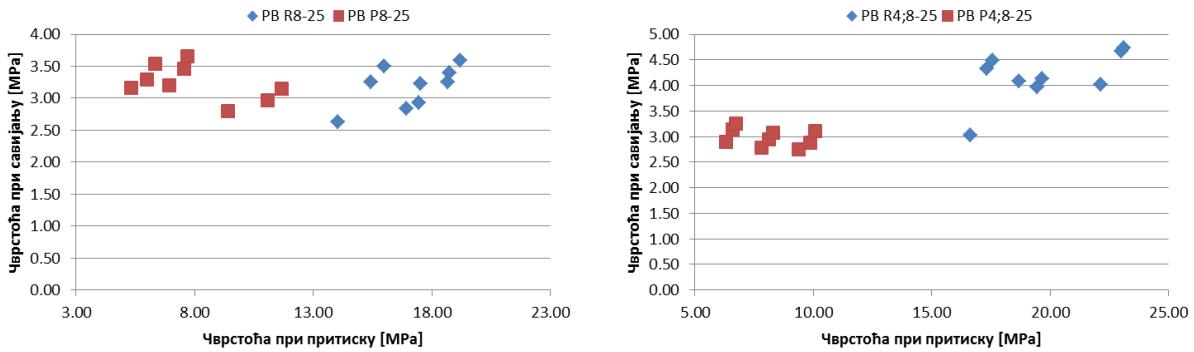
Слика 5.42 Зависност између чврстоће при савијању од чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0

Порозни бетони који су справљени са комбинацијом друге и треће фракције агрегата без учешћа минералног додатка приказане су на слици 5.43 лево. Код оваквих порозних бетона се запажа да повећањем чврстоће при притиску, повећава се и чврстоћа при савијању. Справљањем порозних бетона са другом фракцијом и учешћем минералног додатка, долази до истог закључка као и порозни бетони пројектовани комбинацијом са фракцијама 4/8 и 8/16 mm (слика 5.43 десно).



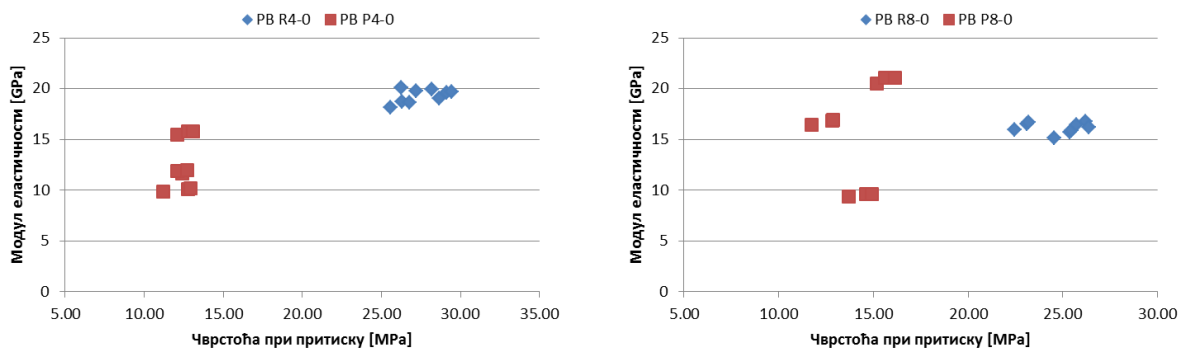
Слика 5.43 Зависност између чврстоће при савијању и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25

Порозни бетони пројектовани са фракцијом 8/16 mm и учешћем летећег пепела приказани су на слици 5.44 лево. Са слике се запажа да повећавањем чврстоће при притиску, чврстоћа при савијању се налази у границама од 2,5 до 3,7 MPa. Сличан закључак је и код порозног бетона који је справљен са комбинацијом фракција 4/8 и 8/16 mm и учешћем летећег пепела (слика 5.44 десно). Једина разлика се огледа у томе што су границе променљиве код порозног бетона са рециклираним агрегатом и бетоном са природним агрегатом. Како се чврстоћа при притиску повећава, тако се чврстоћа при савијању налази у границама од 2,50 до 3,50 MPa за порозне бетоне са природним агрегатом, а за порозне бетоне са рециклираним агрегатом границе чврстоће при савијању се налазе од 4,00 до 5,00 MPa приликом повећавања чврстоће при притиску.



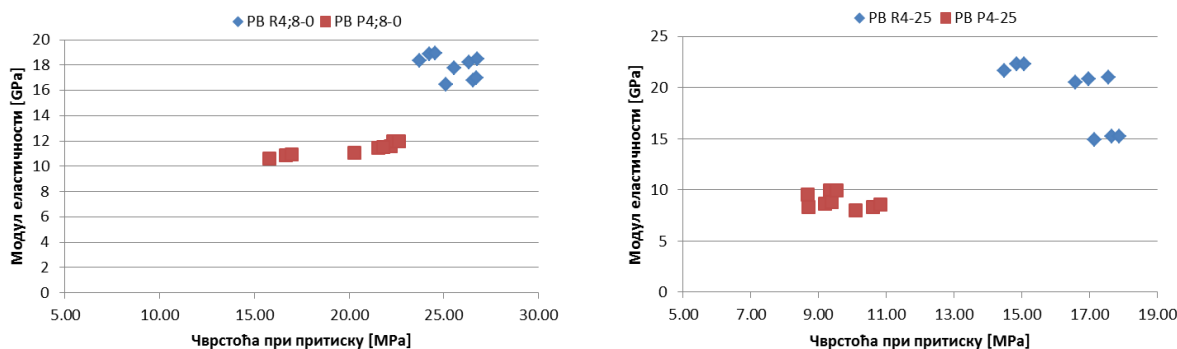
Слика 5.44 Зависност између чврстоће при савијању и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25

На наредним сликама дат је приказ зависности између модула еластичности и чврстоће при притиску. Порозни бетони PB R4-0 и PB P4-0 приказани су на слици 5.45 лево, где се запажа да код бетона са рециклираним агрегатом имају зависност, односно повећавањем чврстоће при притиску, повећава се и чврстоћа при савијању. Код порозних бетона, који су пројектовани са природним агрегатом, имају приближно исте вредности чврстоће при притиску, док се модул еластичности разликује. Исти закључак и запажање се јавља код порозних бетона који су справљени са фракцијом 8/16 mm (слика 5.45 десно).



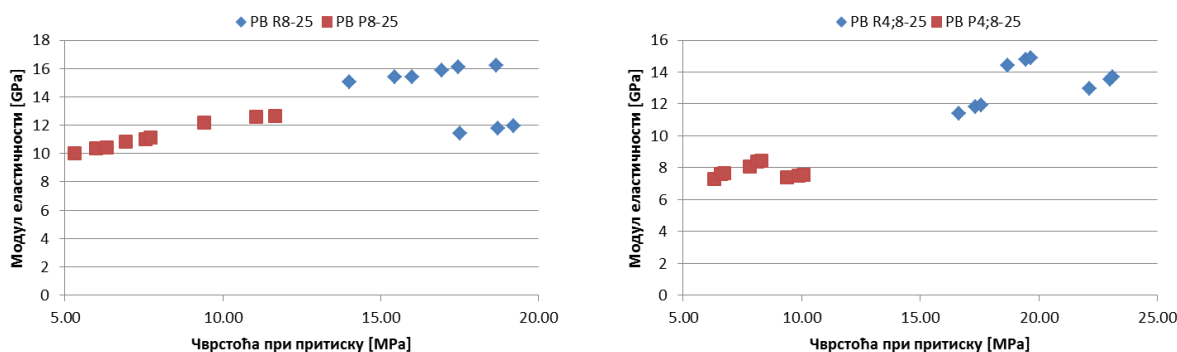
Слика 5.45 Зависност између модула еластичности и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0

Комбинацијом друге и треће фракције агрегата без минералног додатка доводи до тога да порозни бетони који су пројектовани са рециклираним агрегатом имају одређену зависност да се повећавањем чврстоће при притиску повећава модул еластичности, док код бетона који су пројектовани са природним агрегатом то није случај (слика 5.46 лево). Порозни бетони пројектовани са природним агрегатом постижу да повећавањем чврстоће при притиску, модул еластичности се простире у границама од 10 до 12 GPa. Код порозних бетона који су пројектовани са фракцијом 4/8 mm природног агрегата и са учешћем летећег пепела, статички модул еластичности је у границама од 7 до 10 GPa са повећањем чврстоће при притиску. Код бетона са рециклираним агрегатом, модул еластичности је у границама од 15 до 22 GPa.



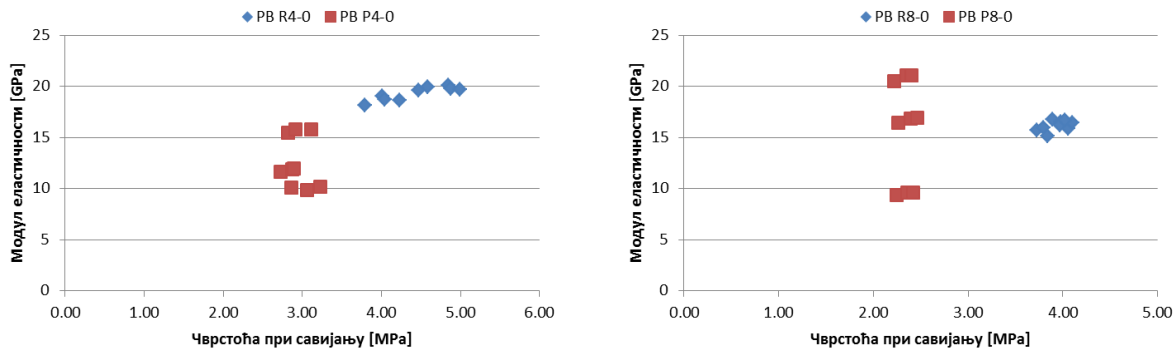
Слика 5.46 Зависност између модула еластичности и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25

Зависност модула еластичности од чврстоће при притиску за порозне бетоне справљене са трећом фракцијом и учешћем минералног додатка (слика 5.47 лево), показује да код бетона са природним агрегатом постоји могућност за поузданом корелацијом, односно повећавањем чврстоће при притиску расте и модул еластичности. Резултати испитивања бетона са рециклираним агрегатом дају доста велико расипање резултата код оваквог вида истраживања и не може се запазити поменути тренд пораста резултата. Комбинацијом агрегата и додатком пепела, као замене за цемент, добија се, такође, расипање резултата, односно порозни бетони пројектовани са природним агрегатом немају зависност, јер повећавањем чврстоће при притиску модул еластичности има расипање резултата у границама од 7 до 9 GPa (слика 5.47 десно). Порозни бетони пројектовани са рециклираним агрегатом немају зависност, јер повећавањем чврстоће при притиску модул еластичности има пораст па пад (слика 5.47 десно).



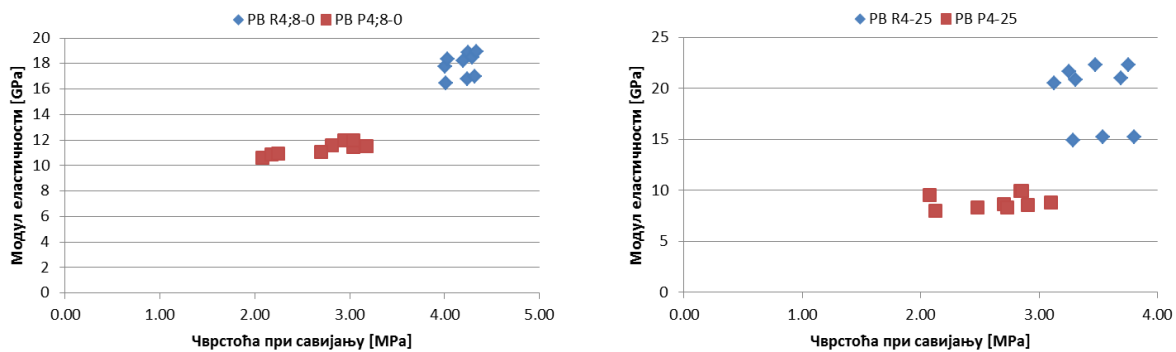
Слика 5.47 Зависност између модула еластичности и чврстоће при притиску за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25

Зависност модула еластичности од чврстоће при савијању је принципијално слична јер не може да се успостави поуздана корелација и долази до расипања резултата различитог интензитета у зависности од састава порозних бетона. Бетон справљен са другом фракцијом природног агрегата (слика 5.48 лево) има концентрацију резултата на једном делу површине и приметно је да се при истим вредностима чврстоће при притиску добијају различите вредности модула еластичности. Бетони са рециклираним агрегатом имају бољу зависност и закључује се да повећавањем чврстоће при савијању повећава се модул еластичности. Код бетона који је справљен са трећом фракцијом агрегата (слика 5.48 десно) имају исте закључке као и порозни бетони који су пројектовани са другом фракцијом агрегата.



Слика 5.48 Зависност између модула еластичности и чврстоће при савијању за порозне бетоне PB R4-0, PB P4-0, PB R8-0 и PB P8-0

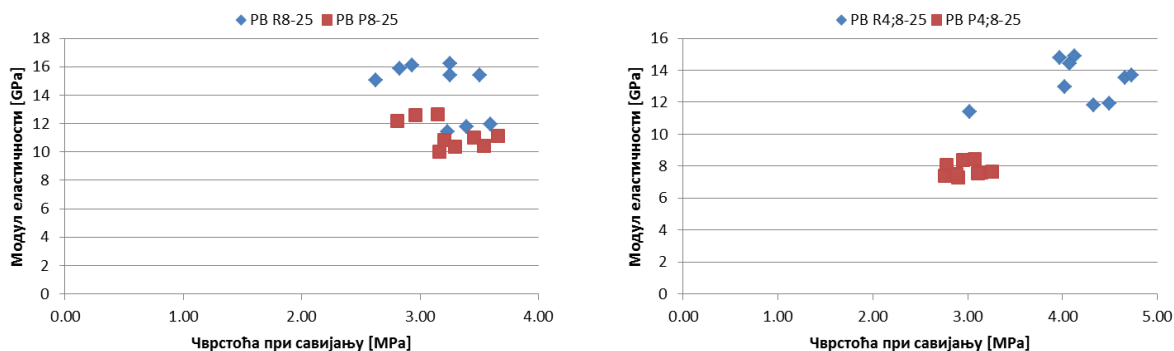
Комбинацијом друге и треће фракције агрегата (слика 5.49 лево), порозни бетони који су справљени са природним агрегатом имају неку зависност, односно повећањем чврстоће при савијању постепено расте и модул еластичности. Бетони справљени са рециклираним агрегатом имају распрострање резултата такво да се тешко може успоставити корелација јер при повећавању вредности чврстоће при савијању, неке вредности расту, а неке опадају (слика 5.49 лево). Исти принцип је и код бетона који су справљени са другом фракцијом агрегата и додатком пепела (слика 5.49 десно).



Слика 5.49 Зависност између модула еластичности и чврстоће при савијању за порозне бетоне PB R4;8-0, PB P4;8-0, PB R4-25 и PB P4-25

Зависност између модула еластичности и чврстоће при савијању за порозне бетоне који су справљени са трећом фракцијом агрегата, показује да се не може одредити поуздана корелација, а уједно бетони са рециклираним агрегатом имају већу вредност модула еластичности од бетона са природним агрегатом (слика 5.50 лево). Са слике 5.50 десно се запажа да бетони са рециклираним агрегатом имају везу да повећавањем чврстоће при савијању модул еластичности је мало променљив. Порозни бетони са рециклираним агрегатом успостављају повезаност тако да повећавањем чврстоће при савијању смањује модул еластичности.

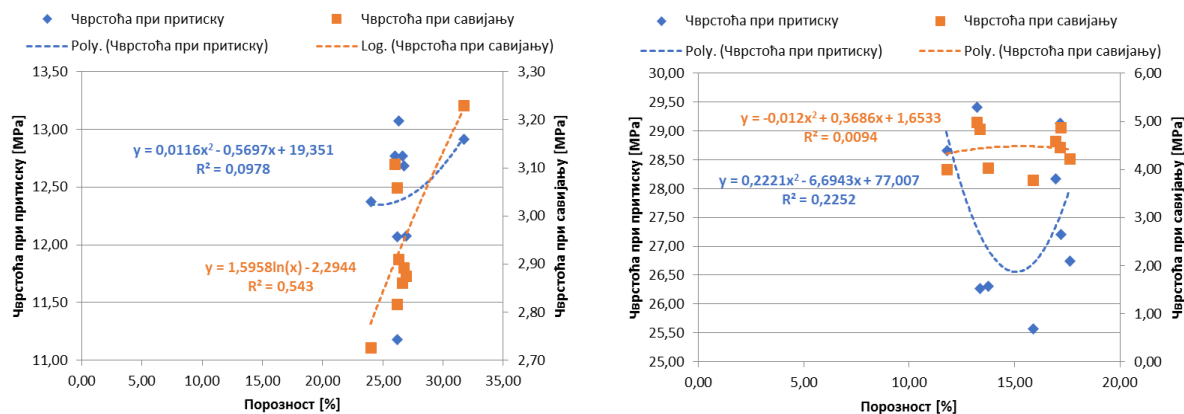




Слика 5.50 Зависност између модула еластичности и чврстоће при савијању за порозне бетоне PB R8-25, PB P8-25, PB R4;8-25 и PB P4;8-25

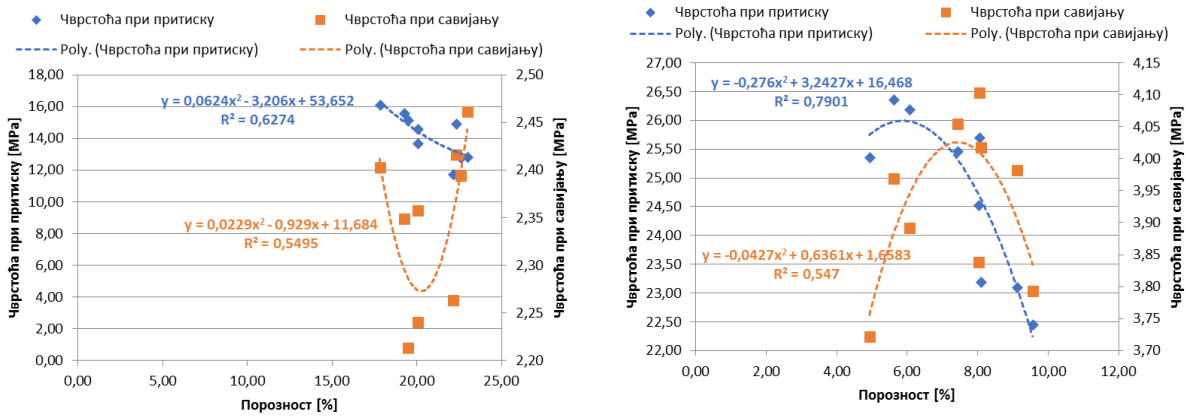
У наредном тексту, акценат се ставља на коментарисање сумарних резултата односно како порозност утиче на чврстоћу при притиску, чврстоћу при савијању и на модул еластичности. На наредним сликама приказане су истражене зависности.

На слици 5.51 је приказана зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за бетоне који су справљени са фракцијом 4/8 mm природним агрегатом (слика 5.51 лево) и рециклираним агрегатом (слика 5.51 десно), без минералног додатка (електрофилтерског пепела). Бетони који су пројектовани са природним агрегатом имају расипање резултата, односно да при истим вредностима порозности добијају се различите вредности чврстоће при савијању и притиску. Слични закључак је и код бетона који су пројектовани са рециклираним агрегатом, само што је расипање резултата веће у односу на порозне бетоне који су израђени са природним агрегатом.



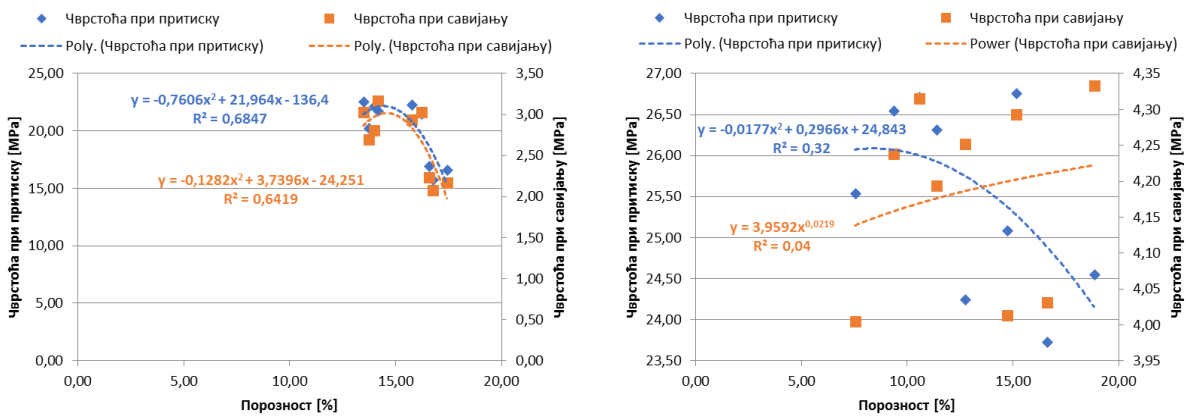
Слика 5.51 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P4-0 (лево) и PB R4-0 (десно)

Порозни бетони пројектовани са трећом фракцијом природног и рециклираног агрегата приказани су на слици 5.52. Запажа се да код порозних бетона који су пројектовани са природним агрегатом, може да се успостави зависност између порозности и чврстоће при притиску, док код порозности и чврстоће при савијању није могуће успоставити зависност. Порозни бетони пројектовани са рециклираним агрегатом имају велико расипање резултата и није могуће успоставити зависност између анализираних својстава очврслог бетона.



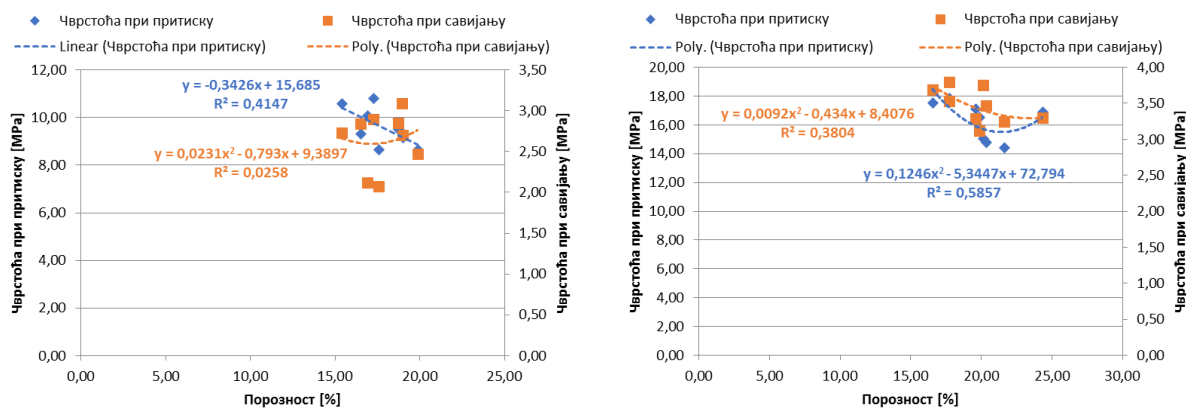
Слика 5.52 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P8-0 (лево) и PB R8-0 (десно)

Бетони који су пројектовани са комбинацијом фракција и са учешћем природног и рециклираног агрегата, приказани су на слици 5.53. Закључује се да се може успоставити зависност између чврстоће при притиску и порозности и чврстоће при савијању и порозности код порозних бетона који су справљени са природним агрегатом (слика 5.53 лево). Порозни бетони који су пројектовани са рециклираним агрегатом (слика 5.53 десно) имају велико расипање резултата и није могуће успоставити билу какву зависност између поменутих физичко-механичких својстава очврслог бетона.



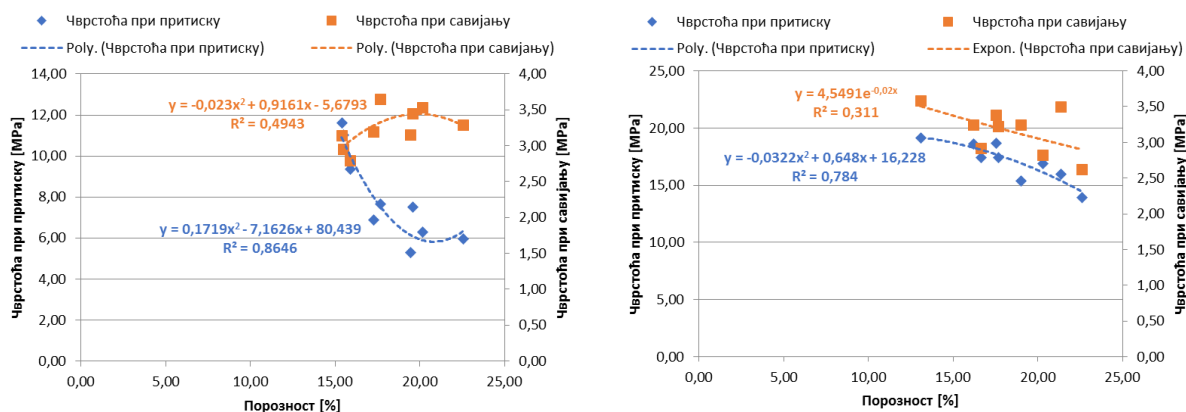
Слика 5.53 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P4;8-0 (лево) и PB R4;8-0 (десно)

Порозни бетони који су пројектовани са фракцијом 4/8 mm и учешћем елелктрофилтерског пепела као замена цемента, приказани су на слици 5.54. Бетони који су пројектовани са природним агрегатом и учешћем пепела (слика 5.54 лево), приказују да чврстоћа при притиску има одређену зависност, односно да се повећавањем порозности долази до смањења чврстоће при притиску, док код чврстоће при савијању није такав случај. Код зависности чврстоће при савијању од порозности не може се закључити да се повећањем порозности смањује чврстоћа при савијању, јер су резултати испитивања неуједначени и није могуће успоставити поуздану зависност. Учешћем минералног додатка код порозних бетона који су справљени са рециклираним агрегатом (слика 5.54 десно) имају боље вредности коефицијената корелације. Код порозних бетона са рециклираним агрегатом се примећује да повећањем порозности смањује се чврстоћа при притиску и чврстоћа при савијању, што представља поуздану зависност.



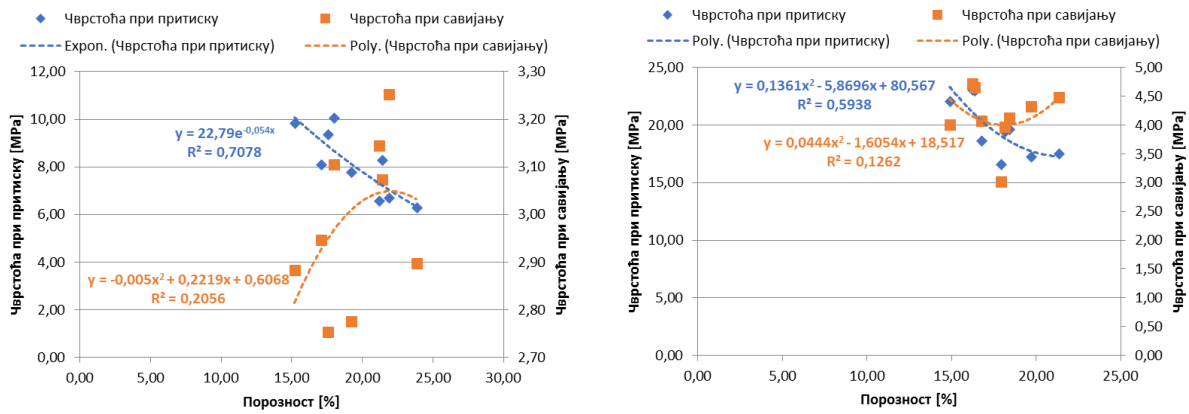
Слика 5.54 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P4-25 (лево) и PB R4-25 (десно)

Порозни бетони PB P8-25 (слика 5.55 лево) и PB R8-25 (слика 5.55 десно) имају сличан тренд резултата као и бетони PB P4-25 и PB R4-25. Једина разлика је у томе што је у бетонима PB P8-25 и PB R8-25 разлика резултата чврстоће при притиску. Коментари су исти као и код бетона PB P4-25 и PB R4-25. Резултати показују доста мање расипање резултата, а за узорке са пепелом могуће је успоставити бољу корелацију (слика 5.55 десно).



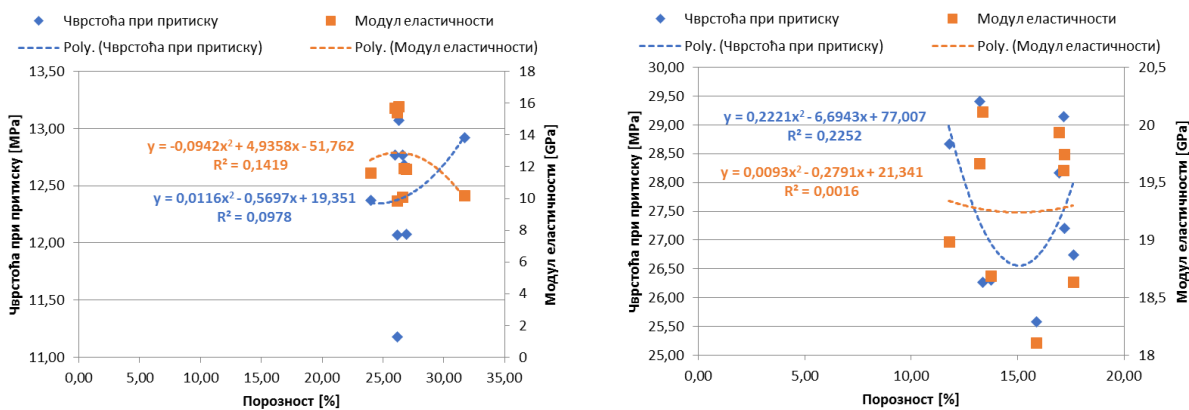
Слика 5.55 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању и порозности за порозне бетоне PB P8-25 (лево) и PB R8-25 (десно)

Бетон са природним агрегатом и додатком пепела показује да се са смањењем порозности повећава чврстоћа при притиску. Код чврстоће при савијању није постигнута уједначеност резултата, приметна је разлика у вредностима резултата и није могуће успоставити поуздану зависност (слика 5.56 лево). Сличан закључак је и код порозних бетона са рециклираним агрегатом (слика 5.56 десно), при чему је расипање резултата мањег интензитета и није могуће успоставити зависност између чврстоће при савијању и порозности, док се зависност може успоставити између чврстоће при притиску и порозности.



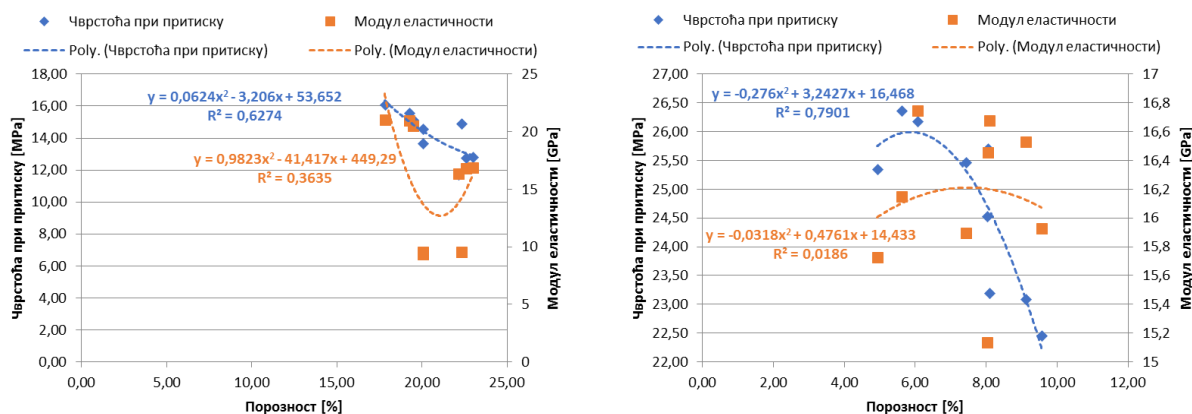
Слика 5.56 Зависност између чврстоће при притиску и чврстоће при савијању од порозности за порозне бетоне PB P4;8-25 (лево) и PB R4;8-25 (десно)

Сумарни приказ резултата испитивања зависности између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности приказан је на наредним сликама. Порозни бетони пројектовани са другом фракцијом природног агрегата без минералног везива (слика 5.57 лево), показују да није могуће успоставити било какву корелацију јер је расипање резултата испитивања велико. На слици 5.57 десно приказан је порозни бетон који је справљен са рециклираним агрегатом фракције 4/8 mm. Са слике 5.57 десно се запажа да није могуће успоставити одређену зависност јер је расипање резултата велико. Закључује се да порозни бетони са природним агрегатом имају доста мања одступања од порозних бетона са рециклираним агрегатом.



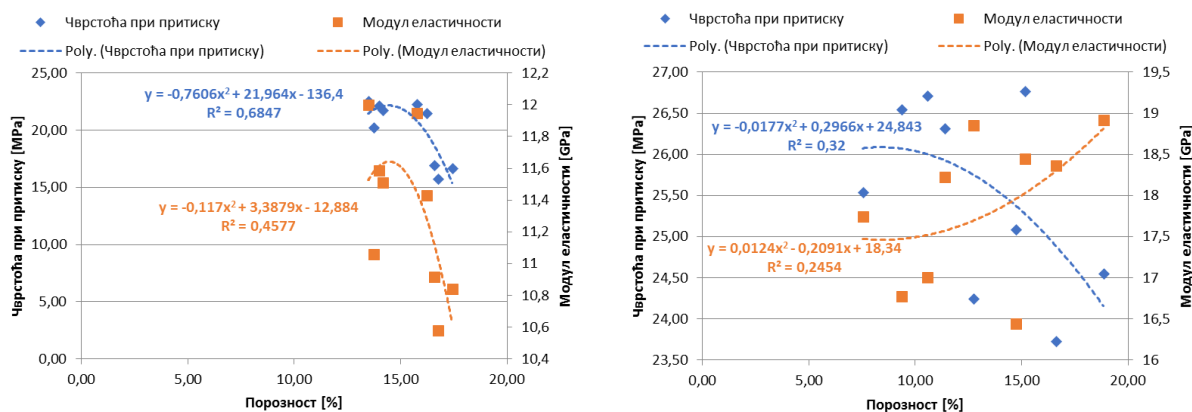
Слика 5.57 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P4-0 (лево) и PB R4-0 (десно)

Порозни бетони који су справљени са трећом фракцијом агрегата (слика 5.58) показују да смањењем порозности долази до пораста чврстоће при притиску, али се то не показује код модула еластичности. Модул еластичности има доста велику разлику резултата и није могуће дефинисати поуздану корелацију код обе врсте порозних бетона (PB P8-0 и PB R8-0).



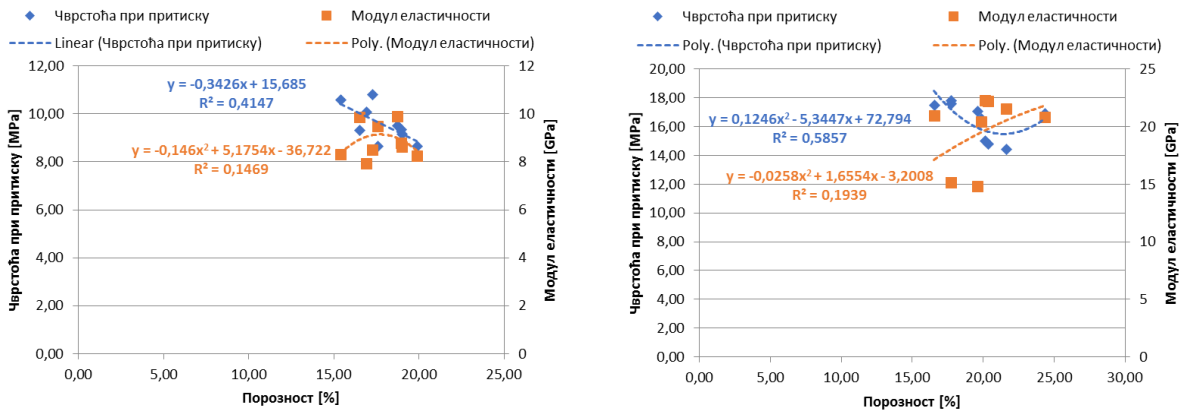
Слика 5.58 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P8-0 (лево) и PB R8-0 (десно)

Пројектовани порозни бетони са природним и рециклираним агрегатом фракција 4/8 и 8/16 mm приказани су на слици 5.59. Бетони са природним агрегатом имају зависност да се повећавањем порозности смањује модул еластичности и чврстоћа при притиску, док код бетона са рециклираним агрегатом имају велико расипање резултата и није могуће успоставити поуздану зависност.



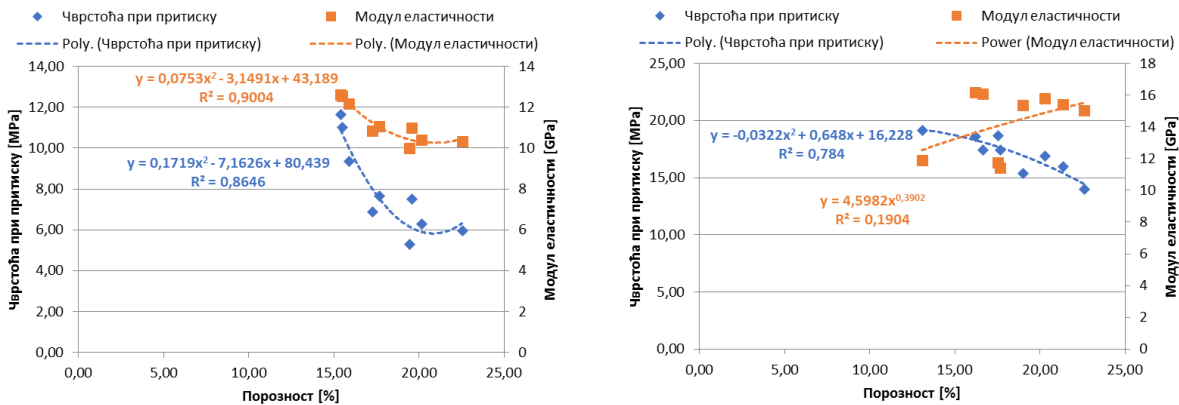
Слика 5.59 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P4;8-0 (лево) и PB R4;8-0 (десно)

Порозни бетони справљени са другом фракцијом агрегата и додатком минералног везива приказани су на слици 5.60. Слика 5.60 лево показује мања одступање резултата, али се може закључити да смањењем порозности долази до повећања чврстоће при притиску, а код модула еластичности се то не може закључити јер је велико расипање резултата. Код порозних бетона са рециклираним агрегатом се запажа (слика 5.60 десно) да се повећањем порозности смањује чврстоћа при притиску, док код модула еластичности се не може успоставити поуздана зависност јер резултати имају велика одступања.



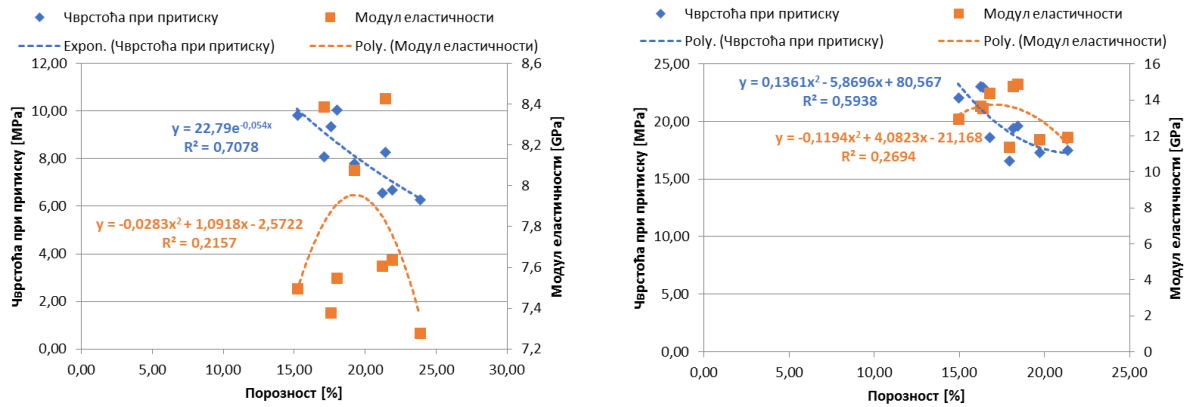
Слика 5.60 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P4-25 (лево) и PB R4-25 (десно)

Порозни бетони справљени са фракцијом 8/16 mm и додатком минералног везива, поспешују резултате и дају бољу зависност (слика 5.61). Са слике 5.61 лево се запажа да се повећавањем чврстоће при притиску и модула еластичности смањује порозност (и обрнуто). Запажа се да је могуће успоставити поуздану корелацију за бетоне са природним агрегатом. Порозни бетони са рециклираним агрегатом (слика 5.61 десно) имају добру зависност између чврстоће при притиску и порозности, док се код модула еластичности исто запажа са пар одступања.



Слика 5.61 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P8-25 (лево) и PB R8-25 (десно)

Порозни бетон PB P4;8-25 приказан је на слици 5.62 лево и примећује се да је расипање резултата велико и да није могуће успоставити корелацију код модула еластичности, док код чврстоће при притиску је могуће успоставити одређену корелацију јер се запажа теоретски однос, да смањењем чврстоће при притиску расте порозност (и обрнуто). Порозни бетон PB R4;8-25 (слика 5.62 десно) има доста мања одступања резултата у односу на бетон без минералног везива. Резултати испитивања се разликују и није могуће успоставити корелацију ни код чврстоће при притиску ни код модула еластичности са порозношћу.



Слика 5.62 Зависност између чврстоће при притиску и модула еластичности од порозности за порозне бетоне PB P4;8-25 (лево) и PB R4;8-25 (десно)

Сумарни приказ успостављених зависности између појединих својстава испитиваних порозних бетона, као и једначине корелације и коефицијенти корелације приказани су у табели 5.1. У већини корелација најчешће је коришћена полиномна једначина, а експоненцијалне, логаритамске и линеарне једначине су примењене у неколико случајева, јер нису омогућавале успостављање квалитетне зависности као полиномна једначина.

Табела 5.1 Сумарни приказ зависности између појединих физичко-механичких својстава

Р.б.	Мешавина	Опис мешавине	Физичко-механичка карактеристика 1 (x)	Физичко-механичка карактеристика 2 (y)	Једначина корелације	Коеф. корелације
1	PB P4-0	Природни агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка	Чврстоћа при притиску	Чврстоћа при савијању	$y = 0.2669x^2 - 6.4602x + 41.921$	0.596
2	PB P8-0	Природни агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка			$y = -0.0015x^2 + 0.0469x + 1.9898$	0.079
3	PB P4;8-0	Природни агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка			$y = 0.1023x^{1.0901}$	0.969
4	PB R4-0	Рециклирани агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка			$y = -0.0657x^2 + 3.7485x - 48.875$	0.453
5	PB R8-0	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка			$y = -0.003x^2 + 0.1598x + 1.8015$	0.17
6	PB R4;8-0	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка			$y = 0.0445x^2 - 2.2121x + 31.626$	0.479
7	PB P4-25	Природни агрегат, фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%			$y = -0.2228x^2 + 4.476x - 19.671$	0.422
8	PB P8-25	Природни агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = -0.0146x^2 + 0.1918x + 2.7137$	0.528
9	PB P4;8-25	Природни агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = 0.0306x^2 - 0.5386x + 5.2851$	0.407
10	PB R4-25	Рециклирани агрегат,			$y = 0.131x^2 - 4.1904x$	0.562



		фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%			+ 36.761	
11	PB R8-25	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = 0.5792x^{0.5989}$	0.594
12	PB R4;8-25	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = -0.0088x^2 + 0.469x - 1.6404$	0.578
13	PB P4-0	Природни агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка	Чврстоћа при притиску	Статички модул еластичности	$y = -0.872x^2 + 22.517x - 132.39$	0.337
14	PB P8-0	Природни агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка			$y = 1.7936x^2 - 49.271x + 350.27$	0.679
15	PB P4;8-0	Природни агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка			$y = 0.0346x^2 - 1.1647x + 20.532$	0.959
16	PB R4-0	Рециклирани агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка			$y = -0.1768x^2 + 9.9883x - 121.41$	0.585
17	PB R8-0	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка			$y = 0.1725x^2 - 8.4303x + 118.78$	0.443
18	PB R4;8-0	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка			$y = 0.2487x^2 - 12.962x + 186.43$	0.495
19	PB P4-25	Природни агрегат, фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%			$y = -0.4035x^2 + 7.5072x - 25.796$	0.465
20	PB P8-25	Природни агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = -0.025x^2 + 0.8658x + 6.0312$	0.993
21	PB P4;8-25	Природни агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = -0.2531x^2 + 4.1423x - 8.7337$	0.862
22	PB R4-25	Рециклирани агрегат, фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%			$y = -0.8078x^2 + 24.331x - 161.08$	0.759
23	PB R8-25	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = -0.2025x^2 + 6.247x - 32.74$	0.52
24	PB R4;8-25	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = -0.2414x^2 + 9.9323x - 87.402$	0.884
25	PB P4-0	Природни агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка	Чврстоћа при савијању	Статички модул еластичности	$y = -25.388x^2 + 149.35x - 206.55$	0.279
26	PB P8-0	Природни агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка			$y = 93.043x^2 - 434.15x + 521.53$	0.104
27	PB P4;8-0	Природни агрегат,			$y = -0.6995x^2 +$	0.872

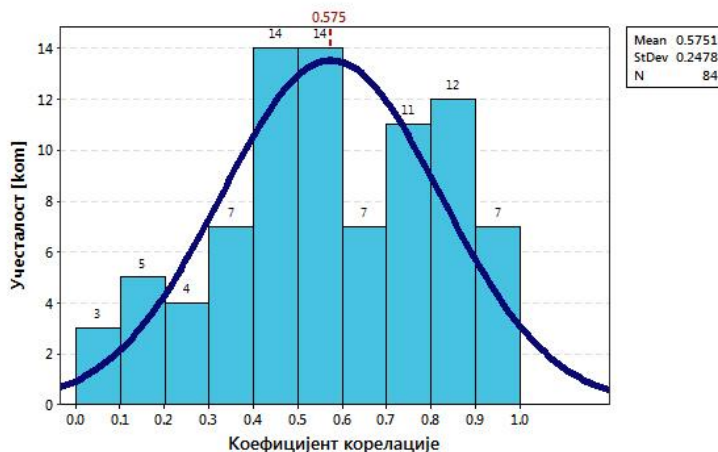


		комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка			$4.6711x + 3.9273$	
28	PB R4-0	Рециклирани агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка			$y = -1.2899x^2 + 12.81x - 11.937$	0.921
29	PB R8-0	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка			$y = -5.7967x^2 + 47.508x - 80.953$	0.542
30	PB R4;8-0	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка			$y = -1.6067x^2 + 15.509x - 18.873$	0.312
31	PB P4-25	Природни агрегат, фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%			$y = 1.0172x^2 - 4.6936x + 14.059$	0.27
32	PB P8-25	Природни агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = 4.1259x^2 - 28.76x + 60.849$	0.638
33	PB P4;8-25	Природни агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = -4.8448x^2 + 29.178x - 36.039$	0.286
34	PB R4-25	Рециклирани агрегат, фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%			$y = 28.799x^{-0.333}$	0.131
35	PB R8-25	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = -3.8864x^2 + 21.144x - 13.245$	0.513
36	PB R4;8-25	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%			$y = -2.0402x^2 + 16.553x - 19.811$	0.546
37	PB P4-0	Природни агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.0116x^2 - 0.5697x + 19.351$	0.313
				Чврстоћа при савијању	$y = 1.5958\ln(x) - 2.2944$	0.737
38	PB P8-0	Природни агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.0624x^2 - 3.206x + 53.652$	0.792
				Чврстоћа при савијању	$y = 0.0229x^2 - 0.929x + 11.684$	0.741
39	PB P4;8-0	Природни агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.7606x^2 + 21.964x - 136.4$	0.827
				Чврстоћа при савијању	$y = -0.1282x^2 + 3.7396x - 24.251$	0.801
40	PB R4-0	Рециклирани агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.2221x^2 - 6.6943x + 77.007$	0.474
				Чврстоћа при савијању	$y = -0.012x^2 + 0.3686x + 1.6533$	0.097
41	PB R8-0	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.276x^2 + 3.2427x + 16.468$	0.889
				Чврстоћа при савијању	$y = -0.0427x^2 + 0.6361x + 1.6583$	0.739
42	PB R4;8-0	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.0177x^2 + 0.2966x + 24.843$	0.566
				Чврстоћа при савијању	$y = 3.9592x^{0.0219}$	0.2

43	PB P4-25	Природни агрегат, фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.3426x + 15.685$	0.644
				Чврстоћа при савијању	$y = 0.0231x^2 - 0.793x + 9.3897$	0.161
44	PB P8-25	Природни агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.1719x^2 - 7.1626x + 80.439$	0.93
				Чврстоћа при савијању	$y = -0.023x^2 + 0.9161x - 5.6793$	0.703
45	PB P4;8-25	Природни агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 22.79e^{-0.054x}$	0.841
				Чврстоћа при савијању	$y = -0.005x^2 + 0.2219x + 0.6068$	0.453
46	PB R4-25	Рециклирани агрегат, фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.1246x^2 - 5.3447x + 72.794$	0.765
				Чврстоћа при савијању	$y = 0.0092x^2 - 0.434x + 8.4076$	0.617
47	PB R8-25	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.0322x^2 + 0.648x + 16.228$	0.885
				Чврстоћа при савијању	$y = 4.5491e^{-0.02x}$	0.558
48	PB R4;8-25	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.1361x^2 - 5.8696x + 80.567$	0.771
				Чврстоћа при савијању	$y = 0.0444x^2 - 1.6054x + 18.517$	0.355
49	PB P4-0	Природни агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.0116x^2 - 0.5697x + 19.351$	0.313
				Статички модул еластичности	$y = -0.0942x^2 + 4.9358x - 51.762$	0.377
50	PB P8-0	Природни агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.0624x^2 - 3.206x + 53.652$	0.792
				Статички модул еластичности	$y = 0.9823x^2 - 41.417x + 449.29$	0.603
51	PB P4;8-0	Природни агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.7606x^2 + 21.964x - 136.4$	0.829
				Статички модул еластичности	$y = -0.117x^2 + 3.3879x - 12.884$	0.677
52	PB R4-0	Рециклирани агрегат, фракције 4/8 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.2221x^2 - 6.6943x + 77.007$	0.475
				Статички модул еластичности	$y = 0.0093x^2 - 0.2791x + 21.341$	0.04
53	PB R8-0	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.276x^2 + 3.2427x + 16.468$	0.889
				Статички модул еластичности	$y = -0.0318x^2 + 0.4761x + 14.433$	0.136
54	PB R4;8-0	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm без минералног додатка	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.0177x^2 + 0.2966x + 24.843$	0.566
				Статички модул еластичности	$y = 0.0124x^2 - 0.2091x + 18.34$	0.495
55	PB P4-25	Природни агрегат, фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.3426x + 15.685$	0.644
				Статички модул еластичности	$y = -0.146x^2 + 5.1754x - 36.722$	0.383
56	PB P8-25	Природни агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.1719x^2 - 7.1626x + 80.439$	0.93
				Статички модул еластичности	$y = 0.0753x^2 - 3.1491x + 43.189$	0.949
57	PB P4;8-25	Природни агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 22.79e^{-0.054x}$	0.841
				Статички модул еластичности	$y = -0.0283x^2 + 1.0918x - 2.5722$	0.464
58	PB R4-25	Рециклирани агрегат,	Порозност	Чврстоћа при	$y = 0.1246x^2 - 5.3447x$	0.765

		фракције 4/8 mm са минералним додатком до 25%		притиску	+ 72.794	
				Статички модул еластичности	$y = -0.0258x^2 + 1.6554x - 3.2008$	0.44
59	PВ R8-25	Рециклирани агрегат, фракције 8/16 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = -0.0322x^2 + 0.648x + 16.228$	0.885
				Статички модул еластичности	$y = 4.5982x^{0.3902}$	0.436
60	PВ R4;8-25	Рециклирани агрегат, комбинација фракција 4/8 и 8/16 mm са минералним додатком до 25%	Порозност	Чврстоћа при притиску	$y = 0.1361x^2 - 5.8696x + 80.567$	0.771
				Статички модул еластичности	$y = -0.1194x^2 + 4.0823x - 21.168$	0.519

Табела 5.1 показује да има коефицијената корелације који припадају групи врло јаке до врло слабе корелације. Одређивање групације корелације је одређено тако да од 0,9 до 1 припадају групи врло јаке корелације, од 0,7 до 0,9 припадају групи јаке корелације, од 0,5 до 0,7 припадају групи слабе корелације, а од 0 до 0,5 припадају групи врло слабе корелације. Ради лакшег сагледавања и којој групи припадају анализирани коефицијенти корелације приказан је хистограм за све анализирание коефицијенте (слика 5.63).



Слика 5.63 Хистограм за сумарни приказ коефицијената корелација

На хистограму је видљива учесталост коефицијента корелације, средња вредност анализираних резултата, стандардна девијација и број анализираних узорака. Са слике 5.63 се уочава да већина резултата припада групи врло слабе корелације (33 узорка), односно 21 узорак припада групи слабе корелације. Вредности јаке корелације обухватају број од 23 узорка док групи врло јаке корелације припада укупно седам узорака. Закључује се да око 64% коефицијената, имају доста слабе корелације, при чему има великог расипања резултата и није могуће успоставити поуздану корелацију, док око 36% анализираних резултата има доста поузданије корелације. Слика 5.63 приказује да средња вредност коефицијената корелација припада групи слабе корелације, при чему се закључује да није могуће успоставити поуздане корелације за сва анализирана физичко-механичка својства.

## 5.11 КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА

У претходном делу приказана је анализа резултата испитивања порозног бетона са природним и рециклираним агрегатом са и без учешћа минералног додатка. Компаративна анализа има за циљ да поред анализе утицаја врсте агрегата, као и количине минералног додатка на анализирана својства

бетона, добијене резултате упореди са резултатима до којих су дошли други аутори у својим истраживањима.

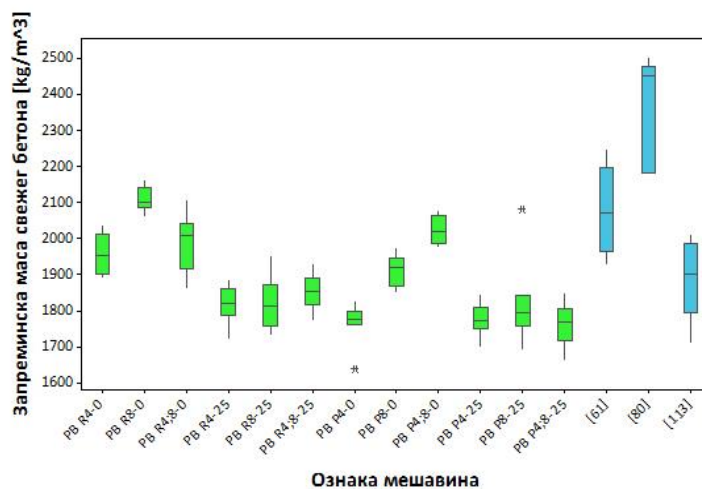
### 5.11.1 Конзистенција бетона

Конзистенција порозних бетонских мешавина се врши испитивањем, као и код стандардних бетонских мешавина тзв. методом слегања, а постоји и још једна метода која се користи приликом испитивања конзистенције бетона, а то је метода обликовања грудвице. У анализираним радовима углавном је примењена метода слегања [58], [61], [113]. Коришћењем методе слегања, сви аутори су добили да је вредност слегања једнака нули док је анализом резултата испитивања добијено да се креће од 0 до 15 mm. Сви анализирани резултати, укључујући сопствена испитивања која су приказана у овом раду припадају групи S1, односно конзистенција је крута.

### 5.11.2 Запреминска маса

#### 5.11.2.1 Запреминска маса у свежем стању

Поред испитивања конзистенције, испитивана је и запреминска маса свежег бетона. Ово испитивање је вршено додатно у неким од анализираних научних радова [61], [80], [113], где су приказани резултати истраживања. Упоредни резултати истраживања приказани су на слици 5.64.

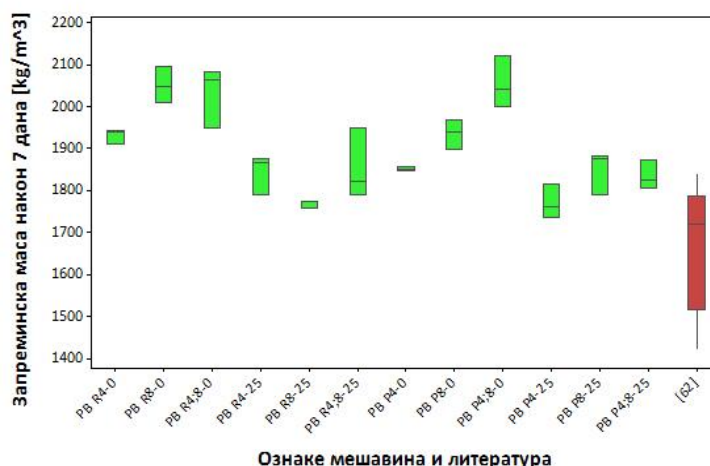


Слика 5.64 Упоредни резултати запреминске масе у свежем стању

Са слике 5.64 је приметно да је расипање резултата велико, односно велике вредности запреминске масе свежих бетина су постигнуте у истраживањима анализираних аутора [61], [80]. Сопствени експериментални резултати заједно са литературним подацима [113] указују да сви анализирани порозни бетони припадају групацији лаких бетона у односу на критеријуме који су прописани америчким стандардом за порозне бетоне [40].

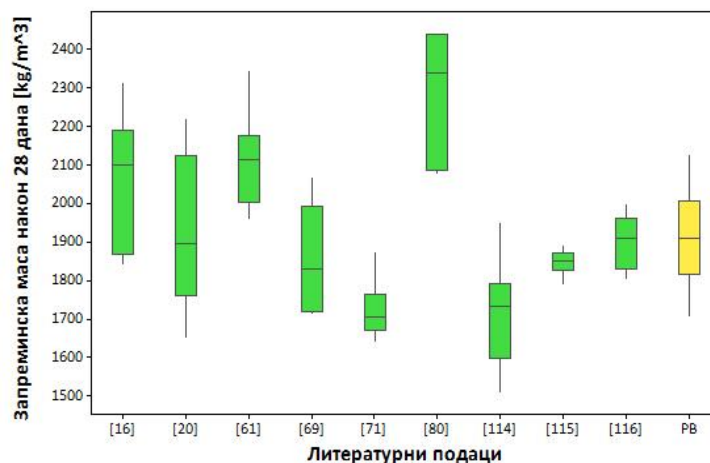
#### 5.11.2.2 Запреминска маса очврслог бетона

Запреминска маса очврслог бетона је у сопственом експерименту испитана након 7, 28, 56 и 84 дана док се у литературним подацима највише може наићи на запреминске масе очврслог бетона након 7 и 28 дана док у ретким случајевима се могу наћи запреминске масе очврслог бетона након 56 и 84 дана. У овом подпоглављу је анализирано неколико карактеристичних радова и урађене су упоредне анализе са сопственим експерименталним истраживањем запреминске масе очврслог бетона при одређеној старости.



Слика 5.65 Упоредна анализа запреминске масе очврслог бетона након 7 дана

На слици 5.65 приметно је да је анализом литературних података расипање запреминске масе очврслог бетона знатно веће него у односу на сопствене експерименталне узорке који су добијени испитивањем. Резултати сопственог експерименталног истраживања имају доста мање расипање резултата запреминске масе очврслог бетона у односу на анализирани податке из литературе, али је и приметно да су добијене веће вредности запреминске масе очврслог бетона у литературним подацима у односу на сопствена експериментална истраживања.



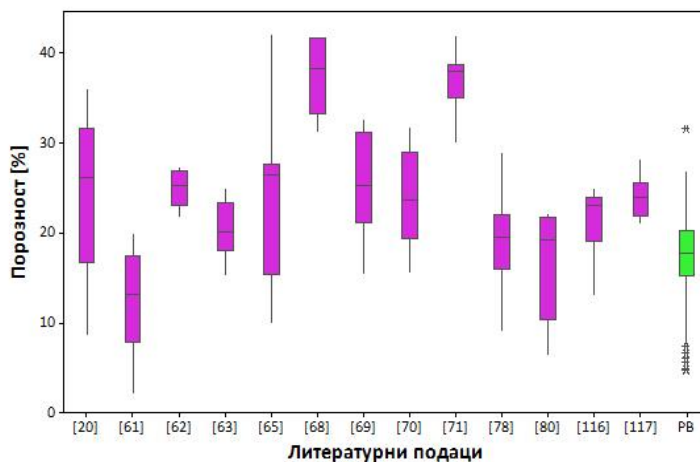
Слика 5.66 Компаративна анализа запреминске масе очврслог бетона након 28 дана

Анализа литературних података и сопственог експерименталног истраживања запреминске масе очврслог бетона након 28 дана приказана је на слици 5.66. Запажа се да су вредности запреминске масе очврслог бетона релативно различите јер зависе од: врсте агрегата који је коришћен, количине водоцементног фактора, масе цемента и количине минералног и хемијског додатка. Сопствена експериментална истраживања указују да се запреминска маса очврслог бетона креће у опсегу од око 1700 до 2100  $\text{kg/m}^3$ , на основу 36 узорака узетих за анализу. У литературним подацима максимално је анализирано 24 узорка, и то у раду [71], где се опажа да је расипање резултата мало, односно уједначено за истраживане порозне бетоне. Са овог дијаграма примећује се да порозни

бетони могу достићи и запреминску масу очврслог бетона преко  $2400 \text{ kg/m}^3$ , што је доста велика вредност за ову врсту бетона.

### 5.11.3 Порозност

Вредности порозности, које су преузете из литературних података и упоређени са сопственим експерименталним истраживањем (PB), приказани су на слици 5.67. За ову анализу разматран је велики број истраживања и резултата из литературних података, како би се упоредили са сопственим експерименталним истраживањем. Приметно је да постоји значајно велико расипање резултата порозности, јер на порозност првенствено утиче састав пројектоване порозне бетонске мешавине, као и компактирање, односно уградња сваке појединачне мешавине. Приликом уградње ако се користи стандардна шипка за уграђивање, добија се углавном мања порозност у односу на узорке који се уграђују без додатног компактирања и без коришћења вибро-столова. Коришћењем вибро-стола углавном долази до сегрегације, односно до пада цементне пасте на дно, па се смањује коефицијент водопропустљивости кроз порозни бетон.

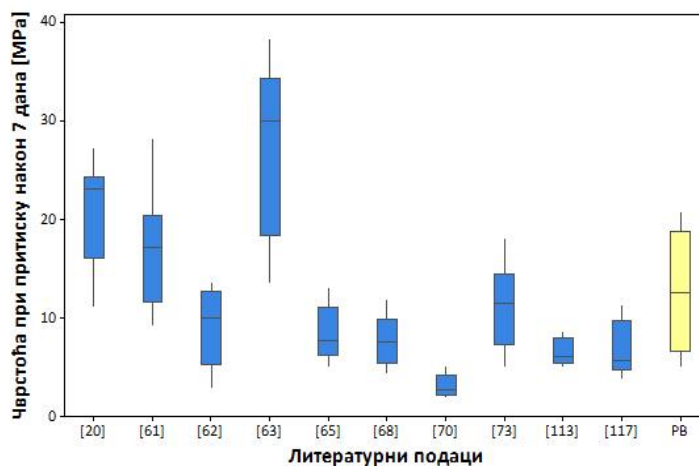


Слика 5.67 Упоређење литературних података са сопственим експерименталним истраживањем

Као што је већ речено, расипање резултата је значајно велико, а учешће састава бетонских мешавина се може погледати у табели 3.1, где је дата анализа радова који су коришћени за компаративну анализу. Велико расипање резултата је приметно у раду [65], где се опажа да је порозност од око 10%, па и преко 40%, што доводи до закључка да је велики опсег. У сопственом експерименталном истраживању, посматрајући обрађених 144 узорка који су узети за анализу, постоји, такође, велико расипање резултата, као и у раду [65], иако је у истраживању [65] коришћено само 12 узорака. Овде се запажа да сопствено експериментално истраживање и нема тако велику меру расипања јер садржи 12 пута више резултата у односу на анализирану литературу. Велики број узорака је коришћен у литератури [78], где је узето укупно 63 резултата. Ако се пореди сопствена експериментално истраживање (PB) са литературом [78], примећује се да интензитет распорирања за експеримент је доста добар јер садржи 2,5 пута више резултата, тако да је порозност у већини случајева у границама које су прописане за овај тип бетона, односно да би се бетон сматрао порозним мора да садржи 15-35% отворених пора. Сви услови су у већини случајева код сопственог експерименталног истраживања испуњени.

**5.11.4 Чврстоћа при притиску**

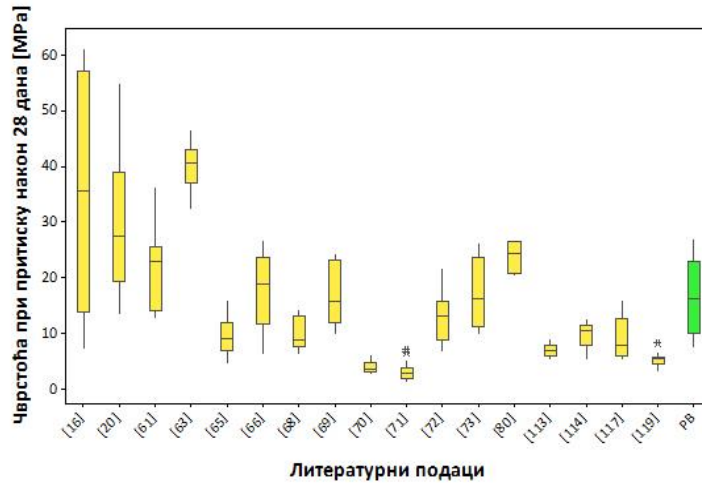
Најважније својство бетонског коловоза је чврстоћа при притиску након: 7 и 28 дана, остале старости бетона служе да се региструје евентуални раст чврстоће при притиску током времена и како пепео, као минерални додатак, доприноси том прираштају. У овом поглављу је рађена тзв. компаративна анализа са литературним подацима, како би се увиделе предности и недостаци сопственог експерименталног истраживања. Мали број аутора је испитивао чврстоће при притиску након: 56 и 84 дана. На слици 5.68 је приказана компаративна анализа чврстоће при притиску након седам дана. Прво запажање је да сопствени експериментални резултати показују да се чврстоће при притиску истраживаних порозних бетона налазе у средњем подручју чврстоћа у односу на литературне податке. У раду [63] се примећују високе чврстоће при притиску при релативно малим старостима бетона, односно имају приближне вредности као обичан бетон. Расипање резултата је велико и креће се од 3 МПа до 37 МПа, што је велика разлика између најниже и највише вредности. Ово расипање резултата зависи првенствено од састава бетонске мешавине (врсте агрегата, фракције, количине цемента, врсте цемента, хемијских и минералних додатака, као и водоцементног фактора). Такође, утиче и компактирање и нега узорака. У анализираним радовима се може наћи да су неки од аутора неговали узорке у влажној комори само неколико дана и после су узорци неговани на собној температури док су неки од аутора држали узорке потопљене у води. Постоје различита искуства, као и различити резултати и не може се прецизно проценити шта доводи до ове велике разлике резултата.



Слика 5.68 Упоредна анализа литературних истраживања са сопственим експерименталним резултатима чврстоће при притиску након 7 дана

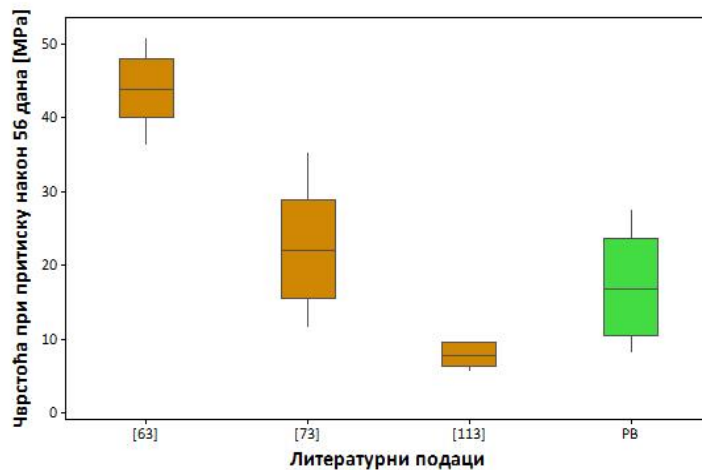
Слика 5.69 приказује упоредну анализу чврстоће при притиску након 28 дана. Разлике између упоредних резултата су јако велике, и то се примећује и на слици 5.69. Приликом израде бетонског коловоза, да би бетон имао примену код веома тешког саобраћаја мора да испуни услов да чврстоћа при притиску износи минимално 40 МПа, за тешко саобраћајно оптерећење износи 35 МПа и 30 МПа за остала саобраћајна оптерећења [112]. Мали број анализираних истраживања испуњава услове да се овај тип бетона може примењивати за врло тешко и тешко саобраћајно оптерећење. Велика разлика између резултата је присутна у радовима [16], [20], [61]. Експериментална истраживања, такође, имају велику разлику, али знатно мању од поменутих резултата истраживања. Оквирни састав порозних мешавина који је преузет из литературе приказан је у табели 3.1.





Слика 5.69 Упоредна анализа литературних истраживања са сопственим експерименталним резултатима чврстоће при притиску након 28 дана

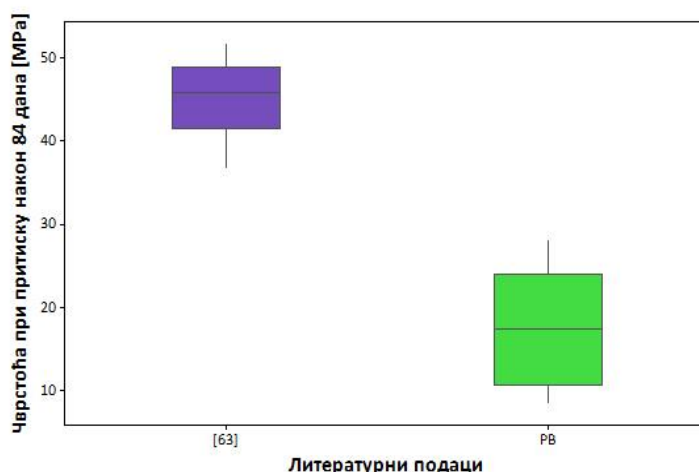
Чврстоће при притиску након 56 дана упоређене са подацима из литературе и сопственог експерименталног истраживања, приказане су на слици 5.70. Прво што се може приметити са слика 5.70 и 5.71 јесте да има мање анализираних радова. На основу анализе резултата, уочава се да је расипање резултата велико и да се креће од 5 МПа до 50 МПа. Са слике 5.70 се види да сопствени експериментални резултати припадају средњој групи резултата, док су максималне вредности забележене у раду [63], а минималне вредности у раду [113]. У раду [113] се запажа да је расипање резултата малог интензитета у односу на све упоредне резултате.



Слика 5.70 Упоредна анализа литературних истраживања са сопственим експерименталним резултатима чврстоће при притиску након 56 дана

Компаративна анализа чврстоће при притиску старости од 84 дана приказана је на слици 5.71. Упоредивањем са сопственим експерименталним истраживањем запажа се да је расипање резултата у раду [63] мањег интензитета у односу на сопствена експериментална истраживања која су спроведена (PB). Минималне вредности резултата су постигнуте у сопственом експерименталном истраживању (PB) док су максималне вредности постигнуте у раду [63]. Аутори [63] су током израде узорака користили одређене хемијске додатке који су поспешили и довели до повећања чврстоће при притиску након 84 дана.

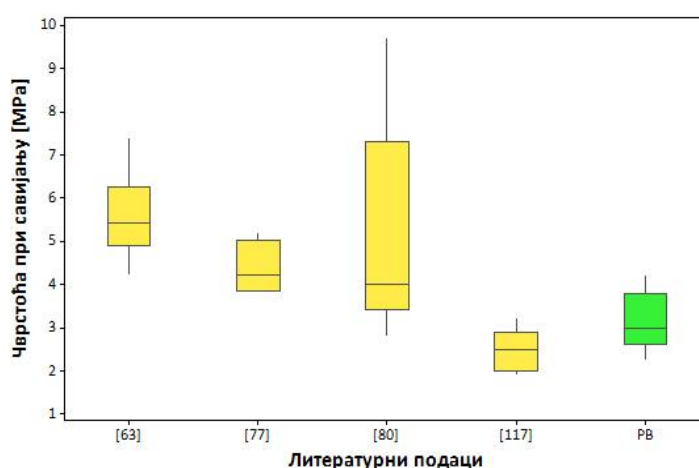




Слика 5.71 Упоредна анализа литературних истраживања са сопственим експерименталним резултатима чврстоће при притиску након 84 дана

### 5.11.5 Чврстоћа при савијању

Чврстоћа при савијању је други битан параметар, после чврстоће при притиску, за одређивање намене бетонског коловоза на основу саобраћајаног оптерећења. Према стандарду СРПС У.Е3.020 [112] постоји тачно дефинисан критеријум у односу на минималне вредности чврстоће при савијању за одређено саобраћајно оптерећење. На слици 5.72 је дат приказ упоредне анализе литературних података са сопственим експерименталним истраживањем. Коришћењем поменутог стандарда [112], са слике се може приметити да сопствени експериментални резултати припадају саобраћајним површинама за средње и лако саобраћајно оптерећење. Резултати из литературе [63], [80], који имају чврстоћу при савијању преко 5 МПа, се користе за саобраћајнице са врло тешким саобраћајним оптерећењем, а резултати који се налазе у границама од 4,5 до 5 МПа припадају саобраћајним површинама које имају тешко саобраћајно оптерећење.



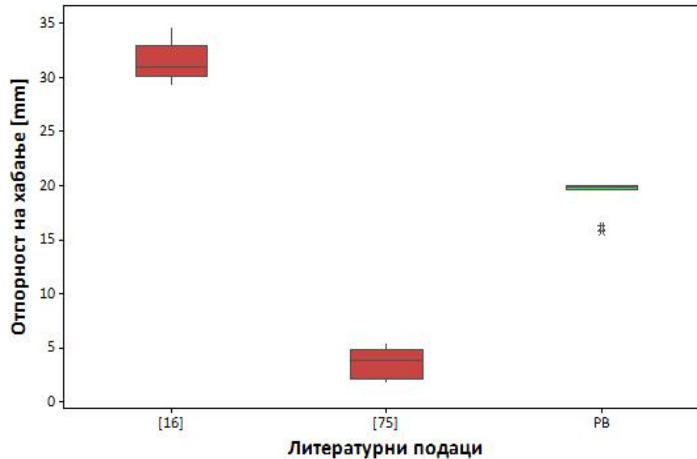
Слика 5.72 Упоредна анализа чврстоће при савијању са литературним подацима

У већини случајева резултати сопственог експерименталног истраживања чврстоће при савијању су доста ниски и могу се примењивати у урбаним срединама, али на саобраћајним површинама које

немају велики интензитет саобраћаја или за паркинг-површине, као и за пешачке и бицикличке стазе или као косине насипа.

### 5.11.6 Отпорност на хабање

Вредности упоредне анализе отпорности на хабање приказане су на слици 5.73. Овде су анализирани резултати отпорности на хабање након 28 дана старости бетона.

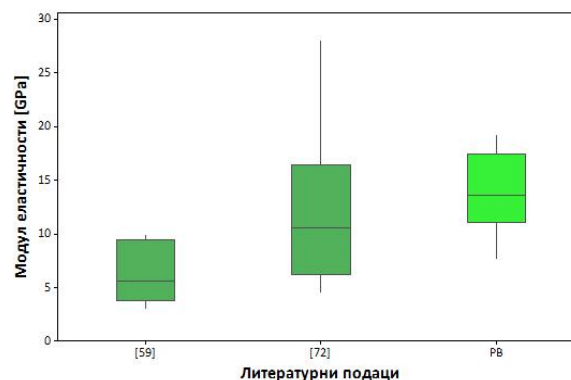


Слика 5.73 Компаративна анализа отпорности на хабање

Са слике 5.73 приметно је да су резултати сопственог експерименталног истраживања у већини случајева исти, сем две вредности порозних бетонских мешавина које су справљене од рециклираног агрегата. Литературни подаци имају веће расипање резултата у односу на сопствена експериментална истраживања. Приметно је да се резултати истраживања налазе на граници испуњавања услова за израду порозног бетонског коловоза према стандарду [112]. Литературни податак [75] испуњава услове за коришћење порозног бетона, као хабајућег слоја док истраживање [16] има доста велики губитак отпорности на хабање и не испуњава предвиђени услов према стандарду [112].

### 5.11.7 Модул еластичности

Модул еластичности је испитан у малом броју радова и то је испитан само статички модул еластичности при старости од 28 дана. Вредности испитивања модула еластичности приказане су на слици 5.74.

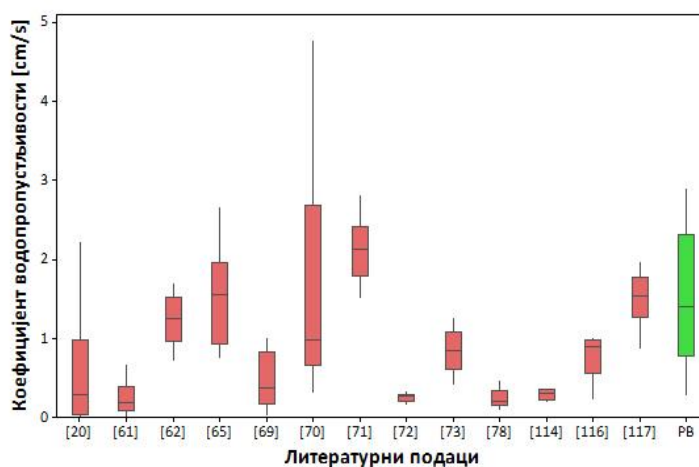


Слика 5.74 Вредности модула еластичности

Са слике 5.74 је приметно да је значајно расипање резултата. Литературни подаци показују да се модул еластичности креће у границама од око 3 GPa, до 28 GPa, што представља велико одступање резултата у истраживању. Вредности сопственог експерименталног истраживања показују да се модул еластичности креће у границама од око 8 GPa до 19 GPa, што представља значајно мању разлику резултата у односу на литературне податке с којима се пореди.

### 5.11.8 Коefицијент водопропустљивости

Коefицијент водопропустљивости првенствено зависи од порозности, односно што је већа количина отворених пора то је већи коefицијент водопропустљивости. Упоредна анализа резултата истраживања са литературним подацима приказана је на слици 5.75.



Слика 5.75 Компаративна анализа коefицијента водопропустљивости

Расипање резултата који су коришћени за анализу је променљиво у зависности који литературни податак се посматра. Могу се уочити значајно велике разлике у резултатима, као што је то случај у радовима [20], [70], а има радова где су разлике у резултатима мале [72], [78], [114]. Расипање резултата у оквиру спроведеног сопственог експерименталног истраживања је велико и креће се од око 0,5 до 3 cm/s што представља велику разлику у резултатима водопропустљивости. Уопштено, коefицијент водопропустљивости зависи од компактирања порозне бетонске мешавине. Збијање са више удараца доводи до смањења коefицијента водопропустљивости, јер се тиме постиже слегање цементне пасте у дну калуца.

## 6 ЗАКЉУЧЦИ И ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА

### 6.1 ЗАКЉУЧЦИ

Рециклирање бетона и производња рециклираног агрегата представља велики корак ка испуњењу циљева одрживог развоја и очувању животне средине, који су након Земаљског самита у Рио де Жанеиру 1992. године и промовисања Агенде 21 [120], постали кључни циљеви модерног друштва. Ипак, сама производња агрегата, без изналажења адекватних начина за ефикасну примену, такође није одржива акција. Рециклирани агрегат који се користи код коловозних застора путева, изградње насипа и за справљање бетонских површина (стаза, ивичњака, ограда), генерално се мало користи у бетонском коловозу који је намењен за израду завршног слоја.

Електрофилтерски пепео представља минерални остатак који настаје као производ сагоревања угља у термоелектранама. Састоји се од ситних честица претежно силикатног или карбонатног састава, које се уклањају електрофилтерским филтерима из пливовитих производа сагоревања. Депоније пепела знатно утичу на угрожавање животне средине, као и ремећење екосистема, а све то утиче и на здравље људи. Сви наведени негативни индикатори у околини, које изазива летећи пепео, могу се отклонити или смањити ако се употребљава као грађевински материјал за изградњу путева и других коловозних конструкција. Пепео у Србији се углавном користи у цементној индустрији као додаток цементу јер има пуцоланска својства [121].

Првенствено, порозни бетон је коришћен за конструктивне елементе (носеће зидове), а касније полако проналази примену у путарству. Порозни бетон се углавном пројектовао од природног и дробљеног каменог агрегата, без учешћа рециклираног агрегата и минералних додатака. Како би се поспешило очување природних ресурса који су необновљиви, почиње велика примена рециклираног агрегата и минералних додатака за израду порозних бетона. Неколико научних радова је оријентисано на израду порозног бетонског коловоза, а радови који су следили проширени су на коришћење рециклираног агрегата и минералних додатака. Досадашња истраживања су показала различите резултате и закључке. Циљ ове дисертације је да се, са техничке стране, дају одговори о могућностима примене порозних бетонских коловоза на бази рециклираних и отпадних материјала применом домаћих сировина. На основу анализе података, који су добијени сопственим експерименталним истраживањем порозног бетонског коловоза, може се закључити следеће:

- порозне бетонске мешавине могу се пројектовати са рециклираним и природним агрегатом, као и са додатком летећег пепела, без опасности од појаве сегрегације;
- уколико се користи рециклирани агрегат за справљање порозних бетонских мешавина, мора се претходно поквасити. Количина воде потребна за квашење и време квашења се мора одредити експериментално и зависи од кинетике и количине упијања воде рециклираног агрегата;
- конзистенција порозних бетонских мешавина је веома крута и припада групи бетона са конзистенцијом S1;
- вредности чврстоће при притиску при старости од 28 дана се крећу у границама од 5 до 28 МПа, односно након 56 дана од 6 до 29 МПа и након 84 дана од 6 до 29 МПа. Забележен је релативно мали раст чврстоће при притиску са повећањем старости бетона. Остварене чврстоће порозног бетона при притиску ограничавају могућу примену у бетонским коловозима, односно истраживани бетонски композити могу се користити за коловозе на паркинзима, пешачким стазама и за облагање косина;
- приказане вредности чврстоће при савијању се мењају у зависности од састава бетона, односно максимална вредност је постигнута код порозних бетона од рециклираног агрегата

без учешћа пепела (*PB R4-0*) док је минимална вредност забележена код бетона са природним агрегатом и фракцијама 4/8 и 8/16 mm (*PB P4;8-25*). Чврстоћа при савијању истраживаних порозних бетона је, такође, ограничавајући фактор за примену у бетонским коловозима за тешки саобраћај;

- динамички модул еластичности је дупло већи у односу на статички модул еластичности при свим старостима узорака порозних бетона (28, 56 и 84 дана);
- коефицијент водопропустљивости је већи код порозних бетона који су справљени од природног агрегата, док код бетона од рециклираног агрегата коефицијент водопропустљивости је мањи због облика зрна и боље повезаности новог цементног камена са агрегатом;
- брзина простирања ултразвучних таласа је у релативно доброј корелацији са чврстоћом при притиску, али је због отворене порозности испитиваних бетона спровођење теста ултразвуком доста компликована и захтева понављање, јер садржај пора може да промени брзину продирања таласа и тешко је прецизно одредити чврстоћу при притиску;
- функционална зависност између површинске тврдоће бетона (одређена методом склерометра) и чврстоће при притиску је довољно поуздана уколико је ударац игле склерометра у зрно агрегата или у месту где преовлађује цементна паста;
- комбинација друге и треће фракције агрегата (4/8 и 8/16) има негативан утицај на већину испитаних физичко-механичких својстава, односно приликом справљања порозних бетонских коловоза, треба избегавати комбинацију фракција агрегата;
- електрофилтерски пепео не доприноси значајнијем прирасту чврстоће, како до старости од 28 дана, тако и при већим старостима, односно веће чврстоће при притиску се постижу применом чистог портланд цемента, међутим примена електрофилтерског пепела је оправдана са еколошког аспекта;
- на основу запреминске масе очврслог бетона, истраживани порозни бетони припадају групи тзв. лаких бетона у складу са одредбама стандарда [40].

Генерални закључак ове дисертације је да се порозни бетони могу пројектовати и справљати са домаћим сировинама (речни агрегат, агрегат добијен рециклирањем старог бетона, цемент, летећи пепео из термоелектрана) и да се може постићи задовољавајућа порозност бетона чиме је омогућена основна функција ових бетона, а то је одговарајући коефицијент водопропустљивости. Механичка својства истраживаних порозних бетона ограничавају примену за израду коловоза за тежак саобраћај, као и на урбаним раскрсницама. Своју примену ова група бетонских композита има за израду платоа, паркиралишта, спортских терена, пешачких стаза, бициклистичких стаза, као и саобраћајница са малим интензитетом саобраћаја. Основни циљеви и хипотезе, који су постављени на почетку овог истраживања, су испуњени, односно дат је допринос одрживом грађевинарству у области пројектовања и изградње порозних бетонских коловоза, будући да се применом предложених компонентних материјала чувају природни необновљиви ресурси и смањују депоније отпадних материјала.

## 6.2 ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА

Приликом спроведених истраживања, показано је да је могуће направити порозни бетонски коловоз за лаки саобраћај са одређеним физичко-механичким карактеристикама са рециклираним и природним агрегатом, као и додатком електрофилтерског пепела.

Будућа истраживања за услове припреме узорака порозног бетонског коловоза су следећа:

- неговање узорака покривањем ПВЦ фолијом седам дана и након тога, чување узорака на температури од око 20°C;
- компактирање узорака без додатног збијања бетона или са мањим бројем удараца;
- коришћење мање количине пепела;
- коришћење других врста везива са количинама од 350 до 450 kg/m<sup>3</sup>;
- одређивање дејства мраза на 250 или 300 циклуса;
- коришћење комбинације дробљеног и рециклираног агрегата и комбинације природног и рециклираног агрегата, али исте фракције;
- коришћење моћнијих суперпластификатора у циљу смањења водоцементног фактора и побољшања механичких карактеристика.

- [1] Цветановић, А., Банић, Б.: *Коловозне конструкције*, Академска мисао, Београд, (2007)
- [2] Steiger, R. W.: *Roads of the Roman Empire*, [http://www.concreteconstruction.net/images/Roads%20of%20the%20Roman%20Empire\\_tcm45-342976.pdf](http://www.concreteconstruction.net/images/Roads%20of%20the%20Roman%20Empire_tcm45-342976.pdf), прегледано 09.02.2015.
- [3] Бјеговић, Д., Беслаћ, Ј., Бањан Печур, И.: *Бетонски колници у свијету и у нас*, Четврти хрватски конгрес о цестама, Цавтат, (2007).
- [4] Snell, L. M., Snell, B. G.: *Oldest Concrete Street in the United States*, *Concrete International*, Март (2002), стр. 72-74.
- [5] Феља, М., Ћосић, К., Нетингер, И.: *Примјена порозног бетона у колничким конструкцијама*, *Електронски часопис грађевинског факултета Осиек*, 4/7 (2013), стр. 68-75.
- [6] Boucher, P.: *Concrete thinking in transportation solutions*, *Building Better Highways in Canada*, *Cement Association of Canada*, (2007), стр. 3.
- [7] American Concrete Pavement Association: *Green Highways: Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavements - concrete pavement research and technology special report*, (2007), <http://www.pavements4life.com/QDs/SR385P.pdf>
- [8] *Handook for pervious concrete certification in Greater Kansas City*, *Concrete Promotional Group (CPG), Inc.*, доступно на: <http://www.concretepromotion.com>, прегледано 10.08.2014.
- [9] Schaefer, V. R., Wang, K., Suleiman, M. T., Kevern, J.: *Mix design development for pervious concrete in cold climates*, *Technical report*, *National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State Univ., Ames, Iowa* (2006)
- [10] LaFarge, <http://www.lafarge.com/en/hydromedia> (13.07.2016.)
- [11] Pervious Concrete: доступан на: <http://www.perviouspavement.org/>, прегледано 09.09.2014.
- [12] Sabins, G.: *Green Building with Concrete: Sustainable Design and Construction*, *CRC Press, Taylor & Francis Group, New York*, (2012)
- [13] Блажок, Д.: *Пропусни бетон за колнике*, *Технички гласник*, 4 (2010), стр. 15-18.
- [14] Putman, B. J., Neptune, A. I.: *Comparison of test specimen preparation techniques for pervious concrete pavements*, *Construction and Building Materials*, 25 (2011), стр. 3480-3485.
- [15] Tennis, P. D., Leming, M. L., Akers, D.J.: *Pervious concrete pavements*, *Technical report, EB302.02. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland* (2004)
- [16] Yang, J., Jiang, G.: *Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials*, *Cement and Concrete Research*, 33, (2003), стр 381-386.
- [17] Ghafoori, N., Dutta, S.: *Development of no-fines concrete pavement applications*, *Journal of Transportation Engineering*, 121-3 (1995), стр. 283-288.
- [18] Huang, B., Wu, H., Shu, X., Burdette, E. G.: *Laboratory evaluation of permeability and strength of polymermodified pervious concrete*, *Construction and Building Materials*, 24 (2010), стр. 818-823.
- [19] Kim, H. K., Lee, H. K.: *Acoustic absorption modeling of porous concrete considering the gradation and shape of aggregates and void ratio*, *Journal of Sound and Vibration*, 329 (2010), стр. 866-879.
- [20] Kevern, J.T., Schaefer, V.R., Wang, K.: *Portland Cement Pervious Concrete: A Field Experience from Sioux City*, *The Open Construction and Building Technology Journal*, (2008), No. 2, стр. 82-88.
- [21] *Grace Construction products, Pervious concrete mix proportioning - Technical bulletin TB - 0111*, (2006), <http://www.na.graceconstruction.com>
- [22] Sumanasooriya M. S., Neithalath N.: *Pore structure features of pervious concretes proportioned for desired porosities and their performance prediction*, *Cement & Concrete Composites*, 33 (2011), стр 778-787.
- [23] Voldera, A., Watson, T., Viswanathana, B.: *Potential use of pervious concrete for maintaining existing mature trees during and after urban development*, *Urban Forestry & Urban Greening*, 8 (2009), стр. 249-256.
- [24] Шешлија, М., Радоњанин, В., Миловић, Т., Шупић, С., Вукославчевић, С.: *Application of pervious concrete in road engineering*, 16<sup>th</sup> *International Symposium MASE, Охрид, Македонија*, (2015), стр. 390-398.
- [25] Ferguson, B. K.: *Porous Pavements*, *CRC Press, USA* (2005)
- [26] Tyner, J.S., Wright, W.C., Dobbs, P.A.: *Increasing exfiltration from pervious concrete and temperature monitoring*, *ScienceDirect* (2008)
- [27] Seung-Bum, P., Mang, T.: *An experimental study on the water-purification properties of porous concrete*, *Pergamon* (2002)
- [28] Seung-Bum, P., Dae-Seuk, S., Jun, L.: *Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio*, *Elsevier* (2004)
- [29] George, W. S., John, J. V., Gregory, S.: *New methods to measure liquid permeability in porous materials*, *Elsevier* (2006)



- [30] Luck, J. D., Workman, S. R., Coyne, M. S., Higgins, S. F.: *Solid material retention and nutrient reduction properties of pervious concrete mixtures*, Biosystems Engineering, 100/3 (2008), стр. 401-408.
- [31] Ghafoori, N., Dutta, S.: *Laboratory Investigation of Compacted No-Fines Concrete for Paving Materials*, Journal of Materials in Civil Engineering, 7/3, Август (1995), стр. 183-191.
- [32] Patil, V. R., Gupta, A. K., Desai, D. B.: *Use of Pervious Concrete in Construction of Pavement for Improving their Performance*, Journal of Mechanical and Civil Engineering, (2011), стр. 54-56
- [33] Urquhart, D.: *Historic Concrete in Scotland Part 1: History and Development*, Historic Scotland, Единбург, Март (2013)
- [34] Moss, J. K.: *No-fines building gives energy-conserving homes*, International Construction Sutton, Surrey, Енглеска (1961)
- [35] Alam, B., Javed, M., Ali, Q., Ahmad, N., Ibrahim, M.: *Mechanical properties of no-fine bloated slate aggregate concrete for construction application, experimental study*, International Journal of Civil and Structural Engineering, 3/2. (2012), стр. 302-312.
- [36] Sommerville, J., Craig, N., Charels, A.: *The Performance Characteristics of No-fines Concrete in Social Housing*, The Construction, Building and Real Estate Research Conference of the Royal Institution of Chartered Surveyors, Париз, 2-3 Септембар (2010)
- [37] Harber, P. J.: *Applicability of No-Fines Concrete as a Road Pavement*, Bachelor of Engineering (Civil), Univeristy of Southern Queensland, Аустралија (2005)
- [38] Abadijeva, T., Sephiri, P.: *Investigations on some properties of No-fines concrete*, Department of Civil Engineering, University of Bostwana, (2000), стр. 1-6.
- [39] Kevern, J. T.: *„Advancements in pervious concrete technology“*, докторска дисертација, Iowa State University, Ames, Iowa, (2008)
- [40] ACI 522R-10: *Report on Pervious Concrete*, American Concrete Institute, (2010)
- [41] Mulligan, A.: *Attainable Compressive Strength of Pervious Concrete Paving Systems*, мастер рад, University of Central Florida, (2005)
- [42] Crouch, L. K., Smith, N., Walker, A. C., Dunn, T. R., Sparkman, A.: *Determining Pervious PCC Permeability with a Simple Triaxial Flexible-Wall Constant Head Permeameter*, TRB 85th Annual Meeting Compendium of Papers, (2006)
- [43] Mahboub, K., Canler, J., Rathbone, R., Robl, T., Davis, B.: *The Effects of Compaction and Aggregate Gradation on Pervious Concrete*, Proceedings of the NRMCA Concrete Technology Forum, Денвер (2008)
- [44] Мурављев, М.: *Грађевински материјали*, Грађевинска књига, Београд, (2005)
- [45] Мурављев, М.: *Основи теорије и технологије бетона*, Грађевинска књига, Београд, (2010)
- [46] Скендеровић, Б., Кекановић, М.: *Грађевински материјали*, АГМ књига, Београд, (2011)
- [47] Aoki, Y.: *Development of pervious concrete*, мастер рад, Технички универзитет у Сиднеју, Аустралија (2009)
- [48] Neithalath, N.: *Development and Characterization of Acoustically Efficient Cementitious Materials*, докторска теза, Purdue University, West Lafayette (2004)
- [49] Marolf, A., Neithalath, N., Sell, E., Wegner, K., Weiss, J., Olek, J.: *Influence of Aggregate Gradation on the Acoustic Absorption of Enhanced Porosity Concrete*, ACI Materials Journal, 101/1, (2004), стр. 82-91.
- [50] Kim, H. K., Lee, H. K.: *Influence of Cement Flow and Aggregate type on the Mechanical and Acoustic Characteristic of Porous Concrete*, Applied Acoustics, 71/7 (2010), стр. 607-615.
- [51] Montes, F., Valavala, S., Haselbach, L. M.: *A new test Method for Porosity Measurements of Portland Cement Pervious Concrete*, Journal of ASTM International, 2/1 (2005), стр. 1-13.
- [52] Meininger, R. C.: *No-Fines Pervious Concrete for Paving*, Concrete International, 10 (1988), стр. 20-27.
- [53] Neithalath, N., Weiss, W. J., Olek, J.: *Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials*, коначни извештај (Final Report), The Institute for Safe, Quiet, and Durable Highways (2003)
- [54] Neithalath, N., Weiss, J., Olek, J.: *Characterizing Enhanced Porosity Concrete Using Electrical Impedance to Predict its Acoustic and Hydraulic Performance*, Cement and Concrete Research, 36/11 (2006), стр. 2074-2085.
- [55] Onstenk, E., Aguado, A., Eickschen, E., Josa, A.: *Laboratory Study of Porous Concrete for Its Use as Top Layer of Concrete Pavements*, Fifth International Conference on Concrete Pavement and Rehabilitation, Purdue University, 2 (1993), стр. 125-139.
- [56] Nissoux, J. L., Gnage, C., Marzin, J., Lefebvre, J.-P., Pipien, G.: *A Pervious Cement Concrete Wearing Course Below 73 dB(A)*, Proceedings of the Fifth International Conference on Concrete Pavement and Rehabilitation, Purdue University, 2 (1993), стр. 269-284.
- [57] Tong, B.: *„Clogging effects of portland cement pervious concrete“*, мастер рад, Iowa State University, Ames, Iowa (2011)
- [58] Мраковчић, С., Чех, Н., Југовац, В.: *Effect of aggregate grading on pervious concrete properties*, Грађевинар, 66, (2014), 2, стр. 107-113.
- [59] Posi, P., Teerachanwit, C., Tanutong, C., Limkamoltip, S., Lertnimooolchai, S., Sata, V., Chindapasirt P.: *Lightweight geopolymer concrete containing aggregate from recycle lightweight block*, Materials & Design, vol 52, (2013), стр. 580-586.



- [60] Shu, X., Huang, B., Wu, H., Dong, Q., Burdette E.: *Performance comparison of laboratory and field produced pervious concrete mixtures*, Construction and Building Materials 25, (2011), стр. 3187-3192.
- [61] Sonebi, M., Bassuoni, M. T.: *Investigating the effect of mixture design parameters on pervious concrete by statistical modelling*, Construction and Building Materials, vol. 38, (2013), стр. 147-154.
- [62] Sata, V., Wongsu, A., Chindaprasit, P.: *Properties of pervious geopolymer concrete using recycled aggregates*, Construction and Building Materials 42, (2013), стр. 33-39.
- [63] Chen, Y., Wang, K., Liango, D.: *Mechanical properties of pervious cement concrete*, Journal of Central South University 19, (2012), стр. 3329-3334.
- [64] Chen, Y., Wang, K., Zhou, W.: *Evaluation of surface textures and skid resistance of pervious concrete pavement*, Journal of Central South University 20, (2013), стр. 520-527.
- [65] Sriravindrarajah, R., Huai Wnag, N.D., Wen Ervin, L.J.: *Mix Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete*, International Journal of Concrete Structures and Materials, vol. 6, No 4, (2012), стр. 239-246.
- [66] McCain, G., Dewoolkar, M.: *Porous Concrete Pavements: Mechanical and Hydraulic Properties*, Transportation Research Record, No 2164, Concrete Materials, (2010), стр. 66-75.
- [67] Girish, S., Manjunath Rao, R.: *A Step towards Mix Proportioning Guidelines for Pervious Concrete*, International Journal of Earth Sciences and Engineering, Vol 04, No 06, (2011), стр. 768-771.
- [68] Kevern, J.T., Farney, C.: *Reducing Curing Requirements for Pervious Concrete with a Superabsorbent Polymer for Internal Curing*, Journal of the Transport Research Board, Washington, (2012), стр. 115-121.
- [69] Kevern, J. T., Wang, K., Schaefer, V. R.: *A Novel Approach to Characterize Entrained Air Content in Pervious Concrete*, Journal of ASTM International, 5-2 (2008), стр. 1-10.
- [70] Zaetang, Y., Wongsu, A., Sata, V., Chindaprasit, P.: *Use of lightweight aggregates in pervious concrete*, Construction and Building Materials 48, (2013), стр. 585-591.
- [71] Ibrahim, A., Mahmoud, E., Yamin, M., Patibandla, V.C.: *Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties*, Construction and Building Materials 50, (2014), стр. 524-529.
- [72] Gesoglu, M., Guneyis, Khoshnaw, G., Ipek, S.: *Investigating properties of pervious concretes containing waste tire rubbers*, Construction and Building Materials 63, (2014), стр. 206-213.
- [73] Maguesvari, M.U., Narasimha, V.L.: *Studies on Characterization of Pervious Concrete for Pavement Applications*, Procedia Social and Behavioral Sciences 104, (2013), стр. 198-207.
- [74] Nguyen, D.H., Boutouil, M., Sebaibi, N., Leleyter, L., Baraud, F.: *Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers*, Construction and Building Materials, 49, (2013), стр. 151-160.
- [75] Gesoglu, M., Guneyis, Khoshnaw, G., Ipek, S.: *Abrasion and freezing-thawing resistance of pervious concretes containing waste rubbers*, Construction and Building Materials, 73, (2014), стр. 19-24.
- [76] Bonicelli, A., Giustozzi, F., Crispino, M.: *Experimental study on the effects of fine sand addition on differentially compacted pervious concrete*, Construction and Building Materials, 91, (2015), стр. 102-110.
- [77] Jo, M., Soto, L., Arocho, M., St John, J., Hwang, S.: *Optimum mix design of fly ash geopolymer paste and its use in pervious concrete for removal of fecal coliforms and phosphorus in water*, Construction and Building Materials, 93, (2015), стр. 1097-1104.
- [78] Hesami, S., Ahmadi, S., Nematzadeh, M.: *Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement*, Construction and Building Materials 53, (2014), стр. 680-691.
- [79] Gaedicke, C., Marines, A., Minakodila, F.: *Assessing the abrasion resistance of cores in virgin and recycled aggregate pervious concrete*, Construction and Building Materials 68, (2014), стр. 701-708.
- [80] Ćosić, K., Korat, L., Ducman, V., Netinger I.: *Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete*, Construction and Building Materials 78, (2015), стр. 69-76.
- [81] Kuo, W. T., Liu, C. C., Su, D. S.: *Use of washed municipal solid waste incinerator bottom ash in pervious concrete*, Cement & Concrete Composites 37, (2013), стр. 328-335.
- [82] Yahia, A., Kabagire, D.K.: *New approach to proportion pervious concrete*, Construction and Building Materials 62 (2014) стр. 38-46.
- [83] Yeih, W., Chi Fu, T., Chang, J. J., Huang, R.: *Properties of pervious concrete made with air-cooling electric arc furnace slag as aggregates*, Construction and Building Materials 93, (2015), стр. 737-745.
- [84] Ling, L. Y.: *Mechanical properties of 10mm single-sized recycled aggregates porous concrete with wood fiber*, дипломски рад, Грађевински факултет, Технички универзитет Малезија, Април (2010)
- [85] Grdić, Z.: *Tehnologija betona*, Građevinsko arhitektonski fakultet Niš, Niš, (2011)
- [86] Kayhanian, M., Anderson, D., Harvey, T. J., Jones, D., Muhunthan, B.: *Permeability measurement and scan imaging to assess clogging of pervious concrete pavements in parking lots*, Journal of Environmental Management 95, (2012), стр. 114-123.

- [87] Li, H., Kayhanian, M., Harvey, J.: *Comparative field permeability measurement of permeable pavements using ASTM C1710 and NCAT permeameter methods*, Journal of Environmental Management 118, (2013), стр. 144-152.
- [88] SRPS EN 196-1 – *Методе испитивања цемента – Део 1: Испитивање чврстоће*, Београд, Институт за стандардизацију Србије, (2008)
- [89] SRPS EN 196-3 – *Методе испитивања цемента – Део 3: Одређивање времена везивања и сталности запремине*, Београд, Институт за стандардизацију Србије, (2010)
- [90] SRPS EN 196-6 – *Методе испитивања цемента – Део 6: Одређивање финоће млива*, Београд, Институт за стандардизацију Србије, (2011)
- [91] SRPS EN 197-1 – *Цемент – Део 1: Састав, спецификације и критеријуми усаглашености за обичне цементе*, Београд, Институт за стандардизацију Србије, (2013)
- [92] СРПС Б.50.001 – *Природни камени – Узимање узорака камена и камених агрегата*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (1985)
- [93] СРПС ЕН 933-4: *Испитивање геометријских својства агрегата – Део 4: Одређивање облика зрна – Индекс облика*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2010)
- [94] Игњатовић И.: *Бетони на бази рециклираног агрегата и њихова примена у елементима армиранобетонске конструкције*, Магистарска теза, Грађевински факултет, Београд, (2009)
- [95] СРПС ЕН 12620: *Агрегати за бетон*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2013)
- [96] СРПС ЕН 1097-6: *Испитивање механичких и физичких својстава агрегата - Део 6: Одређивање стварне запреминске масе и упијање воде*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2016)
- [97] СРПС ЕН 1097-2: *Испитивање механичких и физичких својстава агрегата - Део 2: Методе одређивања отпорности на дробљење*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2013)
- [98] СРПС ЕН 933-11: *Испитивање геометријских својстава агрегата - Део 11: Класификација састојака крупног рециклираног агрегата*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2009)
- [99] СРПС ЕН 1744-6 – *Испитивање хемијских својстава агрегата – Део 6: Одређивање утицаја рециклираног агрегата на почетно време везивања цемента*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2008)
- [100] Sanchez de Juan M., Gutierrez P. A.: *Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate*, Construction and Building Materials (23), стр. 872-877, (2009)
- [101] ASTM C-618 – *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as material admixture in concrete*, American society for testing and materials, West Conshohocken, PA, USE, ASTM International, (2003)
- [102] EN 14227-04: *Fly ash for hydraulically bound mixtures*, Институт за стандардизацију Европе, (2008)
- [103] СРПС Б.Ц1.018: *Пуцолани – Квалитет и испитивања*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2001)
- [104] СРПС ЕН 450-1: *Летећи пепео за бетон: Део 1 – Дефиниција, спецификације и критеријуми усаглашености*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2010)
- [105] СРПС ЕН 12350-2: *Испитивање свежег бетона – Део 2: Испитивање слегања*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2010)
- [106] СРПС ИСО 6276: *Бетон – Збијени свежи бетон – Одређивање запреминске масе*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2007)
- [107] СРПС ЕН 12390-5: *Испитивање очврслог бетона – Део 5: Чврстоћа при савијању узорка за испитивање*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2010)
- [108] СРПС ЕН 1338:2009: *Бетонски блокови за поплочавање – Захтеви и методе испитивања*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2009)
- [109] СРПС ИСО 6784: *Одређивање статичког модула еластичности при притиску*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2000)
- [110] СРПС ЕН 12504-4: *Испитивање бетонских конструкција – Део 4: Одређивање брзине ултразвучног импулса*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2008)
- [111] СРПС ЕН 12504-2: *Испитивање бетонских конструкција – Део 2: Испитивање без разарања-Одређивање величине одскока*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (2008)
- [112] СРПС У.Е3.020: *Пројектовање и грађење путева: Технички услови за израду цементнобетонског коловоза*, Институт за стандардизацију Србије ИСС, Београд, (1987)
- [113] Rizvi, R., Tighe, S. L., Norris, J., Henderson, V.: *Incorporating Recycled Concrete Aggregate in Pervious Concrete Pavements*, Conference of the Transportation Association of Canada, Vancouver, Canada, (2009)
- [114] Cheng, A., Hsu, H. M., Chao, S. J., Lin, K. L.: *Experimental Study on Properties of Pervious Concrete Made with Recycled Aggregate*, International Journal of Pavement Research and Technology, 4-2, стр. 104-110, (2011)
- [115] Berry, B., Sozzo, M., Anderson, I., Dewoolkar, M.: *Properties of Pervious Concrete Incorporating Recycled Concrete Aggregate*, Transportation Research Board – TRB, стр. 1-16, (2012)

- [116] Zaetang, Y., Sata, V., Wongsa, A., Chindaprasirt, P.: *Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate*, Construction and Building Materials, 111, стр. 15-21, (2016)
- [117] Mahalingam, R., Vaithiyalingam-Mahalingam, S.: *Analysis of pervious concrete properties*, GRAĐEVINAR, 68-6, стр. 493-501, (2016)
- [118] Bhutta, M. A. R., Hasanah, N., Farhayu, N., Hussin, M. W., Tahir, M. M., Mirya, J.: *Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate)*, Construction and Building Materials, 47, стр. 1243-1248, (2013)
- [119] Shivakumar, M. N., Nithin, K. S., Gangadharappa, B. M.: *Use of building demolished waste as coarse aggregate in porous concrete*, International Journal of Research in Engineering and Technology, 03-06, стр. 583-588, (2014)
- [120] Hansen, T. C.: *Recycled aggregate and recycled aggregate concrete*, Third Satet of the art Report 1945-1989 of Technical Committee 37-DRC (Demolition and Reuse of Concrete), стр. 157., (1992)
- [121] Šešlija, M., Radović, N., Vasić, M., Đogo, M., Jotić, M.: *Physical-mechanical properties of fly ash applicable in road construction*, GRAĐEVINAR 69/10, стр. 923-932, (2017)

**8 НУМЕРИЧКИ ПРИЛОГ**
**ПРИЛОГ 1**
**Одређивање статичком модула еластичности**

Ознака бетона: PB R4-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.3	150.3		177.42	303.3
150.3		303.3		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 26.85 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 21.26 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 375 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 125 \text{ kN}$

$\sigma_a = 7.074 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.791 \text{ MPa}$

Табела 8.1 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.151	0.000755	17.99
	5	0			
	125	0.151			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.150	0.00075	18.11
	5	0			
	125	0.150			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R4-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.2	150.1		176.95	302.0
150.0		302.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 26.85 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 21.26 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 375 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 125 \text{ kN}$

$\sigma_a = 7.074 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.791 \text{ MPa}$

Табела 8.2 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.145	0.000725	18.73
	5	0			
	125	0.145			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.143	0.000715	18.99
	5	0			
	125	0.143			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R4-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.5	150.5	177.89	300.6	300.5
150.5			300.4	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 26.85 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 21.26 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 375 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 125 \text{ kN}$

$\sigma_a = 7.074 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.791 \text{ MPa}$

Табела 8.3 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.132	0.000660	20.58
	5	0			
	125	0.132			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.135	0.000675	20.12
	5	0			
	125	0.135			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.72	302.3
150.0		302.1		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 24.12$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 19.10$  МПа  
 $P_{c,28} = 337$  kN

Серија I и II

$P_a = 112$  kN

$\sigma_a = 6.338$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 6.055$  МПа

Табела 8.4 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.158	0.00079	15.33
	5	0			
	112	0.158			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.154	0.00070	15.73
	5	0			
	112	0.154			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.2	150.1		176.95	302.6
150.0		302.8		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 24.12 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 19.10 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 337 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 112 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.338 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.055 \text{ MPa}$

Табела 8.5 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.16	0.00080	15.14
	5	0			
	112	0.16			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.15	0.00075	16.15
	5	0			
	112	0.15			
	5	0			
	0	0			



Ознака бетона: PB R8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.9	300.9
150.0			300.9	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 24.12 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 19.10 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 337 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 112 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.338 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.055 \text{ MPa}$

Табела 8.6 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.152	0.000760	15.93
	5	0			
	112	0.152			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.145	0.000725	16.70
	5	0			
	112	0.145			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R4;8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	299.0	299.0
150.0			299.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 24.79$  MPa  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 19.63$  MPa  
 $P_{c,28} = 347$  kN

Серија I и II

$P_a = 116$  kN

$\sigma_a = 6.564$  MPa

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  MPa

$\Delta\sigma = 6.281$  MPa

Табела 8.7 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000350	17.95
	5	0.003	0.003	0.003		
	116	0.050	0.021	0.039		
	5	0.004	0.002	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000353	17.75
	5	0.002	0.003	0.001		
	116	0.052	0.023	0.037		
	5	0.002	0.003	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ R4;8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	149.3	175.07	300.0	300.0
149.5			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 24.79 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 19.63 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 347 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 116 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.564 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.281 \text{ MPa}$

Табела 8.8 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R4;8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000343	18.29
	5	0.001	0.002	0.003		
	116	0.048	0.019	0.034		
	5	0.002	0.001	0.002		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000342	18.37
	5	0	0.003	0.004		
	116	0.053	0.021	0.036		
	5	0.001	0.002	0.002		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4;8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.1	150.1		176.95	300.4
150.1		300.6		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 24.79$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 19.63$  МПа  
 $P_{c,28} = 347$  kN

Серија I и II

$P_a = 116$  kN

$\sigma_a = 6.564$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 6.281$  МПа

Табела 8.9 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000383	16.38
	5	0.001	0.003	0.001		
	116	0.047	0.018	0.050		
	5	0.001	0.001	0.002		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000382	16.44
	5	0.002	0.002	0		
	116	0.050	0.020	0.049		
	5	0.001	0.002	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	298.0
150.0		298.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 16.07 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 12.72 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 225 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 75 \text{ kN}$

$\sigma_a = 4.244 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.961 \text{ MPa}$

Табела 8.10 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000267	14.85
	5	-0.001	0.002	0.002		
	75	0.044	0.021	0.018		
	5	0	0.001	0.002		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000267	14.85
	5	0	0.001	0.002		
	75	0.043	0.018	0.022		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	299.0
150.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 16.07$  MPa  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 12.72$  MPa  
 $P_{c,28} = 225$  kN

Серија I и II

 $P_a = 75$  kN

 $\sigma_a = 4.244$  MPa

 $P_b = 5$  kN

 $\sigma_b = 0.283$  MPa

 $\Delta\sigma = 3.961$  MPa

Табела 8.11 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000183	21.61
	5	0	0.003	0.002		
	75	0.040	-0.002	0.010		
	5	0	0.001	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000183	21.61
	5	0	0.002	0.001		
	75	0.045	0	0.013		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 16.07 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 12.72 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 225 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 75 \text{ kN}$

$\sigma_a = 4.244 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.961 \text{ MPa}$

Табела 8.12 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000193	20.49
	5	0.002	0	0.004		
	75	0.042	-0.006	0.025		
	5	0.001	0	0.002		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000193	20.49
	5	0.001	-0.001	0.005		
	75	0.044	-0.005	0.024		
	5	0	0	0.003		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	301.0
150.0		301.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 16.15 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 12.79 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 225 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 75 \text{ kN}$

$\sigma_a = 4.244 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.961 \text{ MPa}$

Табела 8.13 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00025	15.84
	5	0.002	-0.001	0.002		
	75	0.045	0.015	0.025		
	5	0.001	0	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00025	15.84
	5	0.001	0.002	0.001		
	75	0.042	0.015	0.022		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: PB R8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	301.0	301.0
150.0			301.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 16.15 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 12.79 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 225 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 75 \text{ kN}$

$\sigma_a = 4.244 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.961 \text{ MPa}$

Табела 8.14 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000263	15.04
	5	0	-0.001	0.002		
	75	0.052	0.010	0.025		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000263	15.04
	5	0	0.001	0.002		
	75	0.050	0.010	0.022		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	301.0
150.0		301.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 16.15 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 12.79 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 225 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 75 \text{ kN}$

$\sigma_a = 4.244 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.961 \text{ MPa}$

Табела 8.15 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000347	11.43
	5	0.003	0	0.001		
	75	0.048	0.025	0.038		
	5	0.002	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000347	11.43
	5	0.003	0.001	0.001		
	75	0.047	0.024	0.038		
	5	0.002	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ R4;8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 19.14 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 15.15 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 267 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 89 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.036 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.753 \text{ MPa}$

Табела 8.16 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R4;8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000367	12.96
	5	-0.001	0.002	0.002		
	89	0.040	0.052	0.023		
	5	0	0.001	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000367	12.96
	5	-0.001	0.003	0		
	89	0.037	0.051	0.024		
	5	0	0.002	-0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4;8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	300.0
150.0		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 19.14 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 15.15 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 267 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 89 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 5.036 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 4.753 \text{ MPa}$ 

Табела 8.17 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000417	11.41
	5	0.001	0.006	0.002		
	89	0.045	0.065	0.028		
	5	0	0.003	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000417	11.41
	5	0.001	0.005	0		
	89	0.043	0.062	0.026		
	5	0	0.002	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ R4;8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 19.14 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 15.15 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 267 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 89 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.036 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.753 \text{ MPa}$

Табела 8.18 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R4;8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00033	14.40
	5	0.001	0.006	0.002		
	89	0.050	0.031	0.022		
	5	0	0.002	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00033	14.40
	5	0.001	0.006	0.002		
	89	0.047	0.035	0.023		
	5	0	0.003	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	149.9		176.48	299.9
149.8		299.9		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 11.88 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 9.41 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 165 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 55 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 3.122 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 2.829 \text{ MPa}$ 

Табела 8.19 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000287	9.87
	5	0.005	0.002	-0.003		
	55	0.045	0.030	0.020		
	5	0.002	0.001	-0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000287	9.87
	5	0.005	0.002	-0.003		
	55	0.040	0.032	0.018		
	5	0.003	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	149.9	176.48	300.0	300.0
149.8			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 11.88 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 9.41 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 165 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 55 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.122 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.829 \text{ MPa}$

Табела 8.20 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000243	11.63
	5	0.002	0	0.005		
	55	0.040	0.025	0.010		
	5	0.001	0	0.002		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000243	11.63
	5	0.002	0.002	0		
	55	0.038	0.026	0.013		
	5	0	0	-0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.72	300.0
150.0		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 11.88 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 9.41 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 165 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 55 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.122 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.829 \text{ MPa}$

Табела 8.21 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000183	15.43
	5	0.002	0	0.005		
	55	0.037	0.012	0.012		
	5	0.001	0	0.003		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000183	15.43
	5	0.002	0.002	0		
	55	0.034	0.009	0.016		
	5	0.001	0	-0.001		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: РВ Р8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.72	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 13.54 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 10.72 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 189 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 63 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.565 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.282 \text{ MPa}$

Табела 8.22 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.0002	16.41
	5	0	0.002	0		
	63	0.025	0.030	0.019		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.0002	16.41
	5	0.002	0.001	-0.002		
	63	0.022	0.027	0.012		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.72	299.0
150.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 13.54 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 10.72 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 189 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 63 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 3.565 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 3.282 \text{ MPa}$ 

Табела 8.23 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00035	9.38
	5	0	0.003	0.001		
	63	0.005	0.070	0.032		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00035	9.38
	5	0	0.001	0.004		
	63	0.010	0.068	0.032		
	5	0	0	0.002		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	151.0	179.08	300.0	300.0
151.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 13.54 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 10.72 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 189 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 63 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.565 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.282 \text{ MPa}$

Табела 8.24 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00016	20.51
	5	0.002	0	0.006		
	63	0.016	0.030	0.012		
	5	0	0.001	0.003		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00016	20.51
	5	0.001	0.003	-0.001		
	63	0.014	0.027	0.010		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.5	149.5	175.54	299.0	299.0
149.5			299.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 19.41 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 15.37 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 273 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 91 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.150 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.867 \text{ MPa}$

Табела 8.25 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00046	10.58
	5	0.003	0.002	-0.001		
	91	0.055	0.075	0.015		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00046	10.58
	5	0.001	0.004	-0.002		
	91	0.058	0.070	0.013		
	5	0	0.002	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	149.0	174.37	300.0	300.0
149.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 19.41 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 15.37 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 273 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 91 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.150 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.867 \text{ MPa}$

Табела 8.26 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00042	11.59
	5	0.005	0.001	-0.001		
	91	0.080	0.040	0.015		
	5	0.002	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00042	11.59
	5	0.005	0.001	0		
	91	0.078	0.045	0.009		
	5	0.003	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.6	149.8		176.24	298.0
150.0		298.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 19.41 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 15.37 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 273 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 91 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 5.150 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 4.867 \text{ MPa}$ 

Табела 8.27 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00044	11.06
	5	0.004	0.001	-0.001		
	91	0.042	0.075	0.025		
	5	0.002	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00044	11.06
	5	0.002	0.004	0		
	91	0.044	0.072	0.022		
	5	0.001	0.002	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.6	149.8	176.24	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 9.16 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 7.25 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 129 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 43 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.433 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.150 \text{ MPa}$

Табела 8.28 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00026	8.27
	5	0.005	0	0.002		
	43	0.015	0.050	0.020		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00026	8.27
	5	0.005	0.002	0		
	43	0.017	0.047	0.021		
	5	0.002	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	300.0
150.0		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 9.16 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 7.25 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 129 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 43 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.433 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.150 \text{ MPa}$

Табела 8.29 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00027	7.96
	5	0	0.002	0		
	43	0.025	0.041	0.010		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00027	7.96
	5	0	0.002	0		
	43	0.022	0.046	0.015		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: РВ Р4-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 9.16 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 7.25 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 129 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 43 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.433 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.150 \text{ MPa}$

Табела 8.30 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000227	9.49
	5	0	0.002	0		
	43	0.007	0.045	0.020		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000227	9.49
	5	0.001	0.005	-0.001		
	43	0.005	0.047	0.021		
	5	0	0.002	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	151.0		179.08	299.0
151.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 7.23 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 5.72 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 102 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 34 \text{ kN}$

$\sigma_a = 1.924 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.641 \text{ MPa}$

Табела 8.31 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000133	12.31
	5	-0.001	0.002	0		
	34	0.015	0.025	0.002		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000134	12.20
	5	-0.001	0.003	-0.001		
	34	0.014	0.021	0.006		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.5	149.5	175.54	301.2	301.2
149.5			301.2	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 7.23 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 5.72 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 102 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 34 \text{ kN}$

$\sigma_a = 1.924 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.641 \text{ MPa}$

Табела 8.32 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000163	10.05
	5	0.001	0.002	0		
	34	0.010	0.037	0.008		
	5	0	0.001	-0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000164	10.01
	5	0.002	0.001	0		
	34	0.010	0.037	0.005		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	149.0		174.37	302.3
151.0		302.3		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 7.23 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 5.72 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 102 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 34 \text{ kN}$

$\sigma_a = 1.924 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.641 \text{ MPa}$

Табела 8.33 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00015	10.94
	5	0.001	0.002	0		
	34	0.015	0.011	0.026		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000151	10.85
	5	0	0.001	0.001		
	34	0.015	0.008	0.024		
	5	-0.001	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	150.0		176.71	298.0
151.0		298.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 7.83 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 6.20 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 111 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 37 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.094 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.811 \text{ MPa}$

Табела 8.34 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000223	8.11
	5	0	0.001	0		
	37	0.030	0.033	0.009		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000224	8.08
	5	0	0	0.003		
	37	0.024	0.038	0.008		
	5	-0.001	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	151.0		179.08	300.5
151.0		300.5		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 7.83 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 6.20 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 111 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 37 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.094 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.811 \text{ MPa}$

Табела 8.35 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000250	7.24
	5	0	0.003	0		
	37	0.023	0.040	0.010		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000249	7.28
	5	0	0	0.002		
	37	0.029	0.036	0.012		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 28 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	150.5	177.89	301.0	301.0
150.0			301.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 28 дана:  $f_{c,28} = 7.83 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,28} = 6.20 \text{ MPa}$   
 $P_{c,28} = 111 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 37 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.094 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.811 \text{ MPa}$

Табела 8.36 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000247	7.34
	5	0.001	0.003	0		
	37	0.030	0.040	0.010		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000245	7.38
	5	0	0.002	-0.001		
	37	0.027	0.038	0.010		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.3	150.3	177.42	303.3	303.3
150.3			303.3	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 27.56 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 21.82 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 384 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 128 \text{ kN}$

$\sigma_a = 7.243 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.960 \text{ MPa}$

Табела 8.37 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.143	0.000715	19.47
	5	0.002			
	128	0.143			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.141	0.000705	19.75
	5	0.001			
	128	0.141			
	5	0			
	0	0			



Ознака бетона: РВ R4-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.2	150.1		176.95	302.0
150.0		302.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 27.56 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 21.82 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 384 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 128 \text{ kN}$

$\sigma_a = 7.243 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.960 \text{ MPa}$

Табела 8.38 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R4-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.152	0.00076	18.32
	5	0			
	128	0.152			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	-0.001	0.149	0.000745	18.69
	5	0			
	128	0.149			
	5	0.			
	0	0			

Ознака бетона: PB R4-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.5	150.5	177.89	300.6	300.5
150.5			300.4	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 27.56$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 21.82$  МПа  
 $P_{c,56} = 384$  kN

Серија I и II

$P_a = 128$  kN

$\sigma_a = 7.243$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 6.960$  МПа

Табела 8.39 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	-0.001	0.146	0.00073	19.07
	5	0			
	128	0.132			
	5	0			
	0	-0.001			
Серија II	0	-0.001	0.142	0.00071	19.61
	5	0			
	128	0.142			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: РВ R8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.72	302.3
150.0		302.1		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 24.92$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 19.73$  МПа  
 $P_{c,56} = 348$  kN

Серија I и II

$P_a = 116$  kN

$\sigma_a = 6.564$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 6.281$  МПа

Табела 8.40 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	-0.001	0.155	0.000755	16.21
	5	0			
	116	0.155			
	5	0			
	0	-0.001			
Серија II	0	-0.001	0.150	0.00075	16.75
	5	0			
	116	0.15			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.2	150.1		176.95	302.6
150.0		302.8		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 24.92$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 19.73$  МПа  
 $P_{c,56} = 348$  kN

Серија I и II

$P_a = 116$  kN

$\sigma_a = 6.564$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 6.281$  МПа

Табела 8.41 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	-0.002	0.163	0.000815	15.41
	5	0			
	116	0.163			
	5	0			
	0	-0.001			
Серија II	0	0	0.158	0.00079	15.90
	5	0			
	116	0.158			
	5	0			
	0	-0.001			

Ознака бетона: РВ R8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.9	300.9
150.0			300.9	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 24.92 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 19.73 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 348 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 116 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.564 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.281 \text{ MPa}$

Табела 8.42 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.157	0.000785	16.00
	5	0			
	116	0.157			
	5	0			
	0	-0.001			
Серија II	0	0	0.152	0.00076	16.53
	5	0			
	116	0.152			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R4;8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	299.0
150.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 25.71 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 20.35 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 360 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 120 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.791 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.508 \text{ MPa}$

Табела 8.43 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00035	18.59
	5	0.001	0.004	-0.001		
	120	0.048	0.030	0.036		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000357	18.23
	5	0	0.001	0		
	120	0.047	0.027	0.034		
	5	0.001	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4;8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	149.3	175.07	300.0	300.0
149.5			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 25.71 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 20.35 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 360 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 120 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.791 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.508 \text{ MPa}$

Табела 8.44 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000347	18.77
	5	0	0.001	0.001		
	120	0.045	0.024	0.040		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000345	18.86
	5	-0.001	-0.001	0.002		
	120	0.045	0.021	0.038		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4;8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.1	150.1	176.95	300.4	300.5
150.1			300.6	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 25.71 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 20.35 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 360 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 120 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.791 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.508 \text{ MPa}$

Табела 8.45 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000387	16.83
	5	0.001	0.001	0.001		
	120	0.050	0.028	0.042		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000388	16.78
	5	-0.001	0.001	0		
	120	0.045	0.021	0.038		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: PB R4-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	298.0	298.0
150.0			298.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 16.48 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 13.05 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 231 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 77 \text{ kN}$

$\sigma_a = 4.357 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.074 \text{ MPa}$

Табела 8.46 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00027	15.09
	5	0.002	0.002	-0.001		
	77	0.048	0.015	0.031		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000268	15.17
	5	0.005	0.002	-0.002		
	77	0.046	0.010	0.030		
	5	0.002	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	299.0
150.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 16.48$  MPa  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 13.05$  MPa  
 $P_{c,56} = 231$  kN

Серија I и II

 $P_a = 77$  kN

 $\sigma_a = 4.357$  MPa

 $P_b = 5$  kN

 $\sigma_b = 0.283$  MPa

 $\Delta\sigma = 4.074$  MPa

Табела 8.47 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000183	22.22
	5	0	0.001	-0.001		
	77	0.035	0.009	0.015		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000182	22.28
	5	0.001	0	0.001		
	77	0.033	0.010	0.014		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 16.48 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 13.05 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 231 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 77 \text{ kN}$

$\sigma_a = 4.357 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.074 \text{ MPa}$

Табела 8.48 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000197	20.72
	5	0.001	0.002	-0.001		
	77	0.040	0.018	0.008		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000195	20.84
	5	0.001	0	-0.001		
	77	0.036	0.014	0.009		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	301.0
150.0		301.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 17.21$  MPa  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 13.62$  MPa  
 $P_{c,56} = 240$  kN

Серија I и II

$P_a = 80$  kN

$\sigma_a = 4.527$  MPa

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  MPa

$\Delta\sigma = 4.244$  MPa

Табела 8.49 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000263	16.11
	5	-0.001	0.004	0.002		
	80	0.010	0.021	0.048		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000263	16.11
	5	0	0.001	0.002		
	80	0.011	0.024	0.047		
	5	0	0	-0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	301.0	301.0
150.0			301.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 17.21 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 13.62 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 240 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 80 \text{ kN}$

$\sigma_a = 4.527 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.244 \text{ MPa}$

Табела 8.50 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000277	15.34
	5	-0.001	0.001	0.001		
	80	0.042	0.018	0.035		
	5	0	0	-0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000276	15.37
	5	0.001	0	0.006		
	80	0.044	0.015	0.031		
	5	0	0.002	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	301.0
150.0		301.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 17.21$  MPa  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 13.62$  MPa  
 $P_{c,56} = 240$  kN

Серија I и II

$P_a = 80$  kN

$\sigma_a = 4.527$  MPa

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  MPa

$\Delta\sigma = 4.244$  MPa

Табела 8.51 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00036	11.78
	5	0.001	-0.001	0.002		
	80	0.055	0.009	0.045		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00036	11.78
	5	0	-0.003	0.001		
	80	0.044	0.015	0.031		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ R4;8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 19.93 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 15.78 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 279 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 93 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.263 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.980 \text{ MPa}$

Табела 8.52 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R4;8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000367	13.58
	5	-0.002	-0.001	0		
	93	0.070	0.016	0.029		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000368	13.54
	5	0	0.001	0.001		
	93	0.063	0.019	0.030		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4;8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 19.93 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 15.78 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 279 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 93 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.263 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.980 \text{ MPa}$

Табела 8.53 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00042	11.86
	5	-0.001	0	0.002		
	93	0.078	0.010	0.040		
	5	0	-0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000421	11.82
	5	0.004	0.004	-0.007		
	93	0.077	0.010	0.040		
	5	0.001	0	0.001		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: РВ R4;8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 19.93 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 15.78 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 279 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 93 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.263 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.980 \text{ MPa}$

Табела 8.54 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R4;8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000337	14.79
	5	-0.001	0	0.001		
	93	0.042	0.009	0.054		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000336	14.78
	5	0.001	-0.002	0		
	93	0.040	0.008	0.052		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	149.9		176.48	299.9
149.8		299.9		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 12.54 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 9.93 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 174 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 58 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.282 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.999 \text{ MPa}$

Табела 8.55 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000297	10.11
	5	0	0.004	0		
	58	0.040	0.049	0.004		
	5	0	0.001	-0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000296	10.12
	5	0.003	0.002	-0.001		
	58	0.037	0.048	0.008		
	5	0.001	-0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	149.9		176.48	300.0
149.8		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 12.54 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 9.93 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 174 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 58 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.282 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.999 \text{ MPa}$

Табела 8.56 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000253	11.84
	5	0	0.002	0		
	58	0.015	0.050	0.011		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000252	11.88
	5	0.001	0	-0.003		
	58	0.014	0.049	0.011		
	5	0	-0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.72	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 12.54 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 9.93 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 174 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 58 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.282 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.999 \text{ MPa}$

Табела 8.57 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00019	15.78
	5	-0.001	0.003	-0.001		
	58	0.012	0.049	0.003		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000191	15.74
	5	0	0.002	-0.001		
	58	0.010	0.046	0.002		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.72	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 14.34 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 11.35 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 201 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 67 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.791 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.508 \text{ MPa}$

Табела 8.58 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00021	16.71
	5	0.002	0.001	-0.002		
	67	0.060	0.012	0.012		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000208	16.82
	5	0.001	0.003	0		
	67	0.041	0.014	0.012		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.72	299.0
150.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 14.34 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 11.35 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 201 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 67 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 3.791 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 3.508 \text{ MPa}$ 

Табела 8.59 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000367	9.57
	5	0.001	0	0.005		
	67	0.065	-0.003	0.055		
	5	0	-0.001	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000367	9.57
	5	0.003	0.002	0.004		
	67	0.064	0	0.055		
	5	0.001	0	0.002		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	151.0	179.08	300.0	300.0
151.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 14.34$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 11.35$  МПа  
 $P_{c,56} = 201$  kN

Серија I и II

$P_a = 67$  kN

$\sigma_a = 3.791$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 3.508$  МПа

Табела 8.60 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000167	21.05
	5	-0.001	0	0.002		
	67	0.040	0.017	0.007		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000166	21.03
	5	0.002	-0.001	0.001		
	67	0.035	0.012	0.005		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.5	149.5		175.54	299.0
149.5		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 20.18 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 15.98 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 282 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 94 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 5.319 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 5.036 \text{ MPa}$ 

Табела 8.61 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000463	10.87
	5	0.001	0.003	0		
	94	0.035	0.085	0.024		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000465	10.84
	5	0.004	0.001	0		
	94	0.036	0.082	0.026		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: РВ Р4;8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	149.0	174.37	300.0	300.0
149.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 20.18$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 15.98$  МПа  
 $P_{c,56} = 282$  kN

Серија I и II

$P_a = 94$  kN

$\sigma_a = 5.319$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 5.036$  МПа

Табела 8.62 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00042	11.99
	5	0.001	0.001	0		
	94	0.073	0.024	0.035		
	5	0	0	-0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000421	11.95
	5	0.001	0.006	-0.002		
	94	0.071	0.027	0.033		
	5	0	0.003	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.6	149.8		176.24	298.0
150.0		298.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 20.18 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 15.98 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 282 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 94 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.319 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 5.036 \text{ MPa}$

Табела 8.63 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00044	11.45
	5	0	0.001	0		
	94	0.075	0.016	0.042		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000441	11.43
	5	0.001	0	-0.001		
	94	0.078	0.014	0.040		
	5	0	-0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.6	149.8	176.24	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 9.71 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 7.69 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 135 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 45 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.546 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.264 \text{ MPa}$

Табела 8.64 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00026	8.71
	5	0.002	0.005	-0.001		
	45	0.045	0.003	0.032		
	5	0	0.002	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000261	8.66
	5	0	0	0.003		
	45	0.041	0.006	0.034		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	300.0
150.0		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 9.71 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 7.69 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 135 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 45 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.546 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.264 \text{ MPa}$

Табела 8.65 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00027	8.38
	5	0.005	0.003	0.003		
	45	0.060	0.015	0.020		
	5	0.001	-0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000271	8.34
	5	0.006	0.002	0.005		
	45	0.059	0.014	0.021		
	5	0.002	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 9.71 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 7.69 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 135 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 45 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.546 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.264 \text{ MPa}$

Табела 8.66 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00023	9.84
	5	0.001	0.001	0.003		
	45	0.040	0.023	0.017		
	5	0	0	-0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000229	9.89
	5	0.002	0.003	0.001		
	45	0.038	0.023	0.014		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	151.0		179.08	299.0
151.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 8.19 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 6.48 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 114 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 38 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 2.150 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 1.867 \text{ MPa}$ 

Табела 8.67 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00015	12.45
	5	0.003	0	0		
	38	0.020	0.020	0.010		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000148	12.58
	5	0.002	-0.002	0.003		
	38	0.022	0.018	0.008		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.5	149.5	175.54	301.2	301.2
149.5			301.2	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 8.19 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 6.48 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 114 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 38 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.150 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.867 \text{ MPa}$

Табела 8.68 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00018	10.35
	5	-0.003	0.002	0		
	38	0.010	0.030	0.022		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.00018	10.35
	5	-0.002	0	0.002		
	38	0.006	0.028	0.020		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	149.0		174.37	302.3
151.0		302.3		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 8.19 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 6.48 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 114 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 38 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.150 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.867 \text{ MPa}$

Табела 8.69 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00017	10.98
	5	0.001	0.002	0.002		
	38	0.032	0.010	0.016		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000169	11.02
	5	0.001	-0.001	0		
	38	0.028	0.008	0.015		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: РВ Р4;8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	150.0		176.71	298.0
151.0		298.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 8.19 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 6.48 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 114 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 38 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.150 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.867 \text{ MPa}$

Табела 8.70 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000223	8.36
	5	0.001	-0.001	0.002		
	38	0.028	0.012	0.035		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000225	8.39
	5	-0.002	0.002	0.001		
	38	0.025	0.011	0.032		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	151.0		179.08	300.5
151.0		300.5		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 8.19 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 6.48 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 114 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 38 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.150 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.867 \text{ MPa}$

Табела 8.71 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000247	7.57
	5	0.002	0.001	0		
	38	0.025	0.014	0.039		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000245	7.61
	5	0	0.002	0.001		
	38	0.024	0.014	0.039		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 56 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	150.5		177.89	301.0
150.0		301.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 56 дана:  $f_{c,56} = 8.19 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,56} = 6.48 \text{ MPa}$   
 $P_{c,56} = 114 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 38 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.150 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.867 \text{ MPa}$

Табела 8.72 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00025	7.47
	5	0.001	0.001	0.002		
	38	0.032	0.015	0.040		
	5	0	-0.001	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000248	7.50
	5	0.002	0.001	0.003		
	38	0.027	0.013	0.041		
	5	0.001	0	-0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.3	150.3	177.42	303.3	303.3
150.3			303.3	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 28.12$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 22.26$  МПа  
 $P_{c,84} = 393$  kN

Серија I и II

$P_a = 131$  kN

$\sigma_a = 7.413$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 7.130$  МПа

Табела 8.73 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.147	0.000735	19.40
	5	0			
	131	0.147			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.143	0.000715	19.94
	5	0			
	131	0.143			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: РВ R4-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.2	150.1		176.95	302.0
150.0		302.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 28.12 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 22.26 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 393 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 131 \text{ kN}$

$\sigma_a = 7.413 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 7.130 \text{ MPa}$

Табела 8.74 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R4-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.148	0.00074	19.27
	5	0			
	131	0.148			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.145	0.000725	19.67
	5	0			
	131	0.145			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R4-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.5	150.5	177.89	300.6	300.5
150.5			300.4	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 28.12$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 22.26$  МПа  
 $P_{c,84} = 393$  kN

Серија I и II

$P_a = 131$  kN

$\sigma_a = 7.413$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 7.130$  МПа

Табела 8.75 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.152	0.00076	18.76
	5	0			
	131	0.152			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.153	0.00076	18.76
	5	0			
	131	0.153			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: РВ R8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.72	302.3
150.0		302.1		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 25.10 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 19.87 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 351 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 117 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.621 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.338 \text{ MPa}$

Табела 8.76 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.162	0.00081	15.65
	5	0			
	117	0.162			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.157	0.000785	16.15
	5	0			
	117	0.157			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.2	150.1	176.95	302.6	302.7
150.0			302.8	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 25.10 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 19.87 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 351 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 117 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 6.621 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 6.338 \text{ MPa}$ 

Табела 8.77 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.157	0.000785	16.15
	5	0			
	117	0.157			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.154	0.00077	16.46
	5	0			
	117	0.154			
	5	0			
	0	0			



Ознака бетона: РВ R8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.9	300.9
150.0			300.9	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 25.10$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 19.87$  МПа  
 $P_{c,84} = 351$  kN

Серија I и II

$P_a = 117$  kN

$\sigma_a = 6.621$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 6.338$  МПа

Табела 8.78 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$	$\Delta l_{long,a} - \Delta l_{long,b}$	$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
Серија I	0	0	0.155	0.000775	16.36
	5	0			
	117	0.155			
	5	0			
	0	0			
Серија II	0	0	0.152	0.00076	16.68
	5	0			
	117	0.152			
	5	0			
	0	0			

Ознака бетона: PB R4;8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	299.0
150.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 26.01 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 20.59 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 363 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 121 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.847 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.564 \text{ MPa}$

Табела 8.79 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000373	17.58
	5	0.001	0.002	0		
	121	0.050	0.040	0.025		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000357	18.45
	5	-0.001	0.001	0		
	121	0.048	0.037	0.022		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4;8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	149.3	175.07	300.0	300.0
149.5			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 26.01$  MPa  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 20.59$  MPa  
 $P_{c,84} = 363$  kN

Серија I и II

$P_a = 121$  kN

$\sigma_a = 6.847$  MPa

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  MPa

$\Delta\sigma = 6.564$  MPa

Табела 8.80 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000347	18.93
	5	0	0	0.001		
	121	0.055	0.022	0.035		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000346	18.92
	5	0.002	0.001	0		
	121	0.052	0.023	0.032		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4;8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.1	150.1		176.95	300.4
150.1		300.6		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 26.01 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 20.59 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 363 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 121 \text{ kN}$

$\sigma_a = 6.847 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 6.564 \text{ MPa}$

Табела 8.81 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000387	16.98
	5	0	0	0		
	121	0.031	0.044	0.045		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000386	17.01
	5	0	0	0.002		
	121	0.033	0.045	0.040		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	298.0	298.0
150.0			298.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 16.84$  MPa  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 13.33$  MPa  
 $P_{c,84} = 236$  kN

Серија I и II

$P_a = 79$  kN

$\sigma_a = 4.470$  MPa

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  MPa

$\Delta\sigma = 4.188$  MPa

Табела 8.82 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000277	15.14
	5	0.001	0	0.002		
	79	0.042	0.030	0.015		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000275	15.22
	5	0.001	0	-0.002		
	79	0.040	0.028	0.014		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	299.0
150.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 16.84$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 13.33$  МПа  
 $P_{c,84} = 236$  kN

Серија I и II

$P_a = 79$  kN

$\sigma_a = 4.470$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 4.188$  МПа

Табела 8.83 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000187	22.43
	5	0.001	0.001	0.002		
	79	0.034	0.022	0.015		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000188	22.31
	5	-0.002	0.003	0.001		
	79	0.029	0.018	0.011		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 16.84 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 13.33 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 236 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 79 \text{ kN}$

$\sigma_a = 4.470 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 4.188 \text{ MPa}$

Табела 8.84 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000200	20.94
	5	0.001	0.002	0.001		
	79	0.037	0.015	0.015		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000199	21.00
	5	0.001	0.003	0		
	79	0.035	0.018	0.011		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	301.0
150.0		301.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 17.96$  MPa  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 14.22$  MPa  
 $P_{c,84} = 252$  kN

Серија I и II

$P_a = 84$  kN

$\sigma_a = 4.753$  MPa

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  MPa

$\Delta\sigma = 4.470$  MPa

Табела 8.85 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000277	16.16
	5	0.001	0.004	0.002		
	84	0.007	0.028	0.052		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000276	16.19
	5	0	0.001	0.002		
	84	0.006	0.024	0.056		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: PB R8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	301.0	301.0
150.0			301.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 17.96$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 14.22$  МПа  
 $P_{c,84} = 252$  kN

Серија I и II

$P_a = 84$  kN

$\sigma_a = 4.753$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 4.470$  МПа

Табела 8.86 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000290	15.41
	5	0.001	0.002	0.001		
	84	0.062	-0.011	0.035		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000289	15.42
	5	0	0	0		
	84	0.060	-0.007	0.034		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	301.0
150.0		301.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 17.96$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 14.22$  МПа  
 $P_{c,84} = 252$  kN

Серија I и II

$P_a = 84$  kN

$\sigma_a = 4.753$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 4.470$  МПа

Табела 8.87 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000373	11.97
	5	0	0.001	0		
	84	0.068	-0.009	0.057		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000375	11.92
	5	0.002	0.001	0		
	84	0.068	-0.008	0.055		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ R4;8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 20.12$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 15.93$  МПа  
 $P_{c,84} = 282$  kN

Серија I и II

$P_a = 94$  kN

$\sigma_a = 5.319$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 5.036$  МПа

Табела 8.88 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R4;8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000367	13.73
	5	0.001	0	0		
	94	0.055	0.022	0.038		
	5	0	-0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000368	13.70
	5	0	0	-0.001		
	94	0.052	0.021	0.036		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB R4;8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	300.0
150.0		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 20.12$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 15.93$  МПа  
 $P_{c,84} = 282$  kN

Серија I и II

 $P_a = 94$  kN

 $\sigma_a = 5.319$  МПа

 $P_b = 5$  kN

 $\sigma_b = 0.283$  МПа

 $\Delta\sigma = 5.036$  МПа

Табела 8.89 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB R4;8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000423	11.90
	5	0.002	0	0.002		
	94	0.068	0.010	0.055		
	5	0	-0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000422	11.94
	5	0.001	0	0.002		
	94	0.065	0.012	0.053		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ R4;8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 20.12$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 15.93$  МПа  
 $P_{c,84} = 282$  kN

Серија I и II

$P_a = 94$  kN

$\sigma_a = 5.319$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 5.036$  МПа

Табела 8.90 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ R4;8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000337	14.96
	5	-0.001	0	0.001		
	94	0.042	0.011	0.047		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000338	14.91
	5	0	-0.002	0		
	94	0.044	0.012	0.043		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	149.9		176.48	299.9
149.8		299.9		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 12.90$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 10.21$  МПа  
 $P_{c,84} = 180$  kN

Серија I и II

 $P_a = 60$  kN

 $\sigma_a = 3.395$  МПа

 $P_b = 5$  kN

 $\sigma_b = 0.283$  МПа

 $\Delta\sigma = 3.112$  МПа

Табела 8.91 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000303	10.26
	5	0	0.002	0.001		
	60	0.038	0.050	0.015		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000305	10.21
	5	0.002	0.001	0.001		
	60	0.034	0.041	0.020		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	149.9		176.48	300.0
149.8		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 12.90$  МПа  
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 10.21$  МПа  
 $P_{c,84} = 180$  kN

Серија I и II

$P_a = 60$  kN

$\sigma_a = 3.395$  МПа

$P_b = 5$  kN

$\sigma_b = 0.283$  МПа

$\Delta\sigma = 3.112$  МПа

Табела 8.92 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000260	11.97
	5	0.001	0	-0.001		
	60	0.020	0.052	0.011		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000261	11.93
	5	0	0	0.002		
	60	0.018	0.051	0.011		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.72	300.0
150.0		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 12.90 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 10.21 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 180 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 60 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 3.395 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 3.112 \text{ MPa}$ 

Табела 8.93 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000197	15.83
	5	0.001	0	0.001		
	60	0.018	0.038	0.007		
	5	0	-0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000196	15.81
	5	0	0	0		
	60	0.018	0.036	0.005		
	5	0.001	0	-0.001		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: РВ Р8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.72	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 14.64 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 11.59 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 204 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 68 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.848 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.565 \text{ MPa}$

Табела 8.94 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000217	16.45
	5	-0.001	0.001	0		
	68	0.035	0.029	0.012		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000211	16.88
	5	0	0	0.001		
	68	0.033	0.023	0.010		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.72	299.0
150.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 14.64 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 11.59 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 204 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 68 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.848 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.565 \text{ MPa}$

Табела 8.95 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00037	9.63
	5	0	0	0.001		
	68	0.054	0.023	0.037		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000371	9.61
	5	0.001	0.001	0		
	68	0.051	0.026	0.036		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	151.0		179.08	300.0
151.0		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 14.64 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 11.59 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 204 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 68 \text{ kN}$

$\sigma_a = 3.848 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 3.565 \text{ MPa}$

Табела 8.96 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00017	20.97
	5	-0.001	0	0.001		
	68	0.048	-0.017	0.024		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000169	21.09
	5	0.001	-0.001	0		
	68	0.042	-0.017	0.026		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-0  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.5	149.5		175.54	299.0
149.5		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 20.46 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 16.20 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 285 \text{ kN}$

Серија I и II

 $P_a = 95 \text{ kN}$ 
 $\sigma_a = 5.376 \text{ MPa}$ 
 $P_b = 5 \text{ kN}$ 
 $\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$ 
 $\Delta\sigma = 5.093 \text{ MPa}$ 

Табела 8.97 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-0/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000467	10.91
	5	0.001	0.001	0		
	95	0.031	0.080	0.033		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000466	10.92
	5	0.001	-0.001	0.001		
	95	0.032	0.078	0.031		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-0  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	149.0	174.37	300.0	300.0
149.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 20.46 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 16.20 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 285 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 95 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.376 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 5.093 \text{ MPa}$

Табела 8.98 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-0/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000423	12.03
	5	0.001	0.001	0		
	95	0.068	0.032	0.031		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000424	12.00
	5	0	0	-0.001		
	95	0.064	0.031	0.031		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-0  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.6	149.8		176.24	298.0
150.0		298.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 20.46 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 16.20 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 285 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 95 \text{ kN}$

$\sigma_a = 5.376 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 5.093 \text{ MPa}$

Табела 8.99 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-0/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000443	11.49
	5	0	0.002	0.001		
	95	0.071	0.039	0.033		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000442	11.51
	5	0.003	0.002	0.001		
	95	0.069	0.037	0.033		
	5	0.001	0	-0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.6	149.8	176.24	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 9.91 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 7.85 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 138 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 46 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.603 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.320 \text{ MPa}$

Табела 8.100 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000263	8.81
	5	0.001	0.001	-0.001		
	46	0.041	0.025	0.020		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000263	8.81
	5	0	0	0		
	46	0.038	0.027	0.014		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0		176.71	300.0
150.0		300.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 9.91 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 7.85 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 138 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 46 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.603 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.320 \text{ MPa}$

Табела 8.101 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000273	8.49
	5	0.004	0.002	0		
	46	0.055	0.022	0.020		
	5	0.001	0	-0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000272	8.51
	5	0.003	0.005	0.001		
	46	0.049	0.025	0.017		
	5	0.001	0.002	0		
	0	0	0	0		



Ознака бетона: РВ Р4-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.0	150.0	176.71	300.0	300.0
150.0			300.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 9.91 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 7.85 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 138 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 46 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.603 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 2.320 \text{ MPa}$

Табела 8.102 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000233	9.94
	5	0.001	0	0.003		
	46	0.040	0.025	0.017		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000234	9.93
	5	0	0.003	0		
	46	0.037	0.022	0.014		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: PB P8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	151.0		179.08	299.0
151.0		299.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 8.56 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 6.78 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 120 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 40 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.264 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.981 \text{ MPa}$

Табела 8.103 Одређивање статичког модула еластичности, узорак PB P8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000157	12.64
	5	0.003	0	0		
	40	0.037	-0.020	0.030		
	5	0	0	-0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000156	12.63
	5	0	-0.002	0.001		
	40	0.035	-0.016	0.027		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.5	149.5	175.54	301.2	301.2
149.5			301.2	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 8.56 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 6.78 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 120 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 40 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.264 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.981 \text{ MPa}$

Табела 8.104 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000190	10.42
	5	0.001	0	0.002		
	40	0.015	0.018	0.030		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000190	10.41
	5	0	0	0.004		
	40	0.013	0.019	0.029		
	5	0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	149.0		174.37	302.3
151.0		302.3		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 8.56 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 6.78 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 120 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 40 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.264 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.981 \text{ MPa}$

Табела 8.105 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.00018	11.03
	5	0.001	0.001	0.002		
	40	0.025	0.011	0.020		
	5	0	0	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000178	11.10
	5	-0.002	0.001	0		
	40	0.025	0.010	0.018		
	5	0	0	0.001		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-25  
 Ознака цилиндра: 1  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
149.0	150.0		176.71	298.0
151.0		298.0		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 8.37 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 6.63 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 116 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 39 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.207 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.924 \text{ MPa}$

Табела 8.106 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-25/1

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000227	8.49
	5	0.001	0	0.002		
	39	0.035	0.012	0.022		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000228	8.43
	5	0	0.002	0.001		
	39	0.033	0.017	0.021		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-25  
 Ознака цилиндра: 2  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
151.0	151.0		179.08	300.5
151.0		300.5		

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 8.37 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 6.63 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 116 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 39 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.207 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.924 \text{ MPa}$

Табела 8.107 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-25/2

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000250	7.70
	5	0.002	0	0		
	39	0.030	0.019	0.030		
	5	0	0.001	0		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000252	7.64
	5	0	0	0.001		
	39	0.031	0.015	0.030		
	5	-0.001	0	0		
	0	0	0	0		

Ознака бетона: РВ Р4;8-25  
 Ознака цилиндра: 3  
 Старост узорка: 84 дана

**Димензије узорка**

Пречник [mm]		Површина [cm <sup>2</sup> ]	Висина [mm]	
150.5	150.5	177.89	301.0	301.0
150.5			301.0	

**Напони и деформације**

Притисна чврстоћа при старости 84 дана:  $f_{c,84} = 8.37 \text{ MPa}$   
 Притисна чврстоћа прерачуната за цилиндар:  $f_{cl,84} = 6.63 \text{ MPa}$   
 $P_{c,84} = 116 \text{ kN}$

Серија I и II

$P_a = 39 \text{ kN}$

$\sigma_a = 2.207 \text{ MPa}$

$P_b = 5 \text{ kN}$

$\sigma_b = 0.283 \text{ MPa}$

$\Delta\sigma = 1.924 \text{ MPa}$

Табела 8.108 Одређивање статичког модула еластичности, узорак РВ Р4;8-25/3

	Сила [kN]	$\Delta l_{long}$			$\Delta \epsilon_{long}$	E [GPa]
		$\Delta l_{long,1}$	$\Delta l_{long,2}$	$\Delta l_{long,3}$		
Серија I	0	0	0	0	0.000253	7.59
	5	0.001	0.001	0		
	39	0.025	0.021	0.035		
	5	0	0	-0.001		
	0	0	0	0		
Серија II	0	0	0	0	0.000254	7.55
	5	0.001	0.001	0.001		
	39	0.028	0.017	0.034		
	5	0	-0.001	0		
	0	0	0	0		