



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6



МИЛАН С. МАРИНКОВИЋ

**ПРИМЕНА ОТПАДНИХ И РЕЦИКЛИРАНИХ
МАТЕРИЈАЛА ЗА ИЗРАДУ СТАБИЛИЗОВАНИХ СЛОЈЕВА
КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

НОВИ САД, 2021.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Милан Маринковић
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)	др Бојан Матић
Наслов рада:	Примена отпадних и рециклираних материјала за израду стабилованих слојева коловозних конструкција
Језик публикације (писмо):	Српски (ћирилица)
Физички опис рада:	Унети број: Страница _____ 280 _____ Поглавља _____ 9 _____ Референци _____ 144 _____ Табела _____ 112 _____ Слика _____ 116 _____ Графикона _____ 0 _____ Прилога _____ 4 _____
Научна област:	Грађевинско инжењерство
Ужа научна област (научна дисциплина):	Саобраћајнице
Кључне речи / предметна одредница:	Хладна рециклажа на лицу мјеста, Битуменска емулзија, Цемент, Отпадни и рециклирани материјали, Индиректна затезна чврстоћа
Резиме на језику рада:	У докторској дисертацији су приказана испитивања мјешавина за хладне рециклаже на лицу мјеста гдје се користи постојећи материјал. У досадашњим истраживањима највише су коришћени цемент, битуменска емулзија и пјенушави битумен. У овим истраживањима су коришћени цемент и битуменска емулзија а поред њих и летећи пепео, зеолит, згура и бакелит. Укупно је испитивано 7 мјешавина. Испитивања су урађена према Виртген упутству за хладне рециклаже. Испитиване су индиректне затезне чврстоће и динамички модули еластичности након 7 и 28 дана за суве узорке, након 28 дана за водом засићене узорке и за узорке изложене дејству мрза.
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	28.12.2020.

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штапане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штапаном и електронском облику и не кориче се са тезом.

Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	Председник: др Станислав Јовановић, ванредни професор, Факултет техничких наука Нови Сад Члан: др Небојша Радовић, редовни професор, Факултет техничких наука Нови Сад Члан: др Биљана Ивановић, доцент, Грађевински факултет Универзитета Црне Горе Члан: др Властимир Радоњанин, редовни професор, Факултет техничких наука Нови Сад Члан, ментор: др Бојан Матић, ванредни професор, Факултет техничких наука Нови Сад
Напомена:	

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OR CENTER**

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Milan Marinković
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	Bojan Matić, PhD
Thesis title:	Application of waste and recycled materials for the production of stabilized layers of pavement structures
Language of text (script):	Serbian language (cyrillic)
Physical description:	Number of: Pages _____ 280 _____ Chapters _____ 9 _____ References _____ 144 _____ Tables _____ 112 _____ Illustrations _____ 116 _____ Graphs _____ 0 _____ Appendices _____ 4 _____
Scientific field:	Civil Engineering
Scientific subfield (scientific discipline):	Road Networks
Subject, Key words:	Cold In-Place Recycling (CIR), Bitumen emulsion, Cement, Waste and recycled materials, Indirect tensile strength (ITS)
Abstract in English language:	In the doctoral dissertation, tests of mixtures for cold in-place recycling where existing material is used are presented. In previous research, cement, bitumen emulsion and foamed bitumen have been used the most. Cement and bitumen emulsion were used in these researches, as well as fly ash, zeolite, slag and bakelite. A total of 7 mixtures were tested. The tests were performed according to the Wirtgen cold recycling manual. Indirect tensile strengths and dynamic modulus of elasticity were tested after 7 and 28 days for water-saturated specimens and for specimens exposed to frost.
Accepted on Scientific Board on:	28.12.2020.
Defended: (Filled by the faculty service)	

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

5a – Statement on the authority,

5b – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	President: PhD Stanislav Jovanović, Associate Professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Member: PhD Nebojša Radović, Full Professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Member: PhD Biljana Ivanović, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering University of Montenegro Member: PhD Vlastimir Radonjanin, Full Professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Member, Mentor: PhD Bojan Matić, Associate Professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
Note:	

Коловозна конструкција представља вишеслојни систем који служи да прими и пренесе на постељицу оптерећење од возила. Рециклажа коловозне конструкције подразумијева употребу материјала из постојеће коловозне конструкције. Постоје различите класификације рециклажа, а најчешћа класификација у европским земљама је на топлу и хладну рециклажу на основу температуре израде рециклаже, док се на основу мјеста рециклирања дијеле на рециклаже на лицу мјеста и у асфалтним базама. Тема ове докторске дисертације је хладна рециклажа на лицу мјеста. У поступку хладне рециклаже на лицу мјеста се стружу постојећи слојеви, а затим се додају везива. Онда се врши мљевање и уситњавање и након тога хомогенизација мјешавине, која се затим разастире и набија. У досадашњим истраживањима су као везива најчешће коришћени цемент, битуменска емулзија и пјенушави битумен.

У докторској дисертацији су коришћени цемент СЕМ I 42,5 R и битуменска емулзија. Поред тих материјала употребљени су летећи пепео, згура, зеолит и бакелит. Циљ употребе ових материјала био је да се њиховом примјеном смањи цијена коштања израде хладно рециклираних мјешавина, да се постигне смањење загађења животне средина, а да притом механичке карактеристике буду у границама дозвољених.

За израду мјешавина је коришћена методологија из Виртген упутства. По тој методологији прво се одређује гранулометријски састав узоркованог материјала и провјерава се да ли је у дозвољеним границама. Узорковани материјал, из саобраћајнице у Жабљу, није задовољавао границе па је извршена корекција филером. Рециклирани материјал је имао недостатак ситних честица што је веома чест случај код хладних рециклажа. Истраживања су обухватила седам различитих мјешавина са различитим садржајем везива:

- М1- мјешавина са 2% цемента и 2% битуменске емулзије,
- М2- мјешавина са 2% цемента и 3% битуменске емулзије,
- М3- мјешавина са 2% цемента и 4% битуменске емулзије,
- М4- мјешавина са 1,6% цемента, 0,4% летећег пепела и 2% битуменске емулзије,
- М5- мјешавина са 1,6% цемента, 0,4% зеолита и 2% битуменске емулзије,
- М6- мјешавина са 1,6% цемента, 0,4% згуре и 2% битуменске емулзије,
- М7- мјешавина са 2% цемента, 0,4% бакелита и 1,6% битуменске емулзије.

Након корекције гранулометријског састава мјешавине су сједињење са везивом и одређен им је оптимални садржај флуида. Оптимални садржај флуида представља садржај флуида при којем се обезбјеђује најбоља компактност и најбоља уградљивост. За сваки садржај везива одређен је оптимални садржај везива и то тако што су справљани

узроци са различитим садржајима флуида. На основу вриједности запреминске масе, тј. за максималну вријеност запреминске масе, одређени су оптимални садржаји флуида. Оптимални садржај флуида подразумијева воду која се налази у битуменској емулзији и посебно додату воду.

У сљедећој фази су справљани узорци тако што им је додаван садржај воде и битуменске емулзије који је одговарао количини оптималног садржаја флуида. На тим узорцима је испитивана индиректна затезна чврстоћа:

- након 7 дана,
- након 28 дана,
- у водом засићеном стању након 28 дана
- после циклуса дејства мрза.

Након завршених испитивања примјеном вишекритеријумске анализе поређене су мјешавине у погледу:

- механичких карактеристика,
- цијене и
- утицаја на животну средину.

Кључне речи: Хладна рециклажа на лицу мјеста, Битуменска емулзија, Цемент, Отпадни и рециклирани материјали, Индиректна затезна чврстоћа

Област: Грађевинско инжењерство

УНО: Саобраћајнице

ABSTRACT

The pavement structure is a multi-layer system that serves to receive and transfer the load from the vehicle to the pavement subgrade. Recycling of the pavement structure implies the use of materials from the existing pavement structure. There are different classifications of recycling and the most common classification in European countries is hot and cold recycling based on the temperature of recycling, while based on the place of recycling they are divided into recycling in place and in the asphalt plant. The topic of this doctoral dissertation is cold in-place recycling. In the in-place cold recycling process, the existing layers are scraped off and then binders are added. After the homogenization of the mixture, it is then spread and compacted. In previous research, cement, bitumen emulsion and foamed bitumen were most often used as binders. Cement and bitumen emulsion were used in the doctoral dissertation. In addition to these materials, fly ash, slag, zeolite and bakelite were used. The use of these materials aimed to reduce the cost of production of cold recycled mixtures, to achieve a reduction in environmental pollution, while keeping the mechanical characteristics within the permitted limits. The methodology from the Wirtgen manual was used to prepare the mixtures. According to this methodology, the granulometric composition of the sampled material is determined and it is checked whether it is within the allowed limits. The sampled material from the road in Žabalj did not meet the limits, so a correction was made with a filler. Recycled material had a lack of fine particles, which is very common in cold recycling.

The research included seven different mixtures with different binder content:

- M1- mixture with 2% cement and 2% bitumen emulsion,
- M2- mixture with 2% cement and 3% bitumen emulsion,
- M3- mixture with 2% cement and 4% bitumen emulsion,
- M4- mixture with 1.6% cement, 0.4% fly ash and 2% bitumen emulsion,
- M5- mixture with 1.6% cement, 0.4% zeolite and 2% bitumen emulsion,
- M6- mixture with 1,6% cement, 0.4% slag and 2% bitumen emulsion,
- M7- mixture with 2% cement, 0.4% bakelite and 1.6% bitumen emulsion.

After correction of the granulometric composition, the mixtures were combined with the binder and the optimal fluid content was determined. The optimal fluid content is the fluid content at which the best compactness and the best workability are provided. For each binder content, the optimal binder content was determined by dealing with cases with different fluid contents.

Based on the value of the bulk density, ie. for the maximum value of the bulk density, the optimal fluid contents are determined. The optimal fluid content includes water contained in the bitumen emulsion and especially added water. In the next stage, the samples were

prepared by adding water content and bitumen emulsion corresponding to the amount of optimal fluid content. Indirect tensile strength:

- after 7 days,
- after 28 days,
- in water-saturated state after 28 days
- after the frost cycle

were tested on these samples.

After the tests were completed, mixtures in terms of:

- mechanical characteristics,
- price,
- and environmental impact.

were compared using multi-criteria analysis.

Key words: Cold In-Place Recycling (CIR), Bitumen emulsion, Cement, Waste and recycled materials, Indirect tensile strength (ITS)

Scientific field: Civil Engineering

Scientific discipline: Road Networks

ПОСВЕТА

Оцу Слободану, мајци Милки, брату Горану и породици.

САДРЖАЈ

1.	УВОД.....	1
1.1.	ОСНОВЕ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА.....	1
1.1.1.	СЛОЈЕВИ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ.....	2
2.	ПОТРЕБА ЗА ИСТРАЖИВАЊЕМ.....	9
2.1.	ПОВЕЋАЊЕ ЦИЈЕНА ОСНОВНИХ СИРОВИНА.....	10
2.2.	УШТЕДА У ПОГЛЕДУ СИРОВИНА.....	11
2.3.	СМАЊЕНА ПОТРЕБА ЗА ОДЛАГАЊЕМ ОТПАДА.....	11
2.4.	ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ И СМАЊЕЊЕ ЗАГАЂЕЊА ВАЗДУХА.....	12
2.5.	ОСНОВНА ХИПОТЕЗА ИСТРАЖИВАЊА.....	14
2.6.	ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА.....	14
3.	РЕЦИКЛАЖА.....	17
3.1.	ТОПЛА РЕЦИКЛАЖА.....	19
3.2.	ХЛАДНА РЕЦИКЛАЖА.....	19
3.3.	ТЕХНОЛОГИЈА ХЛАДНЕ РЕЦИКЛАЖЕ НА ЛИЦУ МЈЕСТА.....	24
4.	МАТЕРИЈАЛИ.....	28
4.1.	РЕЦИКЛИРАНИ АСФАЛТ.....	29
4.2.	БИТУМЕНСКА ЕМУЛЗИЈА.....	30
4.2.1.	АНЈОНСКЕ ЕМУЛЗИЈЕ.....	31
4.2.2.	КАТЈОНСКЕ ЕМУЛЗИЈЕ.....	32
4.3.	ЦЕМЕНТ.....	32
4.3.1.	ПРАВИЛНИК О КВАЛИТЕТУ ЦЕМЕНТА.....	33
4.4.	ЗЕОЛИТ.....	34
4.5.	ПЛАСТИКА.....	35
4.6.	ЗГУРА.....	38
4.7.	ЛЕТЕЋИ ПЕПЕО.....	39
5.	ДОСАДАШЊА ИСТРАЖИВАЊА.....	41
5.1.	ПРИРУЧНИЦИ И УПУТСТВА.....	41
5.1.1.	СРБИЈА.....	41
5.1.2.	ВИРТГЕН УПУТСТВО.....	47
5.1.3.	ЈУЖНА АФРИКА.....	51

5.1.4.	ХРВАТСКА	54
5.2.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА	58
5.2.1.	ЊЕГОВАЊЕ УЗОРАКА	80
6.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА	87
6.1.	УЗОРКОВАЊЕ РЕЦИКЛИРАНИХ МАТЕРИЈАЛА	87
6.2.	ГРАНУЛОМЕТРИЈСКИ САСТАВ	94
6.3.	МЈЕШАВИНЕ	96
6.3.1.	БИТУМЕНСКА ЕМУЛЗИЈА	97
6.3.2.	ЦЕМЕНТ	98
6.3.3.	ЗЕОЛИТ	99
6.3.4.	ЛЕТЕЋИ ПЕПЕО	99
6.3.5.	ЗГУРА	100
6.3.6.	БАКЕЛИТ	104
6.4.	ИСПИТИВАЊЕ ОПТИМАЛНОГ САДРЖАЈА ФЛУИДА	107
6.5.	РЕЦЕПТУРЕ МЈЕШАВИНА	116
6.6.	ПРОГРАМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ИСТРАЖИВАЊА	117
6.7.	ПРИПРЕМА УЗОРАКА	119
6.8.	ЊЕГА УЗОРАКА	120
6.9.	МЈЕРЕЊЕ И КОНТРОЛА УЗОРАКА	123
6.9.1.	ЗАПРЕМИНСКА МАСА НАКОН СПРАВЉАЊА УЗОРКА	123
6.10.	ИСПИТИВАЊА	126
6.10.1.	ЗАПРЕМИНСКА МАСА УЗОРАКА ПРИ ИСПИТИВАЊУ	126
6.10.2.	ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА	130
6.10.3.	ДИНАМИЧКИ МОДУЛ ЕЛАСТИЧНОСТИ	133
7.	АНАЛИЗА И ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА	140
7.1.	АНАЛИЗА ИНДИРЕКТНЕ ЗАТЕЗНЕ ЧВРСТОЋЕ	140
7.2.	АНАЛИЗА ЗАОСТАЛЕ ЗАТЕЗНЕ ЧВРСТОЋЕ	142
7.3.	АНАЛИЗА ДИНАМИЧКОГ МОДУЛА ЕЛАСТИЧНОСТИ	143
7.4.	УТИЦАЈ САДРЖАЈА БИТУМЕНСКЕ ЕМУЛЗИЈЕ	143
7.5.	ФУНКЦИОНАЛНЕ ЗАВИСНОСТИ ИЗМЕЂУ ИЗМЈЕРЕНИХ ПАРАМЕТАРА МЈЕШАВИНА	145
7.6.	ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ИСПИТИВАНИХ МЈЕШАВИНА	153
7.6.1.	ПОРЕЂЕЊЕ ФЛЕКСИБИЛНЕ И СТАБИЛИЗОВАНЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ	153

7.6.2.	ПОРЕЂЕЊЕ ЦИЈЕНА ФЛЕКСИБИЛНЕ И СТАБИЛИЗОВАНЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ 157	
7.6.3.	ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ХЛАДНО РЕЦИКЛИРАНИХ МЈЕШАВИНА.....	158
7.6.4.	ЦИЈЕНА ВЕЗИВА ЗА КВАДРАТНИ МЕТАР	162
7.7.	АНАЛИЗА ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ	164
7.8.	ЗАВРШНА АНАЛИЗА МЈЕШАВИНА.....	165
8.	ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА	170
8.1.	ЗАКЉУЧЦИ О ХИПОТЕЗИ.....	173
8.2.	ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА.....	174
9.	ЛИТЕРАТУРА.....	177
	ПРИЛОГ 1: КАЛЕНДАР СА ДАТУМИМА СПРАВЉАЊА, ЊЕГОВАЊА И ИСПИТИВАЊА УЗОРАКА.....	190
	ПРИЛОГ 2: ЗАПРЕМИНСКЕ МАСЕ УЗОРАКА НАКОН ВАЂЕЊА ИЗ КАЛУПА.....	193
	ПРИЛОГ 3: ЗАПРЕМИНСКЕ МАСЕ НАКОН ВАЂЕЊА ИЗ СУШНИЦЕ.....	198
	ПРИЛОГ 4 : ДИЈАГРАМИ ОПТЕРЕЂЕЊЕ-ДЕФОРМАЦИЈА ДОБИЈЕНИ ИСПИТИВАЊЕМ УЗОРАКА.....	203

СПИСАК СЛИКА

Сл. 1. Приказ преноса оптерећења кроз коловозну конструкцију	1
Сл. 2. Типичан попречни пресјек врста коловозних конструкција (флексибилна – горе лијево, полукрута- горе десно, крута-доље)	2
Сл. 3. Изглед еквивалентне стандардне осовине од 82 kN	3
Сл. 4. Врсте и технолошке дебљине асфалтних слојева у зависности од саобраћајног оптерећења	3
Сл. 5. Оријентационе дебљине коловозне конструкције и састав исте у зависности од саобраћајног оптерећења [1]	4
Сл. 6. Модели прогнозне будућег стања коловоза [5]	9
Сл. 7. Степенasti концепт рециклирања коловозних конструкција [1]	10
Сл. 8. Историјски приказ цијена нафте [13]	11
Сл. 9. Историјски приказ цијене битумена [14]	11
Сл. 10. Процентуална структура отпада[15]	12
Сл. 11. Начини повезивања путевима [16]	13
Сл. 12. Количина створеног (емитованог, произведеног, генерисаног ...) CO ₂ приликом производње једне тоне асфалта на конвенционални начин [16]	13
Сл. 13. Разлике између хладних и топлих мјешавина [17]	14
Сл. 14. Дијаграм техника за уклањање флексибилних коловозних конструкција, операција и рециклирања рециклираног асфалта [18]	17
Сл. 15. Приказ рециклажног воза за хладну рециклажу на лицу мјеста [25]	24
Сл. 16. Једнодјелни воз за рециклажу [29]	25
Сл. 17. Дводјелни воз за рециклажу [29]	26
Сл. 18. Вишедјелни воз за рециклажу [30]	26
Сл. 19. Концепт хладног рециклирања примјењен у докторској дисертацији (Извор: аутор Милан Маринковић)	28
Сл. 20. Рециклирани асфалт	29
Сл. 21. Изглед битуменске емулзије	31
Сл. 22. Цемент	32
Сл. 23. Изглед зеолита	34
Сл. 24. Изглед бакелита (бијели и црни)	35
Сл. 25. Бакелит након загријавања на 220 °C	38
Сл. 26. Изглед згуре	39
Сл. 27. Изглед летећег пепела	39
Сл. 28. Понашање материјала који се кориисте за израду коловозних конструкција [46]	41
Сл. 29. Препоручене гранулометријске криве према Виртген упутству	47
Сл. 30. Препоручене гранулометријске криве [64]	53
Сл. 31. Граничне гранулометријске криве глоданог материјала	55
Сл. 32. Промјена индиректне затезне чврстоће током времена[70]	58
Сл. 33. Индиректне затезне чврстоће за све мјешавине[73]	60
Сл. 34. Закон замора за оптималне садржаје свих шест мјешавина[73]	60

Сл. 35. Зависност индиректне затезне чврстоће од процента битумена [75]	62
Сл. 36. Поређење индиректних затезних чврстоћа мјешавина са пјенастим битуменом и са битуменском емулзијом [76]	63
Сл. 37. Утицај периода његе и састава мјешавине на индиректну затезну чврстоћу [79].....	64
Сл. 38. Резултати ИЗЧ за испитиване мјешавине [80].....	65
Сл. 39. Индиректна затезна чврстоћа у односу на садржај битуменске емулзије [81].....	66
Сл. 40. Резултати ИЗЧ (ITS) суво у зависности од процента цемента и дужине његовања [83] .	67
Сл. 41. Приказ постигнутих вриједности ИЗЧ (ITS) суво у односу на садржај цемента [83].....	67
Сл. 42. Приказ резултата ИЗЧ (ITS) мокро у односу на садржај цемента [83].....	67
Сл. 43. Приказ зависности ИЗЧ (ITS) мокро од садржаја цемента и дужине његовања [83]	68
Сл. 44. Индиректна затезна чврстоћа при стандардном и убрзаном његовању [85]	69
Сл. 45. Индиректна затезна чврстоћа за све периоде и начине његовања [85]	70
Сл. 46. Садржај шупљина, индиректна затезна чврстоћа и TCP (TSR) за различите садржаје битумена [86]	71
Сл. 47. Упоредни приказ гранулометријског састава рециклираног асфалта и издвојеног агрегата [87].....	72
Сл. 48. Затезне чврстоће у зависности од садржаја емулзије и гранулације [87]	73
Сл. 49. Утицај садржаја цемента на затезне чврстоће [87].....	73
Сл. 50. ИЗЧ за различите садржаје цемента (након 7 дана)[89].....	75
Сл. 51. ИЗЧ за различите садржаје цемента (након 28 дана)[89].....	76
Сл. 52. Гранулометријски састав агрегата који је коришћен [90].....	76
Сл. 53. Утицај садржаја воде и цемента на запремину шупљина [90].....	77
Сл. 54. Утицај садржаја цемента и воде на ИЗЧ [90]	77
Сл. 55. Микроструктура хладно рециклираних мјешавина [104].....	78
Сл. 56. Подјела дионице на поддионице и примјењене мјешавине [110].....	84
Сл. 57. Приказ улице Светог Николе на мапи.....	87
Сл. 58. Мјерење дефлексија Бенкелмановом гредом	88
Сл. 59. Вриједности измјерених дефлексија	88
Сл. 60. Вриједности кумулативних разлика	89
Сл. 61. Изглед постојеће коловозне констукције и стругање и мљевање асфалта и камена	92
Сл. 62. Додатно мљевање на постројењу	93
Сл. 63. Сушење репрезентативног узорка.....	93
Сл. 64. Поступак четвртања и узимање репрезентативног узорка	94
Сл. 65. Просијавање мјешавине.....	94
Сл. 66. Гранулометријски састав кориговане мјешавине	96
Сл. 67. Апаратура за испитивање специфичне површине згуре.....	101
Сл. 68. Добијени материјал и просијани материјал	104
Сл. 69. Бакелит након загријавања на 60 °C и 110 °C	104
Сл. 70. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 2% цемента)	107
Сл. 71. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 3% цемента)	109
Сл. 72. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% зеолита)	110

Сл. 73. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% летећег пепела).....	111
Сл. 74. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% згуре)	112
Сл. 75. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 2% цемента+20% бакелита у односу на количину битуменске емулзије)	113
Сл. 76. Мјешавина рециклираног материјала, филера и цемента.....	114
Сл. 77. Узорак осушен до константне масе	114
Сл. 78. Оптимални садржај флуида за различите мјешавине	115
Сл. 79. Додавање емулзије мјешавини (лијево) и набијање мјешавине (десно)	120
Сл. 80. Изглед набијеног узорка у калупу и вађење узорка из калупа помоћу екстрактора	120
Сл. 81. Сушење узорака у сушници	121
Сл. 82. Његовање узорака у влажној комори.....	121
Сл. 83. Потопљени узорци у води	122
Сл. 84. Његовање узорака (симулирање дејства мраза)	122
Сл. 85. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са 2% цемента и 2% битуменске емулзије.....	123
Сл. 86. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са 2% цемента и 3% битуменске емулзије.....	123
Сл. 87. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са 2% цемента и 4% битуменске емулзије.....	124
Сл. 88. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са цементом, зеолитом и 2% битуменске емулзије.....	124
Сл. 89. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са цементом, летећим пепелом и 2% битуменске емулзије.....	124
Сл. 90. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са цементом, згуром и 2% битуменске емулзије	125
Сл. 91. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са цементом, пластиком и битуменском емулзијом.....	125
Сл. 92. Ломљење узорака (одређивање индиректне затезне чврстоће) на преси.....	130
Сл. 93. Испитивање динамичког модула еластичности методом ултразвука.....	133
Сл. 94. Приказ сигнала ултразвука за испитане узорке.....	134
Сл. 95. Прираст индиректне затезне чврстоће током времена (мјешавине са 2% емулзије и мјешавине са 3% емулзије)	140
Сл. 96. Прираст индиректне затезне чврстоће током времена (мјешавине са 4% емулзије и мјешавине са зеолитом)	141
Сл. 97. Прираст индиректне затезне чврстоће током времена (мјешавине са летећим пепелом и мјешавине са згуром)	141
Сл. 98. Прираст индиректне затезне чврстоће током времена (мјешавине са бакелитом)	141
Сл. 99. Зависност индиректне затезне чврстоће од садржаја емулзије (суви узорци).....	144
Сл. 100. Зависност индиректне затезне чврстоће од садржаја емулзије (мокри узорци и узорци изложени дејству мраза)	144

<i>Сл. 101. Зависност динамичког модула еластичности од садржаја емулзије</i>	145
<i>Сл. 102. Зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће (након 7 дана у сувом стању)</i>	146
<i>Сл. 103. Зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће (након 28 дана у сувом стању)</i>	146
<i>Сл. 104. Зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће (након 28 дана у водом засићеном стању)</i>	147
<i>Сл. 105. Зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће (након 28 дана – узорци су изложени дејству мрза)</i>	147
<i>Сл. 106. Зависност између индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности (након 7 дана у сувом стању)</i>	148
<i>Сл. 107. Зависност између индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности (након 28 дана у сувом стању)</i>	149
<i>Сл. 108. Зависност између индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности (након 28 дана у водом засићеном стању)</i>	149
<i>Сл. 109. Зависност између индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности (након 28 дана – узорци изложени дејству мрза)</i>	150
<i>Сл. 110. Зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности (након 7 дана у сувом стању)</i>	151
<i>Сл. 111. Зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности (након 28 дана у сувом стању)</i>	151
<i>Сл. 112. Зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности (након 28 дана у водом засићеном стању)</i>	152
<i>Сл. 113. Зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности (након 28 дана – узорци изложени дејству мрза)</i>	152
<i>Сл. 114. Пресјек усвојене флексибилне коловозне конструкције</i>	154
<i>Сл. 115. Пресјек усвојене флексибилне коловозне конструкције</i>	156
<i>Сл. 116. Приказ Жабља и локација свих материјала са назнаком растојања од 300 километара (плави круг)</i>	159

СПИСАК ТАБЕЛА

Таб. 1. Групе саобраћајног оптерећења (СРПС У.Ц4.010)	2
Таб. 2. Подјела битумена према СРПС стандарду и параметри које битумен мора да задовољи [2]	4
Таб. 3. Веза између врсте битумена и квалитета нафте за производњу битумена [2]	5
Таб. 4. Спецификације за битумен према Supergrave PG систему [4]	6
Таб. 5. Количине отпада у Републици Србији у 2017. и 2018. години [15]	12
Таб. 6. Процентуална заступљеност типова хладне рециклаже у појединим земљама [20].....	20
Таб. 7. Могући узроци настанка појединих врста оштећења и могући начини одржавања [9, 21]	21
Таб. 8. Могући фактори који су допринијели настанку оштећења коловоза [19]	22
Таб. 9. Одабир врсте рециклаже у зависности од оштећења коловоза [19]	23
Таб. 10. Поређење рециклаже по хладном поступку на лицу мјеста и по поступку у постројењу [24]	24
Таб. 11. Материјали који ће бити примјењени у оквиру испитивања	28
Таб. 12. Приказ количина рециклираног асфалта у Европи и у свијету, и његова употреба [32] ..	30
Таб. 13. Хемијски састав цемента	33
Таб. 14. Продукти хидратације	33
Таб. 15. Групе пластике	35
Таб. 16. Врсте пластике и њихове ознаке према SPI систему означавања	36
Таб. 17. Производи који су направљени од појединих врста пластике [39]	37
Таб. 18. Понашање пластичних полимера под температурним дејством [39]	37
Таб. 19. Предности и недостаци цемента као материјала у рециклажама [24]	42
Таб. 20. Предности и недостаци битуменске емулзије као материјала у рециклажама [7, 48] ..	42
Таб. 21. Предности и недостаци комбинације битуменске емулзије и цемента као материјала у рециклажама [24]	43
Таб. 22. Предности и недостаци пјенастог битумена као материјала у рециклажама [52, 53] ..	43
Таб. 23. Предности и недостаци комбинације пјенастог битумена и цемента као материјала у рециклажама [53, 61]	44
Таб. 24. Граничне вриједности појединих параметра стабилизација цемента и битуменском емулзијом (рециклирани асфалт и дробљени камен)[24]	44
Таб. 25. Граничне вриједности појединих параметара стабилизације цемента и битуменском емулзијом (дробљени камен)[24]	45
Таб. 26. Граничне вриједности појединих параметара стабилизације цемента и битуменском емулзијом (природни шљунак)[24]	45
Таб. 27. Упутства и документи за хладну рециклажу [62]	46
Таб. 28. Препоручене границе гранулометријског састава према Виртген упутству [26]	47
Таб. 29. Основни захтјеви према Виртген упутству [26]	50
Таб. 30. Интерпретација индикатора и тестова битуменом стабилованих материјала[64]	51

Таб. 31. Интерпретација класификације гранулометрије за битуменом стабиловане материјале.....	52
Таб. 32. Границе за процентуалне пролазе по ситима [64].....	53
Таб. 33. Ограничења температуре рециклиране мјешавине и времена уградње [67].....	54
Таб. 34. Услов квалитета (гранулометрија) глоданог асфалта и смјесе материјала добијених глодањем коловоза – хладно рециклиране мјешавине [67]	54
Таб. 35. Услови квалитета за хладно рециклирану мјешавину [67]	55
Таб. 36. Коэффициенти корекције цијене у зависности од квалитета мјешавине [67].....	56
Таб. 37. Садржај испитиваних мјешавина [73]	59
Таб. 38. Поређење својстава испитиваних мјешавина [76].....	63
Таб. 39. Мјешавине које су испитиване у истраживању [79]	64
Таб. 40. Садржај цемента и битуменске емулзије у мјешавинама [82].....	65
Таб. 41. Утицај садржаја емулзије на ИЗЧ (ITS) суво и ИЗЧ (ITS) мокро [83].....	66
Таб. 42. Индиректна затезна чврстоћа испитиваних мјешавина [84].....	68
Таб. 43. Мјешавине које су испитивали и резултати испитивања [88]	74
Таб. 44. Пролази кроз сита материјала који је стабилован [89]	75
Таб. 45. Састав мјешавина који су испитиване различитим режимима његовања [20].....	81
Таб. 46. Поређење ИЗЧ након 7 и 14 дана (мјешавине А и Ц по различитим начинима његовања)[20]	81
Таб. 47. Начини његовања узорака у досадашњим испитивањима [85]	82
Таб. 48. Састав мјешавина и добијени резултати [110].....	84
Таб. 49. Хомогени потези на дионици.....	89
Таб. 50. Корекција гранулометријског састава рециклираног материјала.....	95
Таб. 51. Захтјеви у погледу гранулометријског састава за камено брашно	95
Таб. 52. Гранулометријски састав филера	96
Таб. 53. Захтјеви за својства стандардизованих битумена	97
Таб. 54. Цемент из фабрике цемента Беочин	98
Таб. 55. Комплетна хемијска анализа зеолита.....	99
Таб. 56. Хемијски састав летећег пепела	99
Таб. 57. Физичка својства летећег пепела	100
Таб. 58. Запреминска маса узорака згуре	100
Таб. 59. Специфична површина узорака згуре.....	100
Таб. 60. Параметри згуре (ХБИС Смедерево)	101
Таб. 61. Хемијски састав згуре	102
Таб. 62. Хемијски састав згуре	103
Таб. 63. Резултати физчко-хемијских, хемијских и биолошких испитивања отпада-први дио ...	105
Таб. 64. Резултати физчко-хемијских, хемијских и биолошких испитивања отпада-други дио .	106
Таб. 65. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 2% цемента)	108
Таб. 66. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 3% цемента)	109
Таб. 67. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% зеолита)	110

Таб. 68. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% летећег пепела)	111
Таб. 69. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% згуре) .	112
Таб. 70. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 2% цемента+20% бакелита у односу на количину битуменске емулзије).....	113
Таб. 71. Рецептуре мјешавина које су испитиване	117
Таб. 72. Запреминска маса узорака при испитивању (мјешавине са 2% цемента и 2% емулзије)	126
Таб. 73. Запреминска маса узорака при испитивању (мјешавине са 2% цемента и 3% емулзије)	126
Таб. 74. Запреминска маса узорака при испитивању (мјешавине са 2% цемента и 4% емулзије)	127
Таб. 75. Запреминска маса узорака при испитивању (мјешавине са зеолитом)	127
Таб. 76. Запреминска маса узорака при испитивању (мјешавине са летећим пепелом).....	128
Таб. 77. Запреминска маса узорака при испитивању (мјешавине са згуром)	128
Таб. 78. Запреминска маса узорака при испитивању (мјешавине са бакелитом)	129
Таб. 79. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са 4% битуменске емулзије	131
Таб. 80. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са 3% битуменске емулзије	131
Таб. 81. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са 4% битуменске емулзије	131
Таб. 82. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са додатком зеолита.....	132
Таб. 83. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са додаком летећег пепела	132
Таб. 84. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са додатком згуре	132
Таб. 85. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са додатком бакелита	133
Таб. 86. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са 2% битуменске емулзије	135
Таб. 87 Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са 3% битуменске емулзије	135
Таб. 88. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са 4% битуменске емулзије	136
Таб. 89. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са зеолитом	136
Таб. 90. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са летећим пепелом....	137
Таб. 91. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са згуром	137
Таб. 92. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са бакелитом	138
Таб. 93. Средње вриједности индиректне затезне чврстоће за све мјешавине	140
Таб. 94. Поређење индиректних затезних чврстоћа након 28 дана узорака потопљених у воду и изложених дејству мрза са узорцима његованих у сувим условима	142
Таб. 95. Средње вриједности динамичког модула еластичности за све мјешавине	143

Таб. 96. Цијена флексибилне коловозне конструкције по километру (Извор цијена: тржишне цијене добијене из компанија које се баве изградњом и одржавањем путева).....	157
Таб. 97. Цијена стабилизowane конструкције по километру (Извор цијена: тржишне цијене добијене из компанија које се баве изградњом и одржавањем путева).....	157
Таб. 98. Састав мјешавина које су испитиване	158
Таб. 99. Поријекло материјала и удаљеност мјеста производње до Жабља	158
Таб. 100. Количина материјала за један километар пута (различите мјешавине)	160
Таб. 101. Процентуална заступљеност материјала у мјешавинама	160
Таб. 102. Количине појединих материјала за километар пута	161
Таб. 103. Цијене материјала и транспорта материјала (Извори цијена: Добијени су из компанија које су донирале материјале за израду докторске дисертације)	161
Таб. 104. Цијена мјешавина за стабилизовање једног километра слоја дебљине 20 см	162
Таб. 105. Количине цемента, битуменске емулзије и додатка по кубном метру	162
Таб. 106. Количине цемента, битуменске емулзије и додатка за 1 m ² и слој дебљине 20 см	163
Таб. 107. Цијене цемента, битуменске емулзије, додатка и укупна цијена за 1 m ²	163
Таб. 108. Јединична емисија CO ₂	164
Таб. 109. Количине емисије CO ₂ цемента и битуменске емулзије за све мјешавине	165
Таб. 110. Циљеви и критеријуми вишекритеријумске анализе	166
Таб. 111. Вишекритеријумска анализа на основу сва три критеријума без релативних тежина	167
Таб. 112. Рангирање мјешавина за први сет релативних тежина	167

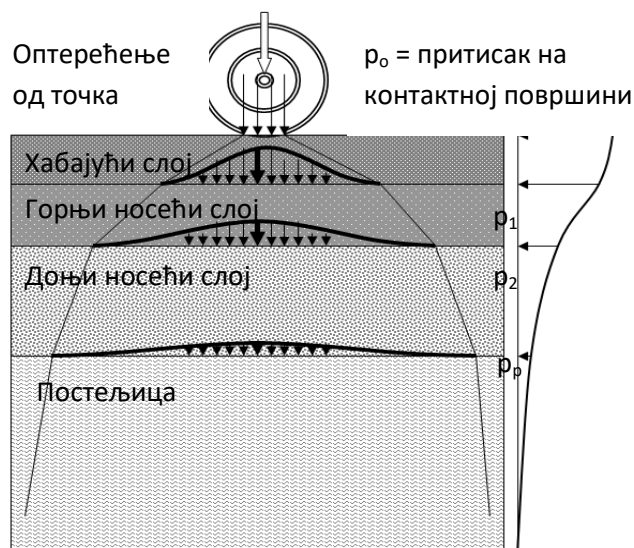
СПИСАК СКРАЋЕНИЦА

Скраћеница – енглески језик	Значење – енглески језик	Значење – српски језик	Скраћеница – српски језик
RAP	Recycled Asphalt	Рециклирани асфалт	РА
ITS	Indirect Tensile Strenght	Индиректна затезна чврстоћа	ИЗЧ
TSR	Tensile Strenght Ratio	Заостала индиректна затезна чврстоћа	ТСР
OWC	Optimal Water Content	Оптимални садржај воде	ОСВ
OFC	Optimal Fluid Content	оптимални садржај течности (флуида)	ОСФ
BE	Bitumen emulsion	Битуменска емулзија	БЕ
C	Cement	Цемент	Ц
Z	Zeolite	Зеолит	ЗЕ
S	Slag	Згура	ЗГ
B	Bakelite	Бакелит	Б
ESAL	Equivalent Single Axle Load	Еквивалентно стандардно оптерећење	ЕСО
CIR	Cold in Place Recycling	Хладна рециклажа на лицу мјеста	ХРМ
HMA	Hot Mix Asphalt	Асфалтне мјешавине произведене по врућем поступку	АМВП
WMA	Warm Mix Asphalt	Асфалт произведен по топлом поступку	АМТП
AC	Asphalt concrete	Асфалт бетон	АБ

ПОГЛАВЉЕ 1

1. УВОД

1.1. ОСНОВЕ КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА

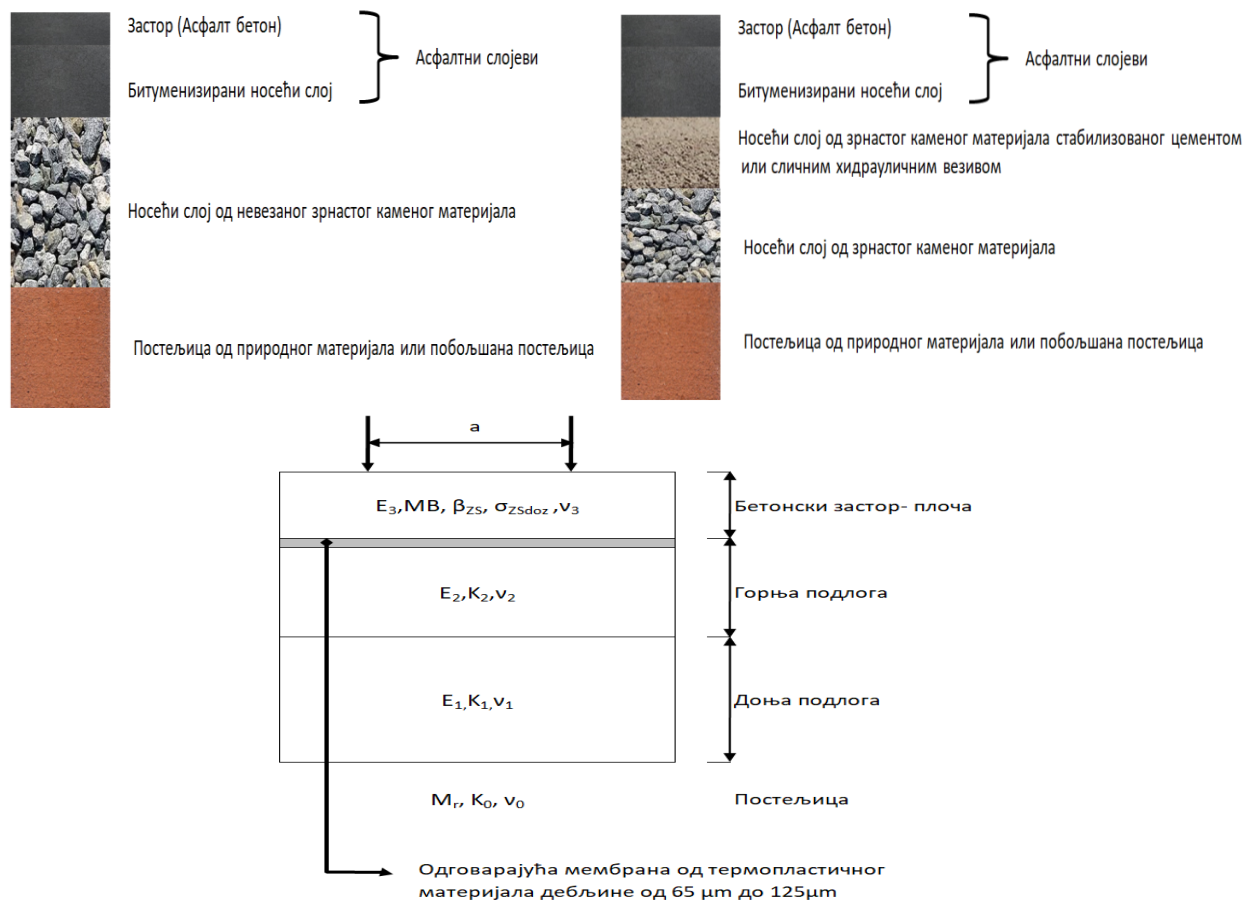


Сл. 1. Приказ преноса оптерећења кроз коловозну конструкцију

Коловозна конструкција представља вишеслојни систем. Једна од основних улога коловозне конструкције, поред омогућавања вожње и равности, јесте пријем и пренос оптерећења на постељицу. Као што је и видљиво са Сл. 1 сви слојеви учествују у пријему оптерећења и сваки наредни слој учествује у пријему оптерећења са већом површином чиме се смањује притисак. Основна логика оваквог проблема јесте да напони који се јављају у материјалима буду мањи од дозвољених напона за материјале од којих је изграђена коловозна конструкција. Постоје три основна типа коловозних конструкција:

- флексибилна коловозна конструкција
- полукрута коловозна конструкција
- крута коловозна конструкција

Флексибилна и полукрута коловозна конструкција су врло сличне по конструкцији. Основна разлика је у слојевима који су код полукруте коловозне конструкције стабилизовани. Крути коловози су бетонски коловози (Сл. 2).



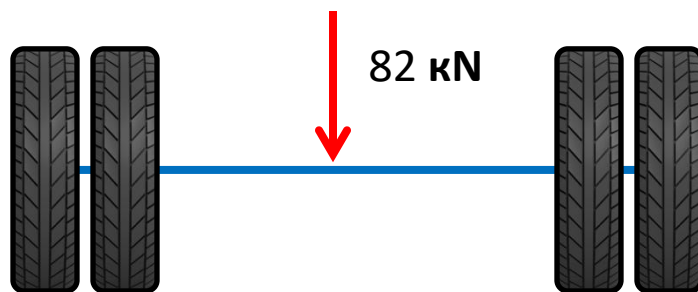
Сл. 2. Типичан попречни пресјек врста коловозних конструкција (флексибилна – горе лијево, полукрута- горе десно, крута-доље)

1.1.1. СЛОЈЕВИ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

У зависности од саобраћајног оптерећења, које се изражава у броју стандардних еквивалентних осовина од 82 kN, структура и дебљина коловозне конструкције је различита.

Таб. 1. Групе саобраћајног оптерећења (СРПС У.Ц4.010)

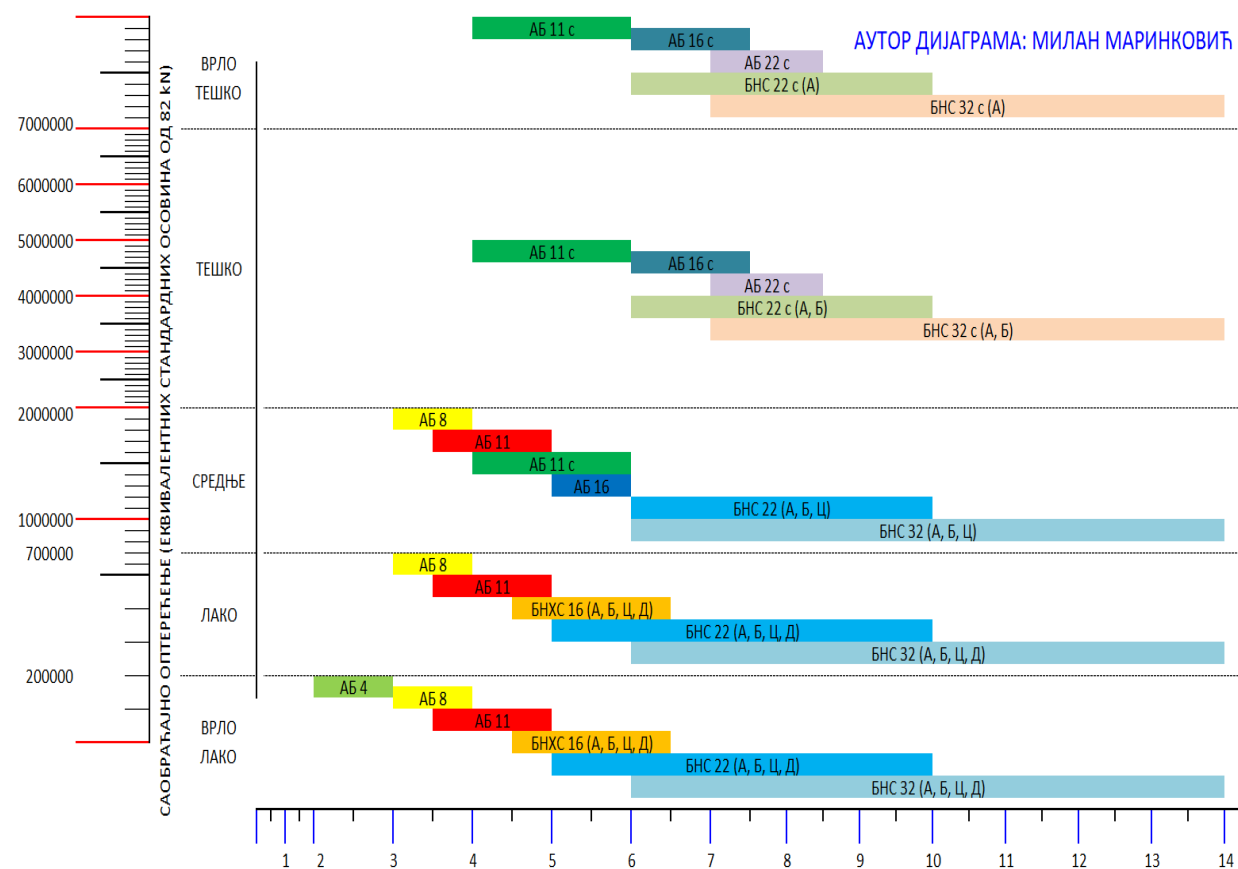
Група саобраћајног оптерећења	Број прелаза еквивалентне стандардне осовине од 82 kN у пројектном периоду
Врло тешко	$> 7 \times 10^6$
Тешко	2×10^6 до 7×10^6
Средње	7×10^5 до 2×10^6
Лако	2×10^5 до 7×10^5
Врло лако	$< 2 \times 10^5$



Сл. 3. Изглед еквивалентне стандардне осовине од 82 кN

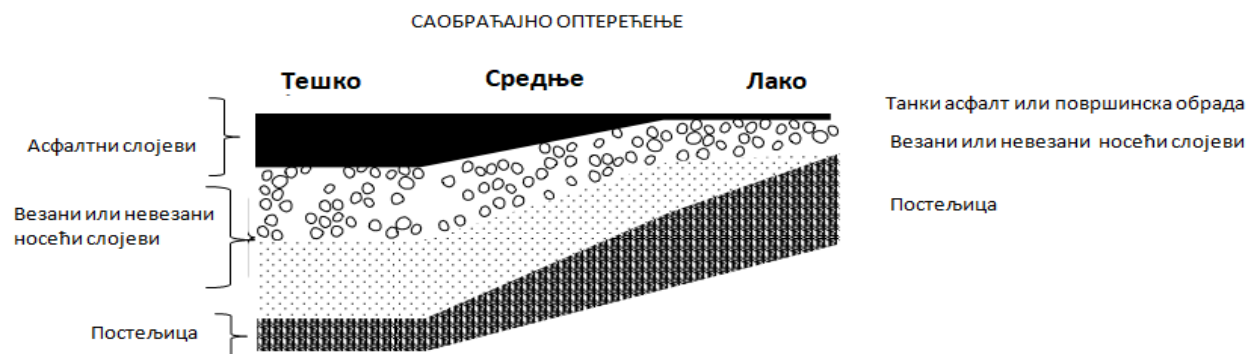
Најчешће су слојеви флексибилне и полукруте коловозне конструкције: асфалт бетон (АБ), битуменизирани носећи слој (БНС), дробљени камен и стабилизовани слојеви. Асфалт бетон је материјал који се производи у постројењима која се називају асфалтне базе. Основне сировине које се користе у производњи асфалт бетона су битумен, који има улогу везива, и агрегат који има улогу да обезбеди носивост слоју.

На основу категорије саобраћајног оптерећења бирају се врсте асфалтних материјала (Сл. 4).



Сл. 4. Врсте и технолошке дебљине асфалтних слојева у зависности од саобраћајног оптерећења

Дебљина асфалтних слојева, а и коловозне конструкције у целини, директно зависи од саобраћајног оптерећења. За тешка саобраћајна оптерећења је потребно пројектовати и више асфалтних слојева (дебљине > 250 mm) док за веома лака оптерећења може да се користи само један слој као застор (дебљине < 40 mm) (Сл. 5).



Сл. 5. Оријентационе дебљине коловозне конструкције и састав исте у зависности од саобраћајног оптерећења [1]

1.1.1.1. МАТЕРИЈАЛИ У СЛОЈЕВИМА КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

1.1.1.1.1. Битумен

Таб. 2. Подјела битумена према СРПС стандарду и параметри које битумен мора да задовољи [2]

Параметар	Јед.	BIT 200		BIT 130		BIT 90		BIT 60		BIT 45		BIT 25		BIT 15	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Пенетрација на 25 °C, pen_{25}	dmm (1/10 mm)	160	210	120	150	80	100	50	70	35	50	20	30	10	20
Тачка размекшања по ПК	°C	37	43	41	46	45	51	49	55	54	60	59	66	66	72
Индекс пенетрације IP, најмање		-1		-1		-1		-1		-1		-1		-1	
Дуктилитет на 25 °C, најмање	cm	100		100		100		100		50		15		5	
Тачка лома по Фрасу, највише	°C		-15		-13		-11		-8		-6		-3		1

Битумен се убраја у угљоводонична везива [3]. Битумен је материјал црне боје који је на нормалној температури у чврстом стању. Налази се у природи или се добија прерадом нафте и њених деривата. Битумен се дијели на основу пенетрације (Таб. 2).

Подјела битумена по пенетрацији не даје добру карактеризацију приликом примјене у врућим асфалтним мјешавинама. Из тог разлога су у оквиру Supergravel истраживања прописани опити и спецификације за употребу битумена у врућим асфалтним мјешавинама. Наведени опити и спецификације су у вези са осјетљивошћу битумена на појаву колотрага, појаву пукотина од замора и појаву термичких пукотина.

Подјела битумена по перформансама (PG) се заснива на условима примјене. Ознака везива по овој градацији послије стандардног ПГ садржи два броја (нпр. PG 52-16) који имају сљедеће значење:

- Први број означава просјечну седмодневну максималну температуру коловоза (посебна напомена је да се ради о температури коловоза, а не температури ваздуха);
- Други број означава минималну пројектну температуру коловоза.

Уколико је разлика између ове двије температуре (ова два броја) већа од 90°C онда су потребни модификатори (Таб. 3).

Таб. 3. Веза између врсте битумена и квалитета нафте за производњу битумена [2]

		Високе температуре				
		52	58	64	70	76
Ниске температуре	-16	52-16	58-16	64-16	70-16	76-16
	-22	52-22	58-22	64-22	70-22	76-22
	-28	52-28	58-28	64-28	70-28	76-28
	-34	52-34	58-34	64-34	70-34	76-34
	-40	52-40	58-40	64-40	70-40	76-40

	из обичне нафте
	из високо квалитетне нафте
	потребни модификатори

Подјела битумена и опити према PG градацији су приказани у Таб. 4.

Таб. 4. Спецификације за битумен према Superpave PG систему [4]

Градација по перформансама (PG)	PG 52					PG 58					PG 64					PG 70					
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Просјечна 7-дневна пројектна максимална температура °C	>S2																				
Пројектна минимална температура коловоза °C	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28
Оригинално везиво																					
Температура паљења (Flash point), T48: минимум °C	230																				
Вискозност ASTM D 4402: максимум, 3 Pa*s, температура из опита, у °C	135																				
Динамичко смицање, TP5: G/sinδ, minimum 1.00 kPa, температура опита са 10 rad/s, у °C	52																				
Остатак послје опита старења битуменског филма са ротирањем у пећници – Rolling Thin Film Oven (T240) или Thin Oven (T179) Residue																					
Губитак масе, максимум %	1.00																				
Динамичко смицање, TP5: G/sinδ, minimum 2.20 kPa, температура опита са 10 rad/s, у °C	52																				
Остатак послје опита старења у посуди под притиском – Pressure Aging Vessel Residue (PAV)																					
Температура опита старења у посуди под притиском (PAV), у °C	90					100					100					100(110)					
Динамичко смицање, TP5: G* sinδ, минимум 5000 kPa, температура опита са 10 rad/s, у °C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16	34	31	28	25
Физичко отврђивање																					
Крутост при течењу (Creep Stiffness), TP1: s, максимум m-вредност : 300 MPa, минимум 0.300 (Критична температура лома – пукотине) температура из опита 60 sec, у °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	6	12	18	24	30	6	12	18	24	30	0	-6	-12	-18
Директно затезање (Direct Tension), TP3: Дилатација при лому (Direct Strain) s, минимум, 1.0% (Критична температура лома – пукотине) температура из опита 1 mm/min, у °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	6	12	18	24	30	6	12	18	24	30	0	-6	-12	-18

1.1.1.2. Камени агрегат

Камен се већином добија дробљењем стијена из каменолома. Најчешће се користи у фракцијама и то као крупнозрни камени материјал, ситнозрни камени материјал укључујући и филер.

Према начину производње камени материјали се разврставају на дробљене и мљевене:

1. Природно уситњени материјал из ријечних корита, спрудишта и позајмишта. Такав материјал се користи непрерађен у природном стању. Такође се може просијавати у фракције које се комбинују у зависности од захтјеваног учешћа.
2. Дјелимично дробљени материјали производи се дробљењем природног материјала кроз постројења.
3. Дробљени материјали се производе дробљењем каменог материјала из каменолома или крупних зрна издвојених из природног материјала.
4. Мљевени материјал се добија ситњењем или мљењењем дробљеног каменог материјала како би се добиле ситне фракције.

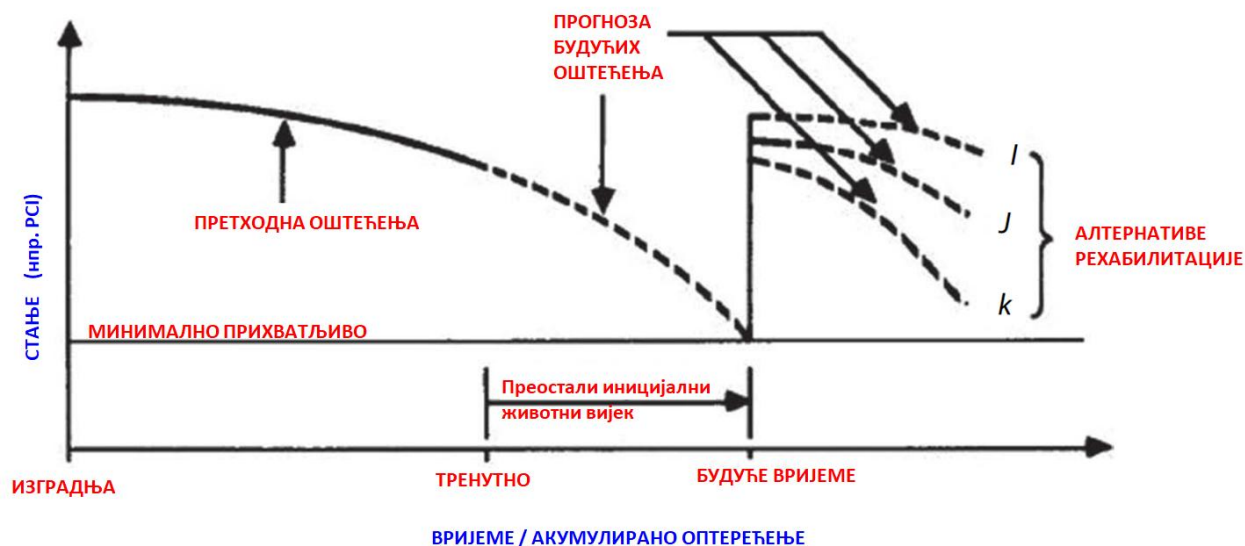
1.1.1.3. Цемент

Цемент је материјал који се користи као везиво приликом изградње крутих коловоза (за производњу бетонских плоча) и полукрутих коловозних конструкција. Полукруте коловозне конструкције имају поједине носиве слојеве стабилизоване цементом. Детаљније о цементу биће изложено у поглављу 4.3 ЦЕМЕНТ. Поред цемента као везиво за стабилизујуће слојеве код полукрутих коловоза може се користити и креч и други слични материјали који служе за стабилизацију.

ПОГЛАВЉЕ 2

2. ПОТРЕБА ЗА ИСТРАЖИВАЊЕМ

Развој савременог друштва захтјева и развој инфраструктуре. Како треба да тежимо да развијемо нову инфраструктуру, тако треба да се води рачуна и о постојећој инфраструктури и о њеном одржавању и правовременим рехабилитацијама или реконструкцијама [5]. Тим приступом оправдавамо материјална средства која смо уложили у изградњу постојеће инфраструктуре.



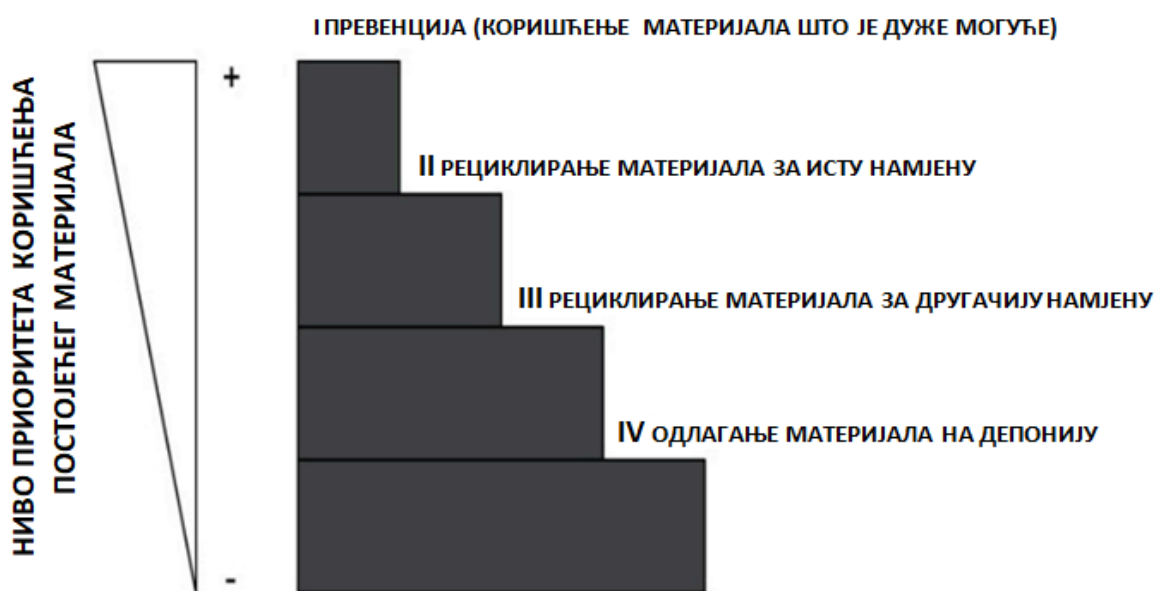
Сл. 6. Модели прогнозне будућег стања коловоза [5]

Приликом изградње нове и приликом одржавања постојеће инфраструктуре треба да се нађе оптимални однос између тог улагања и будућег одржавања. Из тог разлога морамо водити рачуна да, у случајевима када је то могуће и оправдано, користимо и алтернативне и отпадне материјале приликом изградње коловозних конструкција. Прије свега треба тежити смањењу употребе камена из каменолома и шљунка из сепарација, јер добијање материјала на такав начин доводи до трајних посљедица на животну средину. Такође, сепарације шљунка имају ограничене количине експлоатације према Правилнику о утврђивању Плана вађења речних наноса за период од августа 2017. до августа 2019. године [6].

Разлози за употребу рециклираног асфалта и рециклирања, а уједно и образложење истраживања у оквру ове докторске дисертације, уопште су:

- повећање цијене основних сировина (нафте, камених материјала) [7]
- уштеда у погледу сировина, јер се смањује количина нових материјала [8, 9]
- смањена потреба за одлагањем старог материјала

- заштита животне средине [10]
- штедња енергије приликом производње асфалта
- смањење загађења ваздуха приликом производње нових асфалта [11]
- редуковање потребе за транспортом материјала [12]
- могућа рехабилитација једног дијела попречног профила (рехабилитује се само једна трака, док друга не мора бити затворена)

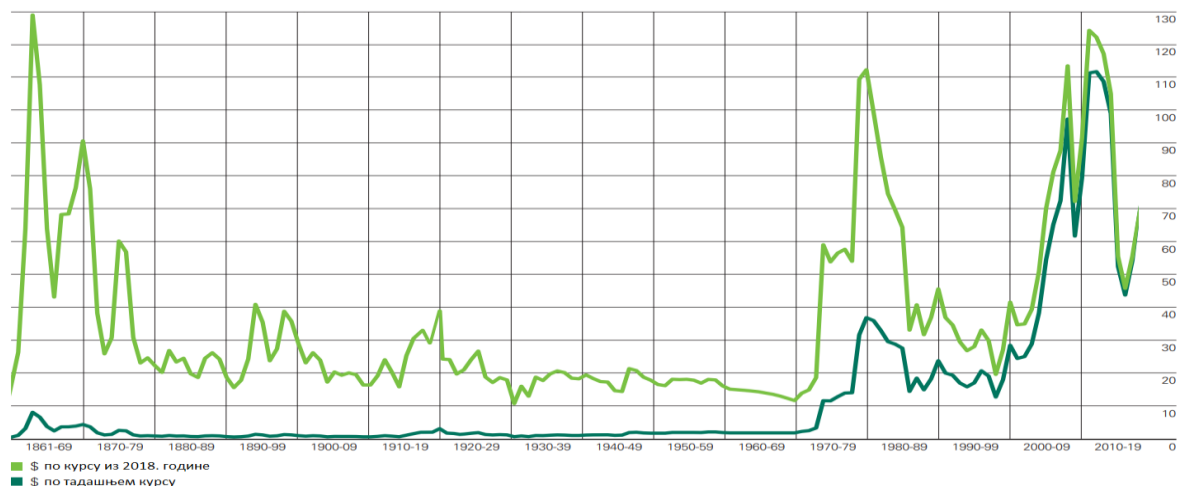


Сл. 7. Степенсти концепт рециклирања коловозних конструкција [1]

Наведени разлози су приказани на Сл. 7 путем тзв. степенастог концепта рециклирања коловозних конструкција, који се заснива на приоритету коришћења постојећих материјала што је дуже могуће.

2.1. ПОВЕЋАЊЕ ЦИЈЕНА ОСНОВНИХ СИРОВИНА

Политичка дешавања у земљама које су главни произвођачи нафте, која је основна сировина за производњу битумена, врло често утичу и на цијену нафте и битумена, што свакако узрокује повећање цијене производње асфалта кроз саму цијену материјала, али и кроз трошкове енергената који се користе приликом транспорта и производње.



Сл. 8. Историјски приказ цијена нафте [13]



Сл. 9. Историјски приказ цијене битумена [14]

2.2. УШТЕДА У ПОГЛЕДУ СИРОВИНА

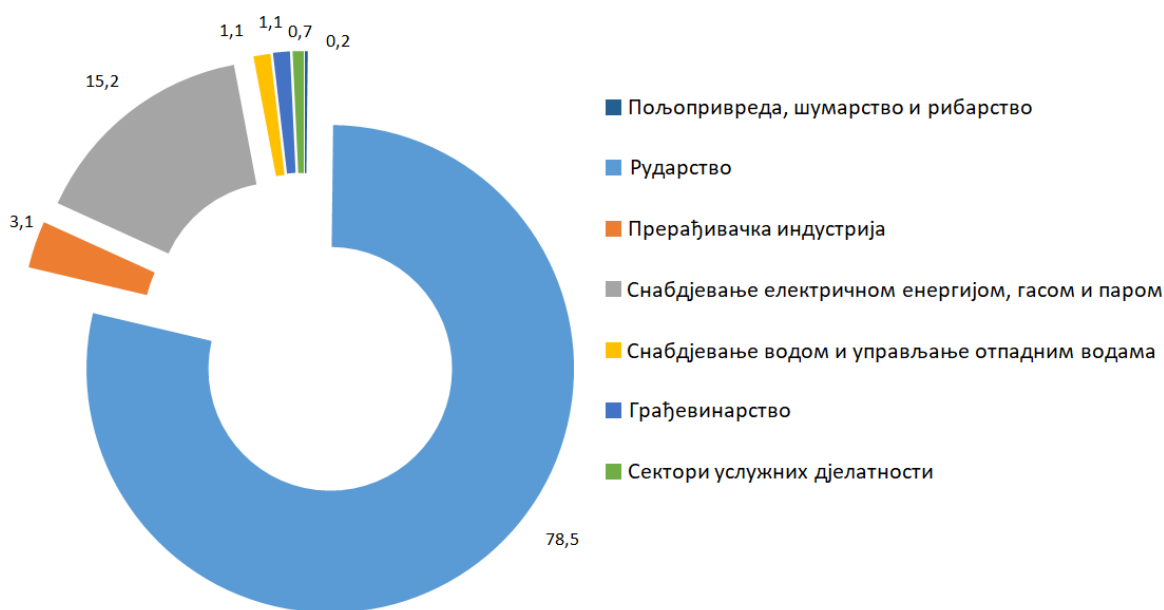
Ову тврдњу не треба посебно доказивати ни објашњавати. У прегледу досадашњих истраживању биће наведене количине конвенционалних материјала које су мијењане рециклираним асфалтом, цементом, битуменском емулзијом, летећим пепелом, зеолитом и пластиком. Требало би нагласити да је посебно значајна употреба материјала који се више не могу употријебити у примарној производњи из које су настали, као што су летећи пепео и неке врсте пластике.

2.3. СМАЊЕНА ПОТРЕБА ЗА ОДЛАГАЊЕМ ОТПАДА

Када се погледају извјештаји статистичких завода који се односе на количину отпада јасно је да је потребно што је више могуће испитивати примјену различитих отпадних материјала, који поред тога што заузимају огроман простор приликом њиховог одлагања, такође имају веома негативан утицај на животну средину.

Таб. 5. Количине отпада у Републици Србији у 2017. и 2018. години [15]

Врста отпада	година		2018	
	2017	2018	Неопасни отпад, %	Опасни отпад, %
Створени отпад – укупно	48.847.978	49.214.766	68,8	31,2
Пољопривреда, шумарство и рибарство	95.240	92.922	99,7	0,3
Рударство	38.377.803	38.625.967	60,5	39,5
Прерађивачка индустрија	1.436.348	1.535.334	96,	3,8
Снабдјевање електричном енергијом, гасом и паром	7.573.055	7.495.442	100	0,0
Снабдјевање водом и управљање отпадним водама	468.592	551.988	91,4	8,6
Грађевинарство	527.151	550.436	99,8	0,2
Сектори услужних дјелатности	369.789	362.678	96,0	4,0



Сл. 10. Процентуална структура отпада [15]

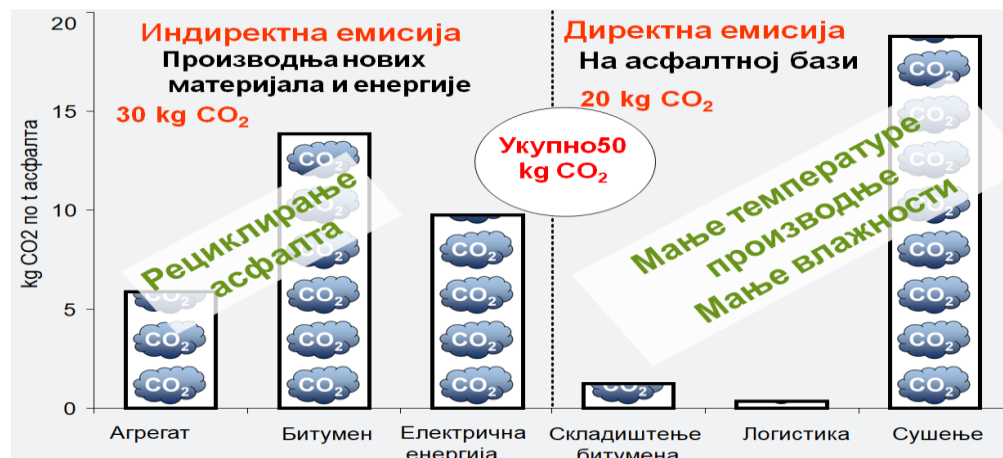
2.4. ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ И СМАЊЕЊЕ ЗАГАЂЕЊА ВАЗДУХА

Повећање броја становника и развој градова довели су до потребе за развојем инфраструктуре. Из истог разлога долази до повећаног стварања отпадних материјала, па је потребно, што је могуће више, употријебити отпадне материјале у изградњи инфраструктуре (Сл. 11). Због тога је потребно повећати и обим истраживања у области примјене отпадних материјала у грађењу и одржавању инфраструктуре. Такође је потребно доносити и одговарајуће законске документе који би регулисали и подстицали употребу отпадних материјала.

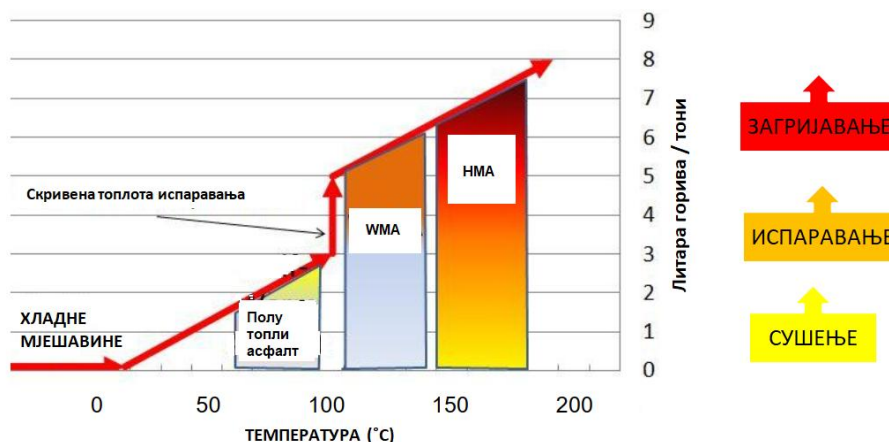


Сл. 11. Начини повезивања путевима [16]

Употребом отпадних материјала приликом грађења би довело до смањења емисије штетних гасова. Рециклирање на лицу мјеста би још више смањило емисију штетних гасова (Сл. 12) и емисију топлоте (Сл. 13).



Сл. 12. Количина створеног (емитованог, произведеног, генерисаног ...) CO₂ приликом производње једне тоне асфалта на конвенционални начин [16]



Сл. 13. Разлике између хладних и топлих мјешавина [17]

2.5. ОСНОВНА ХИПОТЕЗА ИСТРАЖИВАЊА

Употреба битуменске емулзије, цемента, отпадних материјала (згуре, летећег пепела, бакелита) и других материјала (зеолита) у рециклажама по хладном поступку довела би до смањења коштања рециклирања коловозних конструкција, повећања заштите животне средине, а да притом механичке карактеристике коловозних конструкција остану у границама дозвољених.

2.6. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА

Циљеви истраживања су:

1. Да се смање трошкови израде хладних рециклажа на лицу мјеста тако што ће се дијелови цемента и битуменске емулзије мијењати отпадним материјалима.
2. Да се смањи негативан утицај на животну средину тако што ће се смањити количине цемента и битуменске емулзије у односу на стандардне поступке хладне рециклаже на лицу мјеста.
3. Да се примјене и (или) искористе материјали који се не могу више користити у основним процесима производње из којих настају.

Поред главних циљева споредни циљеви истраживања су:

4. Истраживање треба да послужи као основа за наглашавање предности и популаризацију рециклирања старих коловозних конструкција поступком хладне рециклаже на лицу мјеста у односу на остале видове рециклаже, реконструкције и рехабилитације који су више заступљени у Републици Србији.
5. Доказати да зеолит, летећи пепео, згура и бакелит поред цемента и битуменске емулзије, који се уобичајено употребљавају као додаци у поступку хладне рециклаже, могу да се употребљавају, а да поред тога задовољавају услове у погледу механичких карактеристика.
6. Закључци истраживања треба да се имплементирају у оквиру ревизије постојећих и успостављања нових националних упутстава у Републици Србији за хладну рециклажу на лицу мјеста.

ПОГЛАВЉЕ 3

3. РЕЦИКЛАЖА

Основне подијеле рециклаже су подјеле на основу температуре рециклирања и на основу мјеста рециклирања а детаљнија подјела је приказана на *Сл. 14.*



Сл. 14. Дијаграм техника за уклањање флексибилних коловозних конструкција, операција и рециклирања рециклираног асфалта [18]

Све рециклаже, на основу температуре приликом рециклирања, могу бити подијељене на:

- Топле
- Хладне

Топле рециклаже користе рециклирани материјал у производњи асфалтних мјешавина по топлом поступку. По овој методи, стари слојеви се мељу и као агрегат користе приликом производње нових слојева.

Двије основне методе за извођење топле рециклаже су:

- Топла рециклажа на лицу мјеста
- Топла рециклажа у асфалтној бази

Хладна рециклажа је врста рециклаже гдје се РАП користи у хладним асфалтним мјешавинама. У овом поступку, стари слојеви асфалта су уклоњени, издробљени у зрна и онда су комбиновани са битуменском емулзијом и пјенушавим битуменом. Врсте хладне рециклаже су:

- Хладна рециклажа у постројењу
- Хладна рециклажа на лицу мјеста

ДОДАТНЕ КЛАСИФИКАЦИЈЕ

Према класификацији ARRA (Asphalt Recycling and Reclaiming Association)[19] у Сједињеним Америчким Државама постоји пет типова рециклаже:

1. Хладно профилисање коловоза (Cold Planing -CP)
2. Рециклирање по врућем поступку (Hot Recycling)
3. Рециклирање по врућем поступку на лицу мјеста (Hot In-Place Recycling-HIR) које се даље дијели на:
 - Обрада и поновно уграђивање постојећег асфалтног застора (Surface Recycling-Resurfacing)
 - Обрада постојећег коловоза и додавање новог каменог материјала, везива или рејувинатора (Remixing)
 - Комбинација Resurfacing или Remixing поступка са полагањем новог слоја преко - НМА – мјешавине по врућем поступку (Repaving)
4. Хладно рециклирање (Cold Recycling-CR):
 - Хладно рециклирање на лицу мјеста (Cold In-Place Recycling -CIR)
 - Хладно рециклирање у постројењу (Cold Central Plant Recycling -CCPR)

5. Дубоко хладно рециклирање (Full Depth Reclamation -FDR):

- Уситњавање (Pulverization)
- Механичка стабилизација (Mechanical stabilization)
- Битуменска стабилизација (Bituminous stabilization)
- Хемијска стабилизација (Chemical stabilization)

3.1. ТОПЛА РЕЦИКЛАЖА

У топлим рециклажама се користе рециклирани материјал у производњи нових асфалтних мјешавина на тај начин што се стари слојеви мељу и користе се приликом производње нових слојева коловозне конструкције. У овом поступку долази до загријавања мјешавине.

Двије основе методе топле рециклаже, на основу мјеста гдје се врши производња мјешавине, су:

- Топла рециклажа на лицу мјеста
- Топла рециклажа у асфалтној бази

3.2. ХЛАДНА РЕЦИКЛАЖА

Хладна рециклажа користи стари асфалт тако што се стари слојеви асфалта уклањају, па се затим мељу, а онда се са додацима и везивима мјешају и полажу на слојеве коловозне конструкције.

Хладна рецикалажа се дијели на:

- Хладну рециклажу у постојењу
- Хладну рециклажу на лицу мјеста

У Таб. 6 је приказана статистичка анализа заступљености типова хладне рециклаже у европским земљама. Током времена долази до пропадања коловоза усљед различитих параметара. Прорадање коловоза се огледа кроз пораст броја оштећења и кроз напредовање истих.

Таб. 6. Процентуална заступљеност типова хладне рециклаже у појединим земљама [20]

Држава	Тип хладне рециклаже	Везива и додаци		Додаци
		примарно	секундарно	
Чешка Република (Словачка)	на лицу мјеста (ин-ситу) (90%) у посторјењу (10%)	емулзија, пјенасти битумен, комбинације са цементом	цемент, хидратисани креч	Пјенасти додаци или покретачи адхезије
Финска	већином ин-ситу (2-3 милиона м ² годишње) мање у постројењу	емулзија, пјенасти битумен	цемент за повећање носивости, шљунак 0-32, шљунак 0-55	Понекад летећи пепео
Француска	већином ин-ситу, али и у постројењу	емулзија, пјенасти битумен	цемент, хидратисани креч	Пјенасти додаци
Њемачка	већином ин-ситу	емулзија+цемент, пјенасти битумен	цемент, хидраулична везива за путеве	Покретачи адхезије
Ирска	на руралним путевима коришћењем новог камена	емулзија, пјенасти битумен	цемент, хидратисани креч	Пјенасти додаци или покретачи адхезије
Норвешка	Рециклирање асфалтних коловоза: ин-ситу (око 85%), у постројењу (око 15%) Невезани камени агрегат: ин-ситу (99%), у постројењу (1%)	емулзија, пјенасти битумен, лигнин (лигно-сулфонат)	вода се додаје асфалтном гранулату: побољшано мјешање и збијање	Активни додаци за адхезију (амин) у пјенастом битумену
Португал	ин-ситу (100%)	емулзија	цемент, хидратисани креч	
Шпанија	ин-ситу (90%) у посторјењу (10%)	емулзија, цемент	хидратисани креч	
Велика Британија	ин-ситу (95%), у постројењу јако ријетко	емулзија, пјенасти битумен	цемент, хидратисани креч, гранулисана згура, пепео	Пјенасти додаци
Јужна Африка	ин-ситу (70%), у постројењу (30%)	пјенасти битумен	цемент, хидратисани креч	Не користе се

Таб. 7. Могући узроци настанка појединих врста оштећења и могући начини одржавања [9, 21]

Оштећење	Могући узрок				ОДРЖАВАЊЕ (1)					РЕХАБИЛИТАЦИЈА (2)				
	Структурни проблем	Проблем мјешавине	Температурне или промијене влажности	Конструкција	Крпљење и рулинско одржавање	Прскање емулзијом	Третман застора	Slurry seal (емулзија+ агрегат)	Рециклирање застора	Танки застор	Порозни застори	Додавање слојева преко постојећих	Рециклажа коловоза	Реконструкција (3)
Алигаторске пукотине	+				+ (4)		+ (5)	+ (5)				+	+	+
Пукотине на ивичним спојницама	+		+	+	+									
Рефлектоване пукотине					+		+ (5)	+ (5)			+ (6)	+	+	
Пукотине од скупљања		+	+				+	+	+		+ (6)	+	+	
Пукотине од проклизавања				+	+									
Колотрази	+	+		+					+	+ (7)		+	+	+
Набораност коловоза	+	+		+					+	+ (8)		+	+	+
Улегнућа	+			+	+								+	+
Издигнућа			+		+								+	+
Ударне рупе	+		+	+	+						+			
Огољеност агрегата		+		+		+ (5)	+	+	+	+				
Испирање битумена		+		+			+		+		+			
Углачан агрегат		+	+				+		+	+	+			
Губитак агрегата у застору		+					+							

(1) детаљи у [22]

(2) када пукотине захватају више од 40% површине коловоза

(3) ако је оштећење опсежно

(4) дубоко крпљење - трајна поправка

(5) привремена поправка

(6) када је праћено површинском рециклажом

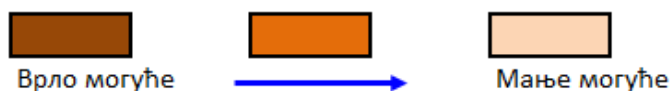
(7) гдје су колотрази минимални

(8) преко уваљаног застора

У Таб. 7 и Таб. 8 су наведени могући фактори који су довели до настанка оштећења. Таб. 7 додатно приказује и могуће начине одржавања, рехабилитације и реконструкције за различита оштећења коловоза.

Таб. 8. Могући фактори који су допринијели настанку оштећења коловоза [19]

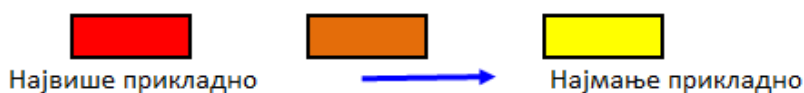
Тип оштећења	Могући фактори који су допринијели оштећењу коловоза					
	Носиви слојеви/постељица	Својства мјешавине	Саобраћај	Околина	Изградња	Коловозна конструкција
Огољеност агрегата						
Ударне рупе						
Цурење битумена						
Отпорност на клизање						
Улегнуће банке						
Колотрази						
Мјестимична набораност коловоза						
Таласаста набораност коловоза						
Пукотине од замора						
Ивичне пукотине						
Пукотине од проклизавања						
Блок пукотине						
Подужне пукотине						
Попречне пукотине						
Рефлектујуће пукотине						
Испрекидане пукотине						
Бубрење						
Мала издигнућа коловоза						
Мала улегнућа коловоза						
Улегнућа						
Квалитет вожње						
Носивост						



За различита оштећења коловоза у САД се препоручују различите врсте рециклажа (Таб. 9). У наведеној табели види се да су хладне рециклаже на лицу мјеста најпогодније за оштећења у виду колотрага, набораности и пукотина.

Таб. 9. Одабир врсте рециклаже у зависности од оштећења коловоза [19]

Тип оштећења	Могући фактори који су допринијели оштећењу					
	Хладно профили сање	Врућа рециклажа на лицу мјеста	Хладна рециклажа на лицу мјеста	Дубока хладна рециклажа	Комбиновани третмани	Реконструкција
Огољеност агрегата	Yellow	Red	Brown	Yellow	Red	Yellow
Ударне рупе	Yellow	Brown	Red	Yellow	Red	Yellow
Цурење битумена	Brown	Brown	Brown	Brown	Red	Yellow
Отпорност на клизање	Brown	Brown	Brown	Yellow	Red	Yellow
Улегнуће банкине	Brown	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red
Колотрази	Brown	Brown	Red	Yellow	Red	Yellow
Мјестимична набораност коловоза	Brown	Brown	Red	Yellow	Red	Yellow
Таласаста набораност коловоза	Brown	Brown	Red	Yellow	Red	Yellow
Пукотине од замора	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
Ивичне пукотине	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Пукотине од проклизавања	Yellow	Brown	Red	Brown	Red	Brown
Блок пукотине	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Brown
Подужне пукотине	Yellow	Brown	Red	Brown	Red	Brown
Попречне пукотине	Yellow	Brown	Red	Red	Red	Brown
Рефлектујуће пукотине	Yellow	Brown	Red	Red	Red	Brown
Испрекидане пукотине	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Brown
Бубрење	Yellow	Brown	Brown	Brown	Red	Yellow
Мала издигнућа коловоза	Yellow	Brown	Brown	Brown	Red	Yellow
Мала улегнућа коловоза	Yellow	Brown	Brown	Brown	Red	Yellow
Улегнућа	Yellow	Brown	Brown	Brown	Red	Yellow
Квалитет вожње	Yellow	Red	Red	Yellow	Red	Yellow
Носивост	Yellow	Yellow	Brown	Red	Red	Red



3.2.1.1. ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ ХЛАДНЕ РЕЦИКЛАЖЕ НА ЛИЦУ МЈЕСТА

Приликом рециклаже се користи воз за рециклажу. Воз за рециклажу се састоји од опреме која укључује простор за складиштење материјала, камионе, глодалице, сегменте за дробљење и просијавање материјала, мјешалице, финишер и ваљке [23]. Поређење хладне рециклаже са конвенционалним поступком је приказано у Таб. 10.

Таб. 10. Поређење рециклаже по хладном поступку на лицу мјеста и по поступку у постројењу [24].

Ставка	Дубока рециклажа по хладном поступку	Рециклажа по конвенционалном поступку
Прецизна контрола дубине рециклаже	Да (+/- 5 mm)	Не
Прецизна контрола влажности	Да	Не
Време између мешања и уграђивања	Врло кратко	Дуго
Искоришћење постојећег материјала	100% рециклиран	Губици
Осетљивост на временске услове	Мала	Велика
Проблеми нестабилне подлоге	Не	Да
Могућа дубина рециклаже на половини ширине коловоза	>300 mm	150 mm
Трајање радова на траси	кратко	Дуже
Конфликти са текућим саобраћајем	умерени	Чести

3.3. ТЕХНОЛОГИЈА ХЛАДНЕ РЕЦИКЛАЖЕ НА ЛИЦУ МЈЕСТА

Хладна рециклажа по дубоком поступку подразумијева рециклажу слојева у дубини преко 15 cm.

Хладна рециклажа на лицу мјеста се заснива на сљедећим корацима:

- Стругање постојећих горњих слојева коловозне конструкције до унапријед утврђење дубине
- Додавање материјала који су предвиђени (вода, цемент, емулзија, летећи пепео и др.) и мљевање и мјешање са претходно саструганим материјалом
- Хомогенизација мјешавине
- Разастирање добијене мјешавине и збијање исте



Сл. 15. Приказ рециклажног воза за хладну рециклажу на лицу мјеста [25]

Као што је већ наведено хладна рециклажа може бити изведена на лицу мјеста и у постројењу. У економског погледу рециклирање у постројењу је скупље, првенствено због транспорта материјала до постројења [26, 27]. Због тога ће хладно рециклирање на лицу мјеста увијек бити у предности, приликом избора технологије, у односу на хладно рециклирање у постројењу. У односу на топле рециклаже постижу се значајне уштеде.

Машине које се користе приликом извођења хладне рециклаже на лицу мјеста су: глодалице за стругање (машине за стругање асфалтних слојева), цистерне, фрезе, грејдер и машине које чине једну композицију и врше све функције, тзв. „воз за рециклажу“ [28]. Возови за рециклажу могу бити једнодјелни, дводјелни или вишедјелни [29, 9, 30].

У једнодјелном возу стругање се врши ротором, а везиво се додаје у бубњу машине за мљевање, док се полагање мјешавине врши помоћу финишера који је интегрисан на крају воза. Већина једнодјелних возова обезбјеђује производњу униформног рециклираног асфалта са максималном величином зрна од 50 mm. Дозирање везива се врши запремински на основу ширине и дубине третирања коловоза као и брзине напредовања машине [19].



Сл. 16. Једнодјелни воз за рециклажу [29]

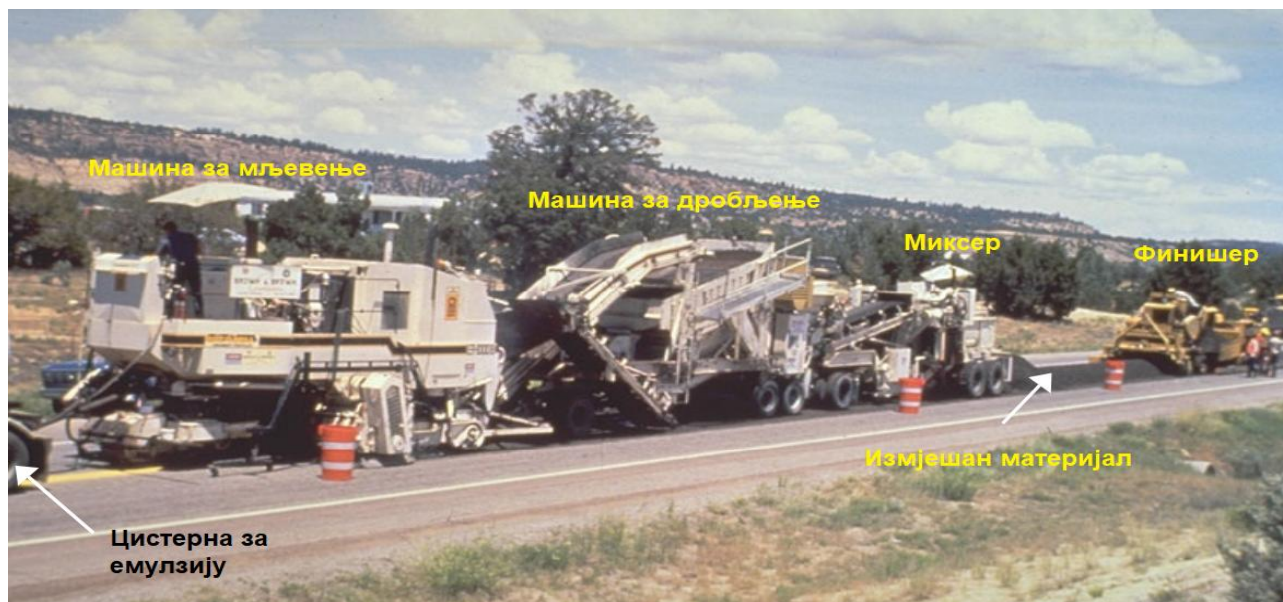
Дводјелни воз се обично састоји од од машине за стругање и од дијела мјешалица-финишер. Неки дводјелни возови имају сита за просијавање како би се одстранила крупнија зрна. За разлику од једнодјелних возова, дводјелни возови обезбјеђује велики

степен контроле процеса, са додавањем везива у односу на тежину рециклираног асфалта за разлику од запремисног начина код једнодјелних возова.



Сл. 17. Дводјелни воз за рециклажу [29]

Вишедјелни возови се састоје од више машина које могу да се користе и појединачно. Обично се у оквиру вишедјелног воза налазе машине за стругање асфалта, машина за просијавање и дробљење, машина за обраду и мјешање и финишери.



Сл. 18. Вишедјелни воз за рециклажу [30]

ПОГЛАВЉЕ 4

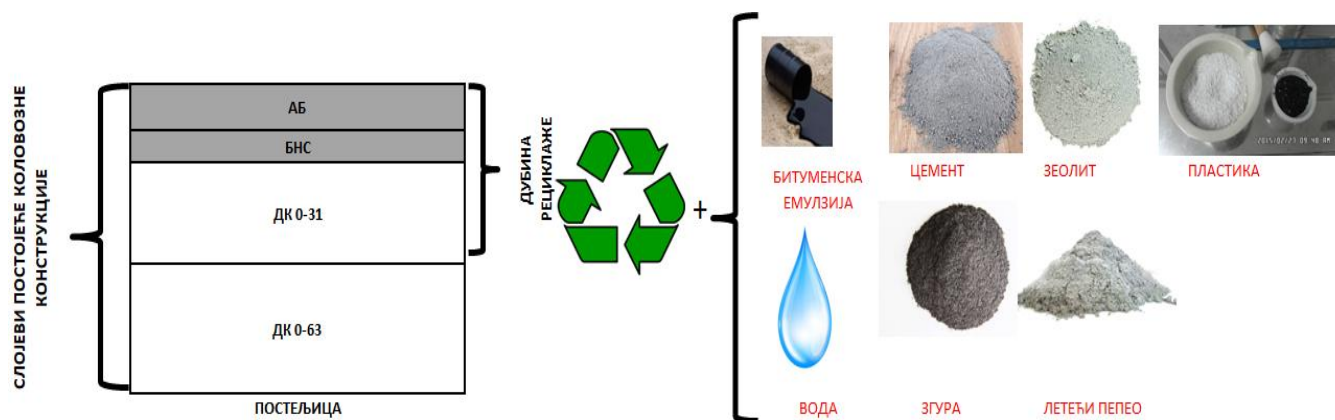
4. МАТЕРИЈАЛИ

Предмет истраживања је примјена рециклираних асфалта (постојећих слојева асфалта који су дотрајали и изгубили своју функционалност) у комбинацији са другим материјалима са циљем стабилизације слојева коловозних конструкција при чему се може утицати на заштиту животне средине и смањење трошкова извођења саобраћајница. Током времена асфалт је под утицајем временских услова и оптерећења. Долази до старења битумена и битумен постаје кртији. Због тога је потребно, приликом рециклирања постојећих коловоза, додати одређене количине нових материјала који би додатно везали агрегат (битуменске емулзије, цемент).

Акцент је на примјени материјала који би се користили при поступку хладне рециклаже за носиве слојеве коловозних конструкција. Материјали који ће бити употребљени у испитивањима су приказани у табели *Таб. 11*.

Таб. 11. Материјали који ће бити примјењени у оквиру испитивања

Материјал	Основни параметар
Рециклирани асфалт	гранулометријски састав, садржај битумена
Битуменска емулзија	садржај битумена, период распада
Цемент	хемијски састав, минералшки састав, запреминска маса, специфична површина
Зеолит	хемијски састав, минералшки састав, класа пуцоланске активности
Пластика	температура размекшања, класа пуцоланске активности
Згура (троска)	хемијски састав, минералшки састав, класа пуцоланске активности
Летећи пепео	хемијски састав, минералшки састав, класа пуцоланске активности



Сл. 19. Концепт хладног рециклирања примјењен у докторској дисертацији (Извор: аутор Милан Маринковић)

4.1. РЕЦИКЛИРАНИ АСФАЛТ

Приликом радова на одржавању коловоза често се дешава да се јави велика количина отпадних материјала. Сви материјали који се првобитно третирају као отпад морају се правилно складиштити што захтјева огромне површине за одлагање. Поједини материјали се ипак не морају нужно одлагати, већ се могу и поново употријебити. Препорука асоцијације ЕАРА (EUROPEAN ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION) је да се 100% количина рециклираног асфалта употријеби и рециклира [31].



Сл. 20. Рециклирани асфалт

У претходном тексту наведено је зашто је важно употребљавати рециклирани асфалт као материјал у производњи рециклираних мјешавина било по топлим било по хладном поступку. Рециклирани асфалт се добија стругањем постојећих асфалтних слојева, њиховим мљењењем и уситњавањем. РАП добијен мљењењем је ситнији и гушћи у односу на РАП добијен дробљењем [9].

У Таб. 12 су наведени статистички подаци из 2017. године о количинама рециклираног асфалта у појединим европским и свијетским земљама.

Таб. 12. Приказ количина рециклираног асфалта у Европи и у свијету, и његова употреба [32]

Држава	Количине асфалта који је рециклиран, 2017. година, (у тонама)	процент од укупне количине рециклираног асфалта (различита употреба)					
		НМА и WMA произведен	полу WMA произвођа	Хладна рециклажа	Невезани слојеви пута	Примјена у другим грађевинским конструкцијама	Депоније/ Употреба у друге сврхе / Непознато
Аустрија	1.650.000	60	нема података	нема података	нема података	нема података	нема података
Белгија	1.030	95	нема података	нема података	нема података	нема података	нема података
Чешка Република	2.600.000	14	0	30	20	10	26
Данска	1.165.000	66	0	0	8	0	26
Финска	1.200.000	100	0	0	0	0	0
Француска	6.400.000	70	нема података	нема података	нема података	нема података	нема података
Њемачка	13.000.000	84	0	0	16	0	0
Велика Британија	3.400.000	90			0	0	0
Мађарска	120.000	95	0	0	0	4	1
Италија	9.000.000	23	нема података	нема података	нема података	нема података	нема података
Холандија	4.500.000	71	0	11	0	0	18
Норвешка	1.101.000	30	0	1	69	0	0
Словачка	50.000	96	0	2	1	1	0
Словенија	84.000	24	0	6	10	0	60
Шпанија	494.000	83	0	0	14	0	3
Турска	2.570.589	9	0	6	85	0	0
САД	72.500.000	96	0	0	4	0	0

4.2. БИТУМЕНСКА ЕМУЛЗИЈА

Битуменске емулзије су хомоген дисперзни систем без чврстих примјеса. Емулзије су браон боје, а када се користе (када битумен почиње да везује са околним материјалом) боја се мијења од браон до црне и тај процес се назива распадање емулзије. Испаравањем емулзије остаје битумен и тада се емулзија (како вријеме пролази) све више понаша као битумен. Емулзије су састављене од битуменског везива које је диспреговано у облику ситних честица у води [33]. Вода садржи емулгаторе који омогућавају везивање воде са битуменом [34]. Емулзије имају нижи вискозитет од коришћеног битумена, па се могу примјењивати при ниским температурама. Послије уграђивања мјешавине са емулзијом вода испари, а битумен остаје као везиво [2].

Средства која се разријеђују су деривати нафте и каменог угља, као и минерална уља различитог поријекла.

Према наелектрисању емулзије можемо подјелити на анјонске (ознака А) и катјонске емулзије (ознака К)[35].



Сл. 21. Изглед битуменске емулзије

Садржај битумена у емулзији се креће од око 40% до око 65% (70% за анјонске емулзије). Садржај воде се креће између 34% и 61% за анјонске емулзије, док је за катјонске емулзије између 19% и 61%.

Према времену распадања емулзије се дијеле на нестабилне (ознака Н), полустабилне (ознака П) и стабилне (ознака С). Вријеме потпуног распада зависи од температуре површине на коју се наноси, од временских услова, као и од количине емулзије која се употребљава. Већином је вријеме потпуног распадања емулзије између 1 и 2 сата.

4.2.1. АНЈОНСКЕ ЕМУЛЗИЈЕ

Анјонске емулзије су негативно наелектрисане са анјон-активним емулгујућим средством. Емулгујуће средство су сапуни или алкалне соли виших масних киселина. Битуменска емулзија је алкална по реакцији. Честице битумена на површини имају негативно наелектрисање, па се из тог разлога ова емулзија користи са каменим агрегатима базног карактера. Агрегати базног карактера имају супротно наелектрисања како би се постигла веза између зрна каменог агрегата и везива. Базни агрегати су од кречњака и доломита и од других базичних стијена.

Битуменска емулзија АН (анјонска нестабилна) употребљава се у случајевима када се примјењује прскање и за површинску обраду.

Битуменска емулзија АП (анјонска полустабилна) употребљава се за припремање асфалтних мјешавина отвореног типа хладним поступком. Битуменска емулзија АС (анјонска стабилна) употребља се за припремање асфалтних мјешавина затвореног типа хладним поступком.

4.2.2. КАТЈОНСКЕ ЕМУЛЗИЈЕ

Катјонске емулзије су позитивно наелектрисане са катјон-активним емулгујућим средством. Катјонске емулзије се користе код агрегата киселог карактера (гранит, андезит, дацит, диорит, пјешчар).

4.3. ЦЕМЕНТ

Портланд цемент је хидраулично везиво. Цемент се добија мљењењем портланд цементног клинкера. Клинкер је вјештачки камени материјал који се ствара печењем кречњака и глине. Температура печења је између 1350 и 1450 °С. Поред портланд цементног клинкера, за чије се добијање користи мјешавина кречњака и глине у односу 3:1, често је у цементу присутна и мања количина гипса (око 5%) који се додаје ради регулисања времена везивања цемента [2].



Сл. 22. Цемент

Портланд цементни клинкер се меље након хлађења до крупноће зрна од 0,001 mm до 0,1 mm. Гледајући по хемијском саставу, у цементу има калцијума, силицијума, гвожђа, лапорца, креде, итд. (Таб. 13).

Таб. 13. Хемијски састав цемента

Назив	Ознака	Приближни процентуални садржај
Калцијум оксид	CaO (везан)	62-67
Силицијум диоксид	SiO ₂	19-25
Алуминијум оксид	Al ₂ O ₃	2-8
Хематит	Fe ₂ O ₃	1-5
Сумпор триоксид	SO ₃	највише 3,5-4,5
Калцијум оксид	CaO (slobodan)	највише 2
Магнезијум оксид	MgO	највише 5
Алкалије	алкалије (Na ₂ O i K ₂ O)	0,5-1,3

Када цемент помјешамо са водом, дешава се хемијска реакција у којој цементна паста прелази у чврсто стање. Овај процес се назива хидратација. Имамо реакције чије компоненете различито реагују:

Таб. 14. Продукти хидратације

Назив	Ознака	Процентуални садржај	Својство
Трикалцијум силикат (алит)	3CaO*SiO ₂ (Скраћено C ₃ S)	45-60 %	хидратизује и очвршћује веома брзо и добија рану чврстоћу
Дикалцијум силикат (белит)	2CaO*SiO ₂	20-30 %	хидратизује и очвршћује полако, у току једне недјеље
Трикалцијум алуминат	3CaO*Al ₂ O ₃	4-12%	хидратизује и очвршћује најбрже. Ослобађа велику количину топлоте и добија рану чврстоћу
Тетракалцијум алуминат	4CaO*Al ₂ O ₃ *Fe ₂ O ₃	10-20%	употребљава се при нижим температурама у пећи за префабрикацију цемента

4.3.1. ПРАВИЛНИК О КВАЛИТЕТУ ЦЕМЕНТА

Одредбе Правилника [36] се примјењују на сљедеће цементе:

1. обични портланд цемент
2. сулфатно отпорни цемент
3. бијели портланд цемент
4. обични портланд цемент ниске топлоте хидратације
5. калцијум-алуминатни цемент

Према наведеном Правилнику обични портланд цементи су подијељени у 5 врста:

1. СЕМ I портланд цемент
2. СЕМ II портланд-композитни цемент
3. СЕМ III металуршки цемент
4. СЕМ IV пуцолански цемент
5. СЕМ V композитни цемент

Цементи се према стандардним чврстоћама дијеле у сљедеће класе:

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

За сваку класу стандардне чврстоће дефинисане су три класе почетне чврстоће:

- класа са обичном почетном чврстоћом – N
- класа са високом почетном чврстоћом – R
- класа са ниском почетном чврстоћом – L

Класа L се може примјенити само на СЕМ III цементе. Обични портланд цементи са сулфатно отпорним својствима означавају се словном ознаком SR. Обични портланд цементи са својствима ниске топлоте хидратације означавају се словном ознаком LH.

4.4. ЗЕОЛИТ

Ријеч зеолит потиче од грчких ријечи „ζεω” и “λιθος” што значи „кључајуће камење”, јер приликом повећања температуре водена пара испарава и тада изгледа као да зеолит кључа [37]. Зеолити су хидратисани алумисиликатни порозни минерали чија је генерална ознака $Mx/m[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot nH_2O$. Дио Mx/m се односи на јон-измјењујуће катјоне а $[(AlO_2)_x(SiO_2)_y]$ је основа зеолита [38].



Сл. 23. Изглед зеолита

4.5. ПЛАСТИКА

Постоје двије групе пластике и 46 различитих врста пластике.

Таб. 15. Групе пластике

Термопласти	Термореактивна пластика (Дуропласти)
Полиетилен Терифталат	Бакелит
Полипропилен	Епоксид
Поливинил Ацетат	Меламин
Поливинил Хлорид	Полиестер
Полистирен	Полиуретан
Полиетилен ниске густине	Уреа-формалдехид
Полиетилен високе густине	Алкид

Прву групу представљају термопласти и у ту групу се убрајају материјали као што су PET, PVC. Другу групу чине термореактивне пластике или дуропласти. У дуропласте спадају материјали као што је бакелит.



Сл. 24. Изглед бакелита (бијели и црни)

Основна разлика између ове двије групе пластике је у њиховим својствима након што једном прођу кроз производни процес. Термопластичне врсте пластике у великој мјери је могуће рециклирати. Прије производње, термореактивна пластика је обично у течном стању или у облику љепљиве смоле. У таквом стању поставља се у калупе у којима

се пече да би се добио финални производ. У процесу очвршћавања маса се трансформише путем унакрсног повезивања.

Процесом унакрсног повезивања формирају се молекуле са већом молекуларном тежином. Термореактивне пластике при процесу температурне обраде мијењају своју структуру и отпад који настане при производњи и при употреби је немогуће претопити или преобликовати. Управо то је разлог зашто тежимо да врсте пластике које припадају овој групи искористимо као додатак основним материјалима при изградњи путева.

Да би се олакшало разврставање пластичног отпада након употребе у Сједињеним Америчким Државама је удружење Society of Plastics Industry увело ознаке којима се означавају пластични производи (Таб. 16). Овај систем означавања је послје тога уведен и у Европи.

Таб. 16. Врсте пластике и њихове ознаке према SPI систему означавања

Назив врсте пластике	Ознака врсте пластике	Симбол врсте пластике
Полиетилен Терифталат (Polyethylene Teryphthalate)	PET	
Полиетилен велике густине (High density polyethilene)	HDPE	
Поливинил хлорид (Polyvinyl Chloride)	PVC	
Полиетилен ниске густине (Low density polyethilene)	LDPE	
Полипропилен (Polypropylene)	PP	
Полистирен (Polystyrene)	PS	
Остале врсте пластике	Other	

У Таб. 17 приказан је списак производа који су направљени од одређених врста пластике.

Таб. 17. Производи који су направљени од појединих врста пластике [39]

Назив пластике	Производи
Полиетилен Терифталат	Флаше за воду, флаше за негазиране и газирани сокове, посуде за залеђена готова јела
Полипропилен	Чепови за боце, поклопци, врећице за детрџенте, посуде за храну, тацне за храну која се користи у микроталасним пећницама
Поливинил Хлорид	Флаше за минералну воду, боце за шампоне, тацне за храну, кредитне картице, играчке, цијеви и жљебови, електрична опрема, дијелови намештаја, фасцикле, оловке, медицинска опрема за једнократну употребу
Полистирен	Боце за јогурт, чепови и затварачи за боце, полистиренске пјене, тацне за храну, кутије и паковања за јаја, заштитна паковања, шоље за једнократну употребу, пластични есцајг, заштитна паковања за електронску опрему и играчке
Полиетилен ниске густине	Кесе, вреће, канте за млијеко, облога канти за смеће, боце за козметику и детрџенте
Полиетилен високе густине	Кесе, вреће, чепови и затварачи за боце, боце за течности за прање
Бакелит	Дијелови телефона, радио, дијелови оружја, кухињско посуђе, накит, играчке, билијарске кугле
Меламин	Табле, тањери, дијелови у ламинатским подовима

Према члану 38 Закона о управљању отпадом [40] дозвољена је употреба отпада за добијање истог производа од кога је настао или за другу намену. У следећој табели су приказана својста појединих врста пластике (Таб. 18).

Таб. 18. Понашање пластичних полимера под температурним дејством [39]

Полимер	Температура декомпозиције (опсег у °С)	Забилжени продукти	Температура паљења (опсег у °С)	Забилжени продукти
PE	270-350	CH ₄ , C ₂ H ₆	> 700	CO, CO ₂
PP	270-300	C ₂ H ₆	> 700	CO, CO ₂
PS	300-350	C ₂ H ₆	> 700	CO, CO ₂
PVC	320-350	C ₂ H ₆ , HCl	> 700	CO, CO ₂ , Cl ₂ , HCl



Сл. 25. Бакелит након загријавања на 220 °С

4.6. ЗГУРА

Згура (троска, шљака) се добија при производњи гвожђа као остатак у високим пећима. Постоји неколико подјела згуре, а према уредби [41]. Згура се према хемијском саставу дијели на базне и на киселе. Базна згура садржи најмање 50% базних оксида CaO и Al_2O_3 , а остатак је највећим дијелом SiO_2 . Кисела згура садржи знатно мање од 50% базних оксида CaO и Al_2O_3 , а преовладава SiO_2 . Као везиво се употребљава само базна згура. Према врсти сировог гвожђа од којег се добија дијели се на згуре од бијелог сировог гвожђа и на згуре од сивог сировог гвожђа. Према поступку после испуштања из високе пећи згуре се дијеле на:

- топионички камен
- топионичку вуну
- експандирану згуру
- гранулисану згуру, при чему је гранулисана згура високе пећи латентан хидраулични материјал који посједује хидрауличне особине када је адекватно припремљен.

Наглим хлађењем текуће згуре која плива на растопљеном гвожђу она се гранулира у зрна клинкерског облика (структуре). Спорим хлађењем се добија згура кристаласте структуре.



Сл. 26. Изглед згуре

4.7. ЛЕТЕЋИ ПЕПЕО

Електрофилтерски пепео (летећи пепео) се добија сагоревањем угљене прашине у котловима за сагоревање угља [42, 43]. Летећи пепео представља fino дисперговани продукт сагоревања угља из термоелектрана, издвојен из димних гасова, чија се величина зрна креће од 0 до 1 μm . То је хетерогени материјал састављен из честица различитих физичких, хемијских и морфолошких својстава, што је условљено квалитетом угља, као и условима и технологијом сагоревања [44]. Пепео се сакупља помоћу електростатичких таложника, контејнера за прикупљање прашине или уређаја за механичко прикупљање (циклон). Примјењују се три начина уклањања пепела из постројења: суви (који је у пракси и најчешћи), влажни и циклонски. У сувом поступку око 80% сагорјелог остатка напушта пећ као пепео у димном гасу, а осталих 20% се задржава у пећима. У влажном поступку тај однос је 50%:50%, док се код циклонског поступка 70 до 80% пепела задржи у котлу, а осталих 20% до 30% се издваја у димном гасу [45].



Сл. 27. Изглед летећег пепела

ПОГЛАВЉЕ 5

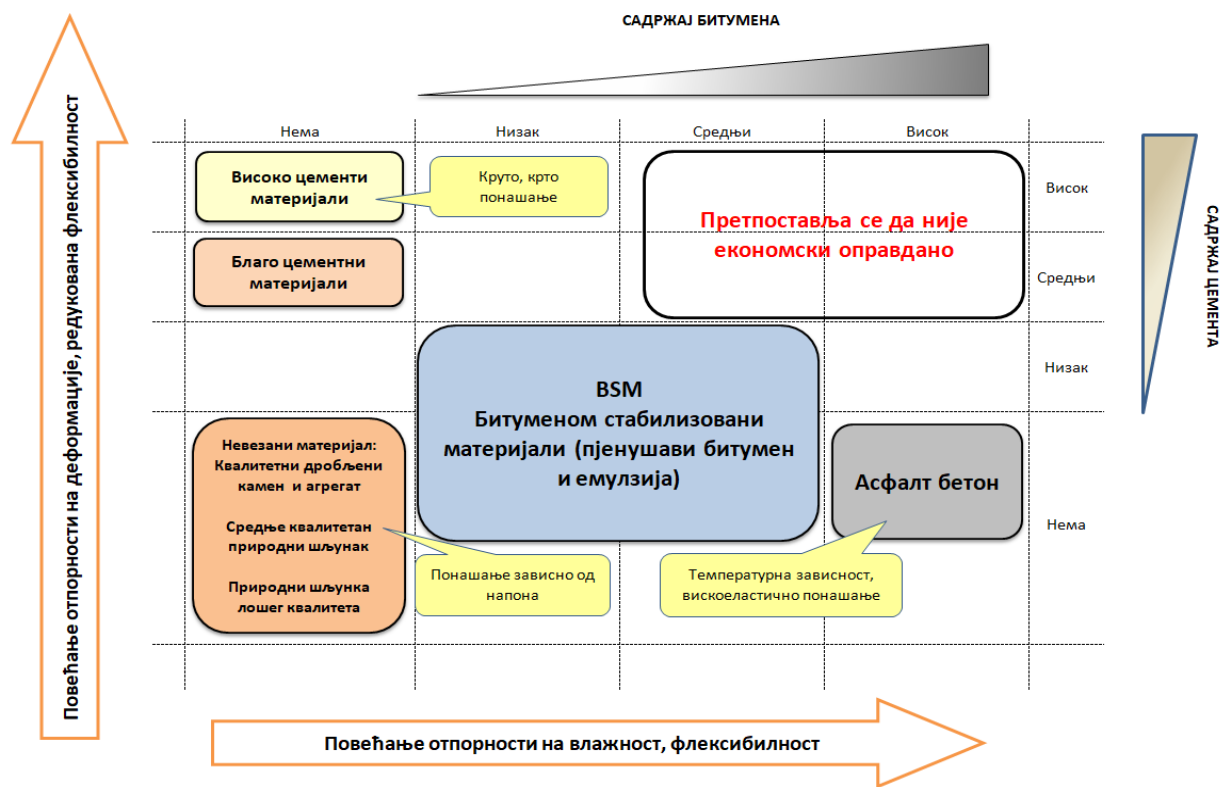
5. ДОСАДАШЊА ИСТРАЖИВАЊА

5.1. ПРИРУЧНИЦИ И УПУТСТВА

5.1.1. СРБИЈА

У Републици Србији 2002. године Узелац је са групом аутора, у име републичке Дирекције за путеве, дефинисао упутства и услове за дубоку рециклажу по хладном поступку [24]. Тај документ представља основу за даља истраживања, јер код нас раније није било пуно рехабилитација по хладном поступку, тако да ће сва истраживања, укључујући и ову докторску дисертацију, послужити за допуну и унапређење тих упутстава.

У упутству је разматрана употреба битуменске емулзије и пјенушаваг битумена (угљоводонична везива) са цементом (хидраулично везиво). Појединачна употреба битумена, битуменских емулзија и цемента је дефинисана посебним стандардима (СРПС У.Е9.021, СРПС У.Е9.028, СРПС У.Е9.022, СРПС У.Е9.024). Овдје је битно нагласити да је веома важно водити рачуна о посебности заједничке мјешавине цемента и битуменске емулзије у односу на мјешавину само са битуменском емулзијом и мјешавину само са цементом (Сл. 28).



Сл. 28. Понашање материјала који се користе за израду коловозних конструкција [46]

Поређење предности и недостатака, за различите врсте материјала и комбинације материјала којима се стабилизију слојеви, је приказано у наредним табелама [47].

Предности и недостаци цемента, када се разматра његова употреба, су приказани у *Таб. 19*.

Таб. 19. Предности и недостаци цемента као материјала у рециклажама [24]

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
<ul style="list-style-type: none"> Лако за примјену као прах или суспензија. Обично су јефтинији од битумена или емулзије. Повећавају отпорност материјала на влагу. 	<ul style="list-style-type: none"> Пукотине од скупљања могу бити проблем. Пукотине могу бити суштински редуковане пажљивим пројектовањем мјешавине (коришћењем садржаја цемента што је мање могуће и задржавањем ниског садржаја влажности).

Предности и недостаци битуменске емулзије, када се разматра њена употреба као материјала у хладној рециклажи, су приказани у *Таб. 20*.

Таб. 20. Предности и недостаци битуменске емулзије као материјала у рециклажама [7, 48]

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
<ul style="list-style-type: none"> Лако за примјену – емулзија се једноставно сипа у комору за мјешање на рециклеру. Третирање емулзијом ствара флексибилне слојеве отпорне на замор који су отпорни на пукотине. Једном када је материјал третиран емулзијом постаје отпоран на повећање влажности. 	<ul style="list-style-type: none"> Обично је скупља од цемента и пјенушаваог битумена. Емулзија мора бити компатибилна са рециклираним материјалом, са довољним временом за мјешање и сабијање. Третман емулзијом може бити проблематичан на лицу мјеста у случају повећане влажности, јер ће додаток емулзије довести до повећања влажности изнад оптималног, што доводи до издизања слојева.

Битумен је вискозни материјал чије понашање зависи од температуре и од времена изложености утицајима. Како би се смањила вискозност и омогућило мјешање са каменом и другим зрнстим материјалима на амбијенталним температурама, битумену се додаје вода и емулгатори [49],[33]. Емулгатори су већином катјонски. У контакту са

цементом и агрегатом, катјонске емулзије се дестабилизују промјеном ПХ вриједности [50, 51]. Промјена ПХ вриједности је проузвокована ослобађањем катјона.

Таб. 21. Предности и недостаци комбинације битуменске емулзије и цемента као материјала у рециклажама [24]

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
<ul style="list-style-type: none"> • Цемент може бити примјењен као суспензија заједно са емулзијом у комори рециклера. • Поред тога, цемент се може примјенити засебно од емулзије. • Комбинација цемента и емулзије даје веће чврстоће, краће његовање, и већу отпорност на воду него сама емулзија. • Ако је коректно пројектована, није подложна пукотинама од скупљања. 	<ul style="list-style-type: none"> • Обично је скупља и од цемента и од емулзије. • Скупља и од пјенастог битумена. • Емулзија мора бити компатибилна са рециклираним материјалом и са цементом, са довољним временом за мјешавње и сабијање. • Превремено раздвајање емулзије када дође у контакт са цементом доводи до проблема са мјешањем и „грудвицама“. Правилна примјена емулзије је кључна.

Предности и недостаци пјенастог битумена, када се разматра њихова употреба као материјала у хладној рециклажи, су приказани у Таб. 22.

Таб. 22. Предности и недостаци пјенастог битумена као материјала у рециклажама [52, 53]

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
<ul style="list-style-type: none"> • Једноставна примјена - пјенасти битумен се примјењује директно у комори за мјешање у рециклеру. • Материјали третирани пјенастим битуменом формирају флексибилне слојеве са добром отпорношћу на замор и пукотине од скупљања. • Отпорност на повећање садржаја влаге. • Обично јефтинији од емулзије и комбинације емулзије и цемента. • Додатна вода се не додаје рециклираном материјалу као код емулзије. • Брзи прираст чврстоће, пут може да се пусти у промет одмах након сабијања и ваљања. 	<ul style="list-style-type: none"> • Захтјева примјену врелог битумена (180°C). • За пјенасти битумен, материјал мора имати пролаз између 5% и 15% на сити величине 75 микрона. Ако то није случај, онда се гранулација коригује додавањем и разастирањем материјала преко слоја који се рециклира.

Када је цемент помјешан са емулзијом долази до убрзавања распада емулзије [54], тако да дио воде постаје дио процеса хидратације цемента [55]. Додавањем цемента емулзији мјешавина постаје крућа, а отпорност на деформације се побољшава [56, 57, 58, 59, 60].

Предности и недостаци комбинације битуменске емулзије и цемента, када се разматра њихова употреба као материјала у хладној рециклажи, су приказани у Таб. 21. Предности и недостаци комбинације битуменске емулзије и пјенастог битумена, када се разматра њихова употреба као материјала у хладној рециклажи, су приказани у Таб. 23.

Таб. 23. Предности и недостаци комбинације пјенастог битумена и цемента као материјала у рециклажама [53, 61]

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
<ul style="list-style-type: none"> Када је низак проценат цемента (1% до 2%) комбинован са пјенастим битуменом, то значајно повећава чврстоћу рециклираног материјала. Додатно, материјал третиран комбинацијом пјенастог битумена и цемента ће имати већу отпорност на воду од материјала са самим пјенастим битуменом. Јефтинија него комбинација емулзије и цемента. 	<ul style="list-style-type: none"> Захтјева примјену врелог битумена (180°C). За пјенасти битумен, материјал мора имати пролаз између 5% и 15% на сити величине 75 микрона. Ако то није случај, онда се гранулација коригује додавањем и разастирањем материјала преко слоја који се рециклира. Скупља него сам пјенасти битумен.

Таб. 24. Граничне вриједности појединих параметра стабилизација цементом и битуменском емулзијом (рециклирани асфалт и дробљени камен)[24]

Уситњени асфалт (струган) и дробљени камен (мешавина 50/50 %)			
Особина	Стабилизација цементом (3-5% цемента)	Стабилизација битуменом	
		1-1.5% цемента и 2.5-5% емулзије	1% цемента и 1.5-3% пене
Збијеност у односу на модификовани Проктор (%)	96 до 98	98 до 100	98 до 102
Једнооксијална чврстоћа (МПа)	5 до 6.5	-	-
Индиректна затезна чврстоћа (кПа)	-	350 до 750	350 до 800
Преостала чврстоћа после потапања (%)	-	>75	>75
Резилијентни модул (МПа)	око 15.000	2.500 до 3.500	2.500 до 3.500

У споменутном упутству дате су захтјеване вриједности збијености у односу на модификовани Проктор, једнооксијалну чврстоћу, индиректну затезну чврстоћу, преосталу чврстоћу послје потапања и резилијентни модул. Посебну су дате захтјеване вриједности за мјешавине струганог асфалта и дробљеног камена (Таб. 24), самог дробљеног камена (Таб. 25) и самог шљунка (Таб. 26).

Препоручене количине цемента на основу табела, када је ријеч од додавању само цемента, су од 3% до 5% за комбинацију струганог асфалта и дробљеног камена, док када је основни материјала дробљени камен или шљунак, онда је садржај цемента од 3% до 4%. За стабилизацију пјенастим битуменом и цементом препоручује се комбинација 1% цемента и садржај пјенастог битумена од 1,5% до 3%. Ове препоруке су за све комбинације основног материјала који се стабилизује.

Таб. 25. Граничне вриједности појединих параметара стабилизације цементом и битуменском емулзијом (дробљени камен)[24]

Дробљени камен (0/50 mm, I _p <6, CBR >80)			
Особина	Стабилизација цементом (3-4% цемента)	Стабилизација битуменом	
		1-1.5% цемента и 3.5-6% емулзије	1% цемента и 1.5-3% пене
Збијеност у односу на модификовани Проктор (%)	96 до 98	98 до 100	98 до 102
Једнооксијална чврстоћа (МПа)	5 до 6.5	-	-
Индиректна затезна чврстоћа (кПа)	-	400 до 800	400 до 900
Преостала чврстоћа после потапања (%)	-	>60	>60
Резилијентни модул (МПа)	око 15.000	3.000 до 6.000	3.000 до 6.000

Код комбинације битуменске емулзије и цемента садржај цемента би требало да буде од 1% до 1,5% за све основне материјале.

Таб. 26. Граничне вриједности појединих параметара стабилизације цементом и битуменском емулзијом (природни шљунак)[24]

Природни шљунак (I _p < 10, CBR > 30%)			
Особина	Стабилизација цементом (3-4% цемента)	Стабилизација битуменом	
		1-1.5% цемента и 4-7% емулзије	1% цемента и 1.5-3% пене
Збијеност у односу на модификовани Проктор (%)	95 до 97	97 до 100	98 до 100

Једнооксијална чврстоћа (МПа)	5 до 6.5	-	-
Индијектна затезна чврстоћа (кПа)	-	250 до 500	250 до 500
Преостала чврстоћа после потапања (%)	-	>50	>50
Резилијентни модул (МПа)	око 4.000	2.000 до 4.000	2.000 до 4.000

Препоручени садржај емулзије која се додаје цементу, по српском упутству, зависи од основног материјала. Ако је шљунак основни материјал, онда се са цементу додаје 4% до 7% емулзије. Ако је основни материјал дробљени камен, онда се цементу додаје од 3,5% до 6% битуменске емулзије, а ако је мјешавина струганог асфалта и дробљеног камена основни материјал, онда је препоручена количина битуменске емулзије (са цементом) од 2,5% до 5%.

До сада је у свијету објављено неколико смјерница и приручника за припремање узорака и извођење радова у поступку хладне рециклаже уз употребу битуменске емулзије и цемента (Таб. 27).

Таб. 27. Упутства и документи за хладну рециклажу [62]

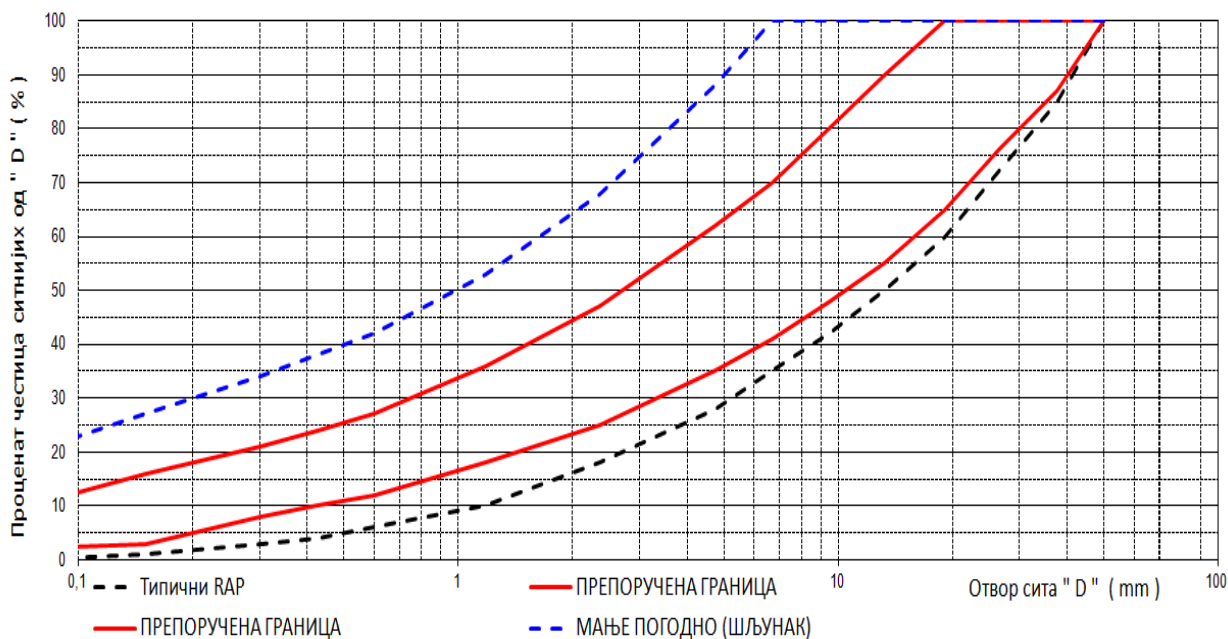
Држава	Издавач	Година издања	Назив документа
Њемачка	Wirtgen	1998	Wirtgen Cold Recycling Manual, 1
Јужна Африка	Asphalt Academy	2002	A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen, 1
Њемачка	Wirtgen	2004	Wirtgen Cold Recycling Manual, 2
Њемачка	FGSV	2005	Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Strassenbau (M KRC)[63]
Јужна Африка	Asphalt Academy	2009	A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen, 2 [64]
Њемачка	Wirtgen	2010	Wirtgen Cold Recycling Manual, 3
Аустралија	Austroroads	2011	Review of Foamed Bitumen Stabilisation Mix Design Methods [65]
Велика Британија	RSTA, ADEPT	2012	Code of Practice for In-Situ Structural Road Recycling [66]
Хрватска	HAD	2012	Технички увјети за израду носивих слојева колника технологијом ресиклирања по хладном поступку[67]
Њемачка	Wirtgen	2012	Wirtgen Cold Recycling Technology, 1 [26]

5.1.2. ВИРТГЕН УПУТСТВО

Према Виртген упутству гранулометријски састав струганог материјала мора да буде у границама које су приказане у Таб. 28, а графички представљене на Сл. 29.

Таб. 28. Препоручене границе гранулометријског састава према Виртген упутству [26]

Отвор сита (mm)	Процент пролаза на сваком ситиу (%)			
	Препоручене гранулације		Природни шљунак	Типични RAP
	Крупнозрни	Ситнозрни		
50	100	100	100	100
37,5	87	100	100	85
26,5	76	100	100	72
19	65	100	100	60
13,2	55	90	100	50
9,5	48	80	100	42
6,7	41	70	100	35
4,75	35	62	88	28
2,36	25	47	68	18
1,18	18	36	53	10
0,6	12	27	42	6
0,425	10	24	38	4
0,3	8	21	34	3
0,15	3	16	27	1
0,075	2	10	20	0



Сл. 29. Препоручене гранулометријске криве према Виртген упутству

Садржај хигроскопне влаге се одређује према формули:

$$W_{\text{air-dry}} = \frac{(M_{\text{air-dry}} - M_{\text{dry}})}{M_{\text{dry}}} * 100 \quad \text{Једначина 1}$$

гдје је:

$W_{\text{air-dry}}$ – садржај хигроскопне влаге (% по маси)

$M_{\text{air-dry}}$ – маса материјала сушеног на ваздуху (g)

M_{dry} – маса материјала сушеног у сушари (g)

Виртген упутство захтјева одређивање активног филера (цемент или креч), а затим и одређивање оптималног садржаја флуида (ОФС). Под појмом флуид, овдје се подразумјева „слободна“ вода која се додаје као и „везана“ вода која је саставни дио битуменске емулзије. Након што је одређен оптимални садржај флуида, одређује се садржај саставних материјала по сљедећим једначинама:

- сува маса узорка

$$M_{\text{sample}} = \frac{(M_{\text{air-dry}})}{\left(1 + \left(\frac{W_{\text{air-dry}}}{100}\right)\right)} \quad \text{Једначина 2}$$

гдје је:

M_{sample} – маса сувог узорка (g)

$M_{\text{air-dry}}$ – маса материјала сушеног на ваздуху (g)

$W_{\text{air-dry}}$ – садржај влаге у природно сушеном узорку (% по маси)

- маса активног филера

$$M_{\text{cement}} = \frac{C_{\text{add}}}{100} * M_{\text{sample}} \quad \text{Једначина 3}$$

гдје је:

M_{cement} – маса креча или цемента који се додаје (g)

C_{add} – захтјевани проценат креча или цемента (% по маси)

M_{sample} – маса сувог узорка (g)

- маса битуменске емулзије

$$M_{\text{emul}} = \frac{RB_{\text{reqd}}}{PRB} * M_{\text{sample}} \quad \text{Једначина 4}$$

гдје је:

M_{emul} – маса битуменске емулзије која се додаје (g)

RB_{reqd} – проценат захтјевааног резидуалног битумена (%)

PRB – проценат резидуалног битумена у емулзији (% по маси)

M_{sample} – маса сувог узорка (g)

- вода која се додаје да би се постигао оптимални садржај флуида

$$M_{\text{water}} = \left(\frac{W_{\text{OFC}} - W_{\text{air-dry}}}{100} \right) * M_{\text{sample}} - M_{\text{emul}} \quad \text{Једначина 5}$$

гдје је:

M_{water} – маса воде која се додаје (g)

W_{OFC} – оптимални садржај флуида (% по маси)

$W_{\text{air-dry}}$ – садржај влаге у природно сушеном узорку (% по маси)

M_{sample} – маса сувог узорка (g)

M_{emul} – маса битуменске емулзије која се додаје (g)

Упутство дефинише и начине његовања узорака. Узорак се суши до константне масе.

Запреминска тежина узорака се одређује на основу:

$$BD_{\text{spec}} = \frac{4 * M_{\text{spec}}}{\pi * d^2 * h} * 10^6 \quad \text{Једначина 6}$$

гдје је:

BD_{spec} – запреминска тежина узорка (kg/m^3)

M_{spec} – маса узорка (g)

h – просјечна висина узорка (mm)

d – пречник узорка (mm)

Индириктна затезна чврстоћа се одређује на основу:

$$ITS = \frac{2 * P}{\pi * d * h} * 10^6 \quad \text{Једначина 7}$$

гдје је:

ITS – индириктна затезна чврстоћа (kPa)

P – максимално примјењено оптерећење (kN)

h – просјечна висина узорка (mm)

d – пречник узорка (mm)

Заостала затезна чврстоћа, тј. однос чврстоћа моких и сувих узорака, се одређује на основу:

$$TSR = \frac{\text{aveITS}_{\text{WET}}}{\text{aveITS}_{\text{DRY}}} * 100 \quad \text{Једначина 8}$$

гдје је:

TSR – заостала затезна чврстоћа (%)

$\text{aveITS}_{\text{WET}}$ – просјечна вриједност ИЗЧ влажних узорака (kPa)

$\text{aveITS}_{\text{DRY}}$ – просјечна вриједност ИЗЧ сувих узорака (kPa)

Виртген упутство дефинише захтјеве за узорке као што је приказано у Таб. 29.

Таб. 29. Основни захтјеви према Виртген упутству [26]

	Класа 1	Класа 2	Није погодан
Основни материјал:	РА** и ГДК**	Уситњен материјал	Лош шљунак
Резултат	РА/ ГДК додатно уситњен	Природни материјал	Пластични материјали
	РА/ ГДК/ шљунак	Материјал са граничном гранулометријом	Тла
ИЗЧ суво узорци пречника 100 mm и 150 mm	>225 kPa	од 125 до 225 kPa	<125 kPa
ИЗЧ мокро и ИЗЧ натопљено узорци пречника 100 mm и 150 mm	>100 kPa	од 50 до 100 kPa	<50 kPa
ИЗЧ узорци пречника 150 mm	>175 kPa	од 95 до 175 kPa	<95 kPa
Смицање			
Кохезија	>250 kPa	>50 kPa	<50 kPa
Угао унутрашњег трења	>40°	>25°	<25°
Испитивање основних материјала			
Калифорнијски индекс носивости (CBR)	>80%	>20%	<20%
Индекс пластичности (IP)	<10	<15	>15
*РА – Рециклирани агрегат виртген **ГДК – Гранулисани дробљени камен			

Према овом упутству, на основу резултата испитивања материјала, материјале можемо подијелити на:

- Класа 1: Материјал са великом чврстоћом на смицање. Ови материјали су погодни за носиве слојеве на коловозним конструкцијама са структурним капацитетом који је већи од 3 милиона ЕСО од 82 kN (аналитички модели се примјењују приликом димензионисања).
- Класа 2: Материјал са просјечном (средњом) чврстоћом на смицање. Ови материјали су погодни за носиве слојеве на коловозним конструкцијама са структурним капацитетом који је мањи од 3 милиона ЕСО од 82 kN (емпиријски модели – СТРУКТУРНИ БРОЈ- се примјењују приликом димензионисања).
- Материјале који нису погодни за хладну рециклажу.

5.1.3. ЈУЖНА АФРИКА

Виртген упутство и јужноафричке смјернице имају доста сличних или чак истих дијелова, тако да ће овдје бити наглашене само најважније разлике. Јужноафричке смјернице [64, 68] дијеле битуменом стабилизоване материјале у три категорије:

- БСМ 1: Овај материјал има велику чврстоћу на смицање и обично је употребљен као носиви слој за саобраћајно оптерећење веће од 6 милиона ЕСО. За ову категорију материјала, основни материјал је обично добро гранулисани дробљени камен или рециклирани асфалт (РА).
- БСМ 2: Овај материјал има средње високу чврстоћу на смицање и обично је употребљен као носиви слој за саобраћајно оптерећење мање од 6 милиона ЕСО. За ову категорију материјала, основни материјал је обично добро гранулисани природни шљунак или рециклирани асфалт (РА).
- БСМ 3: Овај материјал обично садржи шљунак или/и пијесак, стабилизоване са већим процентом битумена. Као носиви слој, погодан је једино за саобраћајно оптерећење мање од 1 милиона ЕСО.

Таб. 30. Интерпретација индикатора и тестова битуменом стабилованих материјала[64]

Испитивање и показатељ	Материјал	Класа материјала			Није погодан за употребу	
		БСМ1	БСМ2	БСМ3		
Потопљен СБР (%)	CS (98%)	>80	25 до 80	10 до 25	<10	0,4
	NG		> 25	10 до 25	<10	
Пролаз 0,075 (%) (битуменска емулзија)	CS	4 до 15			>15	0,35
	NG		5 до 25	25 до 40	>40	
	GS		5 до 20	15 до 30	>30	
	SSSC			0 до 20	>20	
Пролаз 0,075 (%) (пјенасти битумен)	CS	2 до 15			>15	0,1
	NG		11 до 25	23 до 40	>40	
	GS		0 до 20	13 до 30	>30	
	SSSC			0 до 20	>20	
Релативна збијеност	Сви	> 0,98	0,95 до 0,98	0,93 до 0,95	< 0,93	0,1
ДКП - ДСР пенетрација (mm/ударцу)	Сви	< 3,7	3,7 до 9,1	9,1 до 19,0	> 19,0	0,1
FWД крутост (МПа)	Сви	>300	150 до 300	70 до 150	<70	0,1
Индекс пластичности	CS	< 10	>10			0,25
	NG	< 6	6 до 12	>12		
	GS		> 11	11 до 15	< 15	
	SSSC			< 15	> 14	
Релативна влажност (%)	CS	< 90	>90			0,1
	NG	< 70	70 до 100	< 80		

	GS		> 100	80 до 100	< 100	
	SSSC			> 100	> 100	
Модул оцјене	NG	2,0 до 3,0	1,2 до 2,7	0,15 до 1,2	0,15	0,2
	CS		1,2 до 2,5	0,75 до 2,7	<0,75	
Кохезија (кПа)	Сви	>250	100 до 250	50 до 100	< 50	0,45
Угао унутрашњег трења (°)	Сви	> 40	30 до 40	< 30		0,4
Тангентни модул (МПа)	Сви	> 150	50 до 150	< 50		0,1
ИЗЧ (кПа)	Суво, 100 mm	>225 кПа	од 175 до 225 кПа	од 125 до 175 кПа	< 125	0,1
	150 mm	>175 кПа	од 135 до 175 кПа	од 95 до 135 кПа	< 95	0,2
ИЗЧ мокро (кПа)	100 mm	>100 кПа	од 75 до 100 кПа	од 50 до 75 кПа	< 50	0,1
ЈПЧ (кПа)	Сви	1200 до 3500	700 до 1200	450 до 700	< 450	0,1
Преостала кохезија након (%)	Сви	> 75	60 до 75	50 до 60	< 50	0,45
Оцјена	Сви	0,5 до 1,5	1,5 до 2,5	2,5 до 3,5	3,5 до 4,5	Није одређено

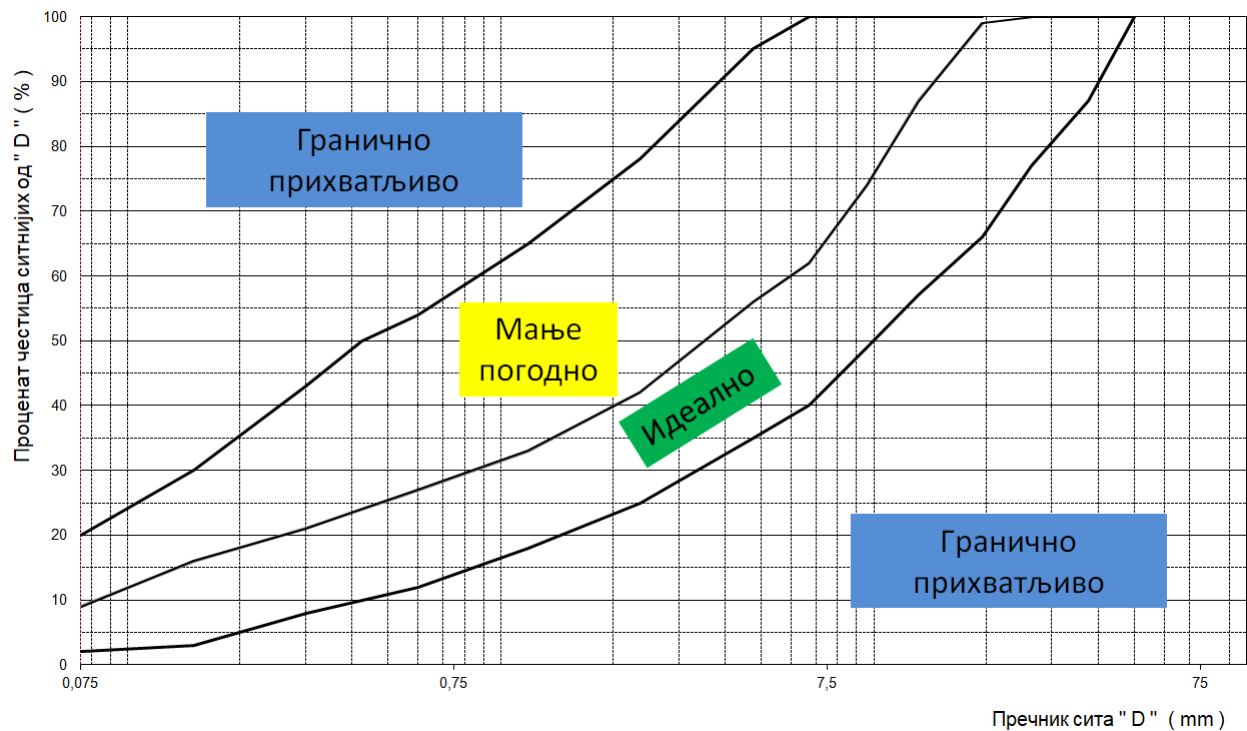
CS- дробљени камен NG- природни шљунак GS- шљунковито тло SSSC - пијесак, прашинасти пијесак, прашина, глина; 98%, 95%, 93% и 90% су модификоване збијености

Према Таб. 30 одређује се погодност појединих материјала и гранулометрија за категорије материјала (Таб. 31).

Таб. 31. Интерпретација класификације гранулометрије за битуменом стабилзоване материјале

Испитивање или показатељ	Материјал	Оцјена				CF
		1	2	3	4	
Класификација	CS	Идеално	Мање погодно		Крајње	0,4
	NG		Идеално	Мање погодно	Крајње	
	GS		Идеално	Мање погодно	Крајње	

Материјал који се битуменом стабилизује би требало да буде у препорученим границама (Сл. 30, Таб. 32).



Сл. 30. Препоручене гранулометријске криве [64]

Таб. 32. Границе за процентуалне пролазе по ситима [64]

Отвор сита (mm)	Проценти пролаза			
	Битуменом стабиловани материјал - емулзија		Битуменом стабиловани материјал - пјена	
	Идеално	Мање погодно	Идеално	Мање погодно
50	100		100	
37,5	87-100		87-100	
26,5	77-100	100	77-100	100
19,5	66-99	99-100	66-99	99-100
13,2	67-87	87-100	67-87	87-100
9,6	49-74	74-100	49-74	74-100
6,7	40-62	62-100	40-62	62-100
4,75	35-56	56-95	35-56	56-95
2,36	25-42	42-78	25-42	42-78
1,18	18-33	33-65	18-33	33-65
0,6	12-27	27-54	14-28	28-54
0,425	10-24	24-50	12-26	26-50
0,3	8-21	21-43	10-24	24-43
0,15	3-16	16-30	7-17	17-30
0,075	2-9	9-20	4-10	10-20

Разлике између граница за емулзију и пјену су веома мале и не могу се уочити на слици (Сл. 30)

5.1.4. ХРВАТСКА

Хрватска упутства [67] детаљно описују и припрему за извођење хладних рециклажа, тј. шта је све потребно урадити и која припремна мјерења се врше прије рециклирања коловоза. Претходна испитивања обухватају мјерења дефлексија, визуелни преглед стања коловоза, пробне ископе и израду претходног састава рециклиране мјешавине. По завршетку претходних испитивања, доноси се одлука о технологији рециклирања. Према техничким условима постављене су граничне температуре рециклираног материјала и времена уградње.

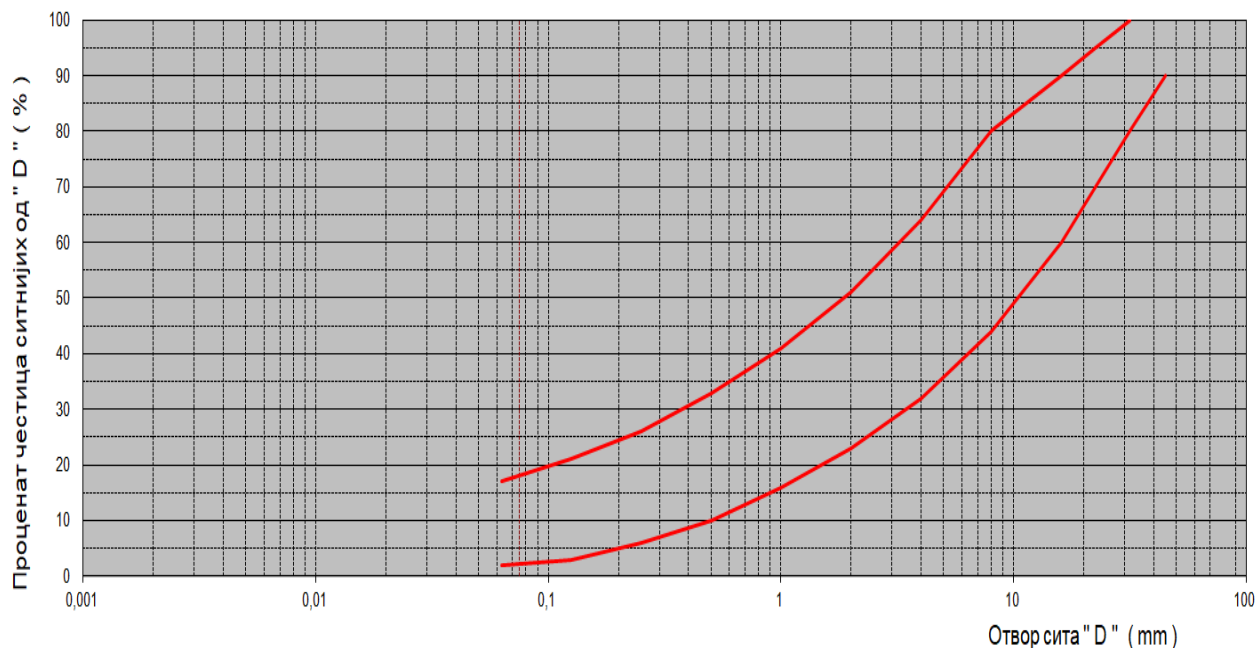
Таб. 33. Ограничења температуре рециклиране мјешавине и времена уградње [67]

Везиво за стабиловање рециклиране мјешавине	Пјенасти битумен	Битуменска емулзија	Цемент	Креч
Најмања температура рециклираног материјала (°C)	15	10	5	5
Најдуже вријеме обраде материјала (h)	12	12	4	8

Захтјевани гранулометријски састав, тј. горње и доње граничне вриједности гранулометријског састава, глданог асфалта су приказане бројчано у Таб. 34 и графички на Сл. 31.

Таб. 34. Услов квалитета (гранулометрија) глданог асфалта и смјесе материјала добијених глдоњем коловоза – хладно рециклиране мјешавине [67]

Отвор сита (mm)	Кумулативни пролаз кроз сито (%(m/m))	
	Најмањи	Највећи
0,063	2	17
0,125	3	21
0,25	6	26
0,5	10	33
1	16	41
2	23	51
4	32	64
8	44	80
16	60	90
22,4	70	95
31,5	80	100
45	90	
63	100	



Сл. 31. Граничне гранулометријске криве глданог материјала

Механичка својства произведене мјешавине и уграђеног слоја морају да задовоље услове квалитета приказане у Таб. 35.

Таб. 35. Услови квалитета за хладно рециклирану мјешавину [67]

Својства се односе на	Стандардна својства		Јединице	Услови за саобраћајно оптерећење	
				Врло лако, лако и средње	Тешко и врло тешко
Састав и својства	Процент везива		%(m/m)	±0,2	
	Температура битумена за пјенушање		°C	160 до 195	
	Оптимална влажност мјешавине		%(m/m)	Мјери се	
	Влажност стабилизоване мјешавине	Битуменско везиво	%(m/m)	60 до 80 % оптималне влажности	
		Хидраулично везиво		±2	
Густина сувог модификованог Прокторовог узорка		t/m ³	Мјери се		
Механичка својства мјешавине стабилизоване битуменом	Индиректна затезна чврстоћа сувог узорка – ИЗЧ суво		(MPa)	≥ 0,175	≥ 0,225
	Индиректна затезна чврстоћа мокрог узорка – ИЗЧ мокро		(MPa)	≥ 0,075	≥ 0,100
	Крутост		(MPa)	Мјери се	

Механичка својства мјешавине стабилизоване хидрауличним везивима	Притисна чврстоћа након 7 дана	(МПа)	2,0 до 5,0
	Притисна чврстоћа након 28 дана	(МПа)	3,0 до 6,0
	Индиректна затезна чврстоћа након 7 дана	(МПа)	Мјери се
	Отпорност на воду и смрзавање након 28 дана	%	≥ 80

Таб. 36. Коефицијенти корекције цијене у зависности од квалитета мјешавине [67]

Параметар квалитета рециклиране мјешавине	Саобраћајно оптерећење	Јединица	Допуштено одступање од горње или доње границе квалитета прописане овим техничким упутством							
			Неупитан квалитет	Прихватљив, али санкционисан квалитет					Неприхватљив квалитет	
ИЗЧ суво	Врло лако и средње	(МПа)	0,175	0,174 до 0,168	0,167 до 0,161	0,160 до 0,154	0,153 до 0,147	0,146 до 0,140	<0,140	
	Тешко и врло тешко		≥0,225	0,224 до 0,216	0,215 до 0,207	0,206 до 0,198	0,197 до 0,189	0,188 до 0,180	<0,180	
ИЗЧ мокро	Врло лако и средње		≥0,075	0,074 до 0,072	0,071 до 0,069	0,068 до 0,066	0,065 до 0,063	0,062 до 0,060	<0,060	
	Тешко и врло тешко		≥0,100	0,099 до 0,096	0,095 до 0,092	0,091 до 0,088	0,087 до 0,084	0,083 до 0,080	<0,080	
Најмања притисна чврстоћа након 28 дана	Сва саобраћајна оптерећења		≥3,0	2,9 до 2,8	2,7 до 2,6	2,5 до 2,4	2,3 до 2,2	2,1 до 2,0	<2,0	
Највећа притисна чврстоћа након 28 дана			≤6,0	6,1 до 6,6	6,7 до 7,2	7,3 до 7,8	7,9 до 8,4	8,5 до 9,0	>9,0	
Коефицијент недовољног квалитета за рециклирану мјешавину			1,000	0,986	0,944	0,874	0,776	0,650		

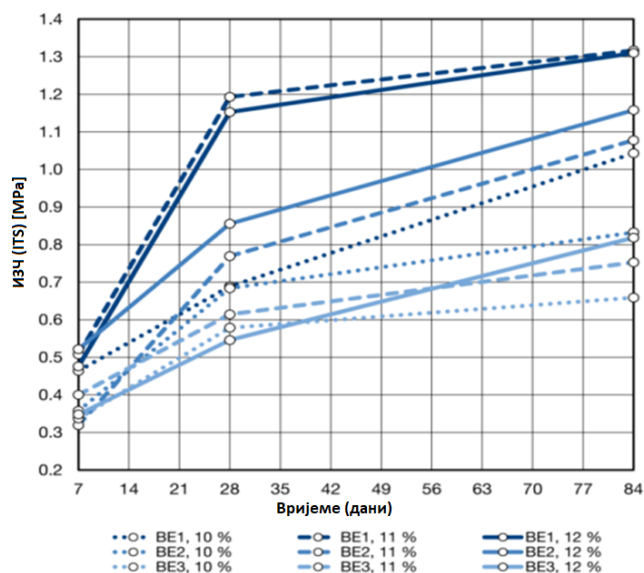
Хрватски технички услови садрже додатно и систем осигурања квалитета радова хладног рециклирања. У условима су дати корекциони коефицијенти који су дефинисани на основу механичких својстава (Таб. 36). Основа за обрачун изведених радова хладног рециклирања јесте оцјена њиховог квалитета. Разрађена су три модела за прихватање и обрачун радова хладног рециклирања:

- Модел 1 (неупитни квалитет). Сви појединачни резултати, а с тиме у вези и сви просјечни резултати испитивања квалитета, налазе се у границама квалитета. У том случају квалитет рециклиране мјешавине оцјењен је као неупитан, а радови се обрачунавају према уговореним цијенама за радове хладног рециклирања коловоза.
- Модел 2 (прихватљив, али санкционисани недовољан квалитет). Просјечни резултати испитивања квалитета (мјешавине и слоја) налазе се унутар граница квалитета прописаних овим Техничким условима, али се појединачни резултати налазе ван граница прописаног квалитета.
- Неприхватљив квалитет

5.2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА

Миљковић је у оквиру своје докторске дисертације [69] и у другим научним радовима са коауторима [70, 49, 71] приказао утицај процента битуменске емулзије на асфалтне мјешавине. Исти аутор је истраживао и утицај битуменске емулзије и цемента на карактеристике мјешавине по хладном поступку [72]. Након техничких упутстава то је било прво значајније истраживање српских научника о битуменској емулзији. Ипак, та испитивања нису била у вези са хладном рециклажом. Збијени узорци су прво остављени у калупима 24 ± 2 сата, а онда су извађени из калупа и остављени 2 дана на металној површини. Прва три дана након збијања, температура његовања је била 20 ± 2 °C, а релативна влажност 95%. Након тога су узорци његовани тако што је температура остала иста, док је влажност била 65 ± 5 %. 8 сати прије испитивања узорци су његовани на 5 °C.

Прављени су узорци са 10%, 11% и 12% битуменске емулзије. Додаван је 1,5% садржај цемента. Различите криве су урађене за различите типове емулзије који потичу од различитих врста битумена (BE 1- PG 50/70 ; BE 2 – PG 70/100: BE3 – PG 160/220). Утврђен је тренд за ИЗЧ (ITS), деформацију и модул крутости. Испитивања су вршена након 7, 28 и 84 дана. Испитивања су показала раст индиректне затезне чврстоће и модула крутости током времена, поготово првих 28 дана.



Сл. 32. Промјена индиректне затезне чврстоће током времена[70]

Значајнија истраживања, у области примјене битуменске емулзије и цемента у поступку хладног рециклирања, у Србији обавио је Јаковљевић [73]. Поменути аутор је испитивао 6 група мјешавина које су се међусобно разликовале по садржају дробљеног камена 0/22 mm, рециклираног асфалта, битуменске емулзије и цемента (Таб. 37). На приказаним мјешавинама је испитивана притисна чврстоћа након 28 дана као и

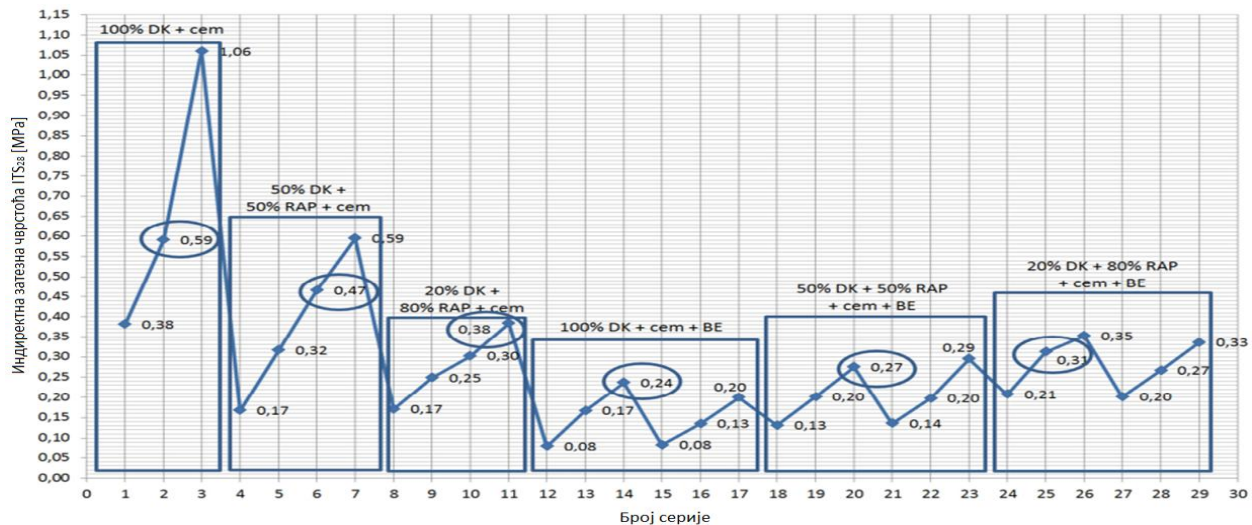
индиректна затезна чврстоћа након 28 дана. У другој фази су за сваку мјешавину, за оптимални садржај везива (у табели су редови са оптималним садржајем означени подебљаним словима), испитивани замор и модули.

Таб. 37. Садржај испитиваних мјешавина [73]

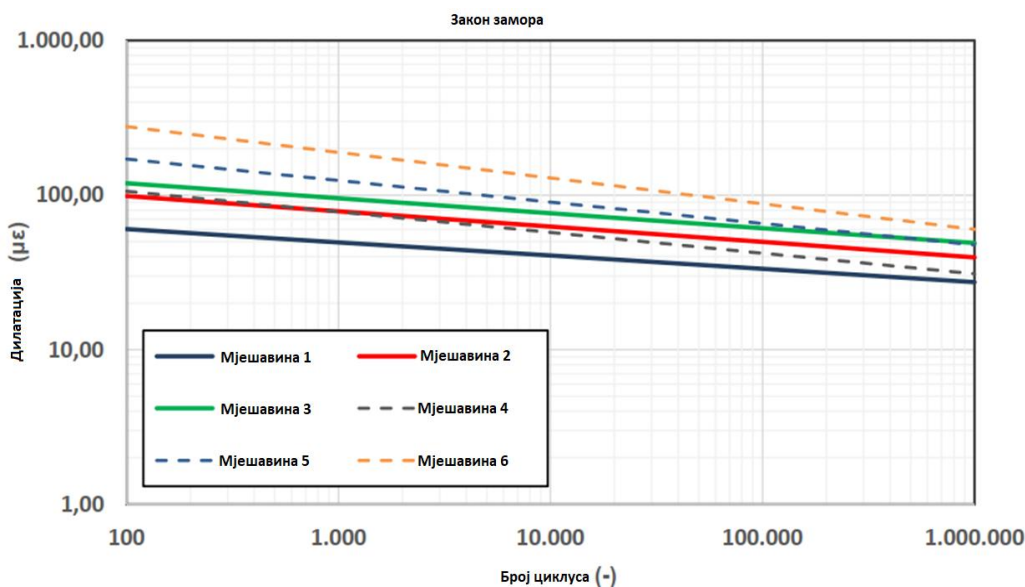
Мјешавина	Варијација мјешавине	Дробљени камен 0/22 mm (%)	Рециклирани асфалт (%)	Цемент СЕМ II 32.5 R (%)	Битуменска емулзија КР 60 (%)
I	1	100	0	3	0
	2			4	0
	3			5	0
II	1	100	0	2	3,5
	2			3	3,5
	3			4	3,5
	4			2	5,5
	5			3	5,5
III	6	50	50	4	5,5
	1			3	0
	2			4	0
	3			5	0
IV	4	50	50	6	0
	1			2	3,5
	2			3	3,5
	3			4	3,5
	4			2	5,5
	5			3	5,5
V	6	20 (од чега 10% DK 0/2 mm)	80	4	5,5
	1			3	0
	2			4	0
	3			5	0
VI	4	20 (од чега 10% DK 0/2 mm)	80	6	0
	1			2	3,5
	2			3	3,5
	3			4	3,5
	4			2	5,5
	5			3	5,5
VI	6	20 (од чега 10% DK 0/2 mm)	80	4	5,5

На основу испитивања индиректне затезне чврстоће и притисне чврстоће видљиво је да се за мјешавине везане само цементом добијају мање вриједности повећањем количине рециклираног асфалта. Када су у питању мјешавине гдје су везивни материјали и цемент и битуменска емулзија, тада се види да повећањем количине рециклираног

асфалта у мјешавини расту и вриједности индиректне затезне чврстоће и притисне чврстоће, тј. вриједности та два параметра су веће код мјешавина са 80% рециклираног асфалта у односу на мјешавине са 50% рециклираног асфалта и мјешавине без рециклираног асфалта.



Сл. 33. Индиректне затезне чврстоће за све мјешавине[73]



Сл. 34. Закон замора за оптималне садржаје свих шест мјешавина[73]

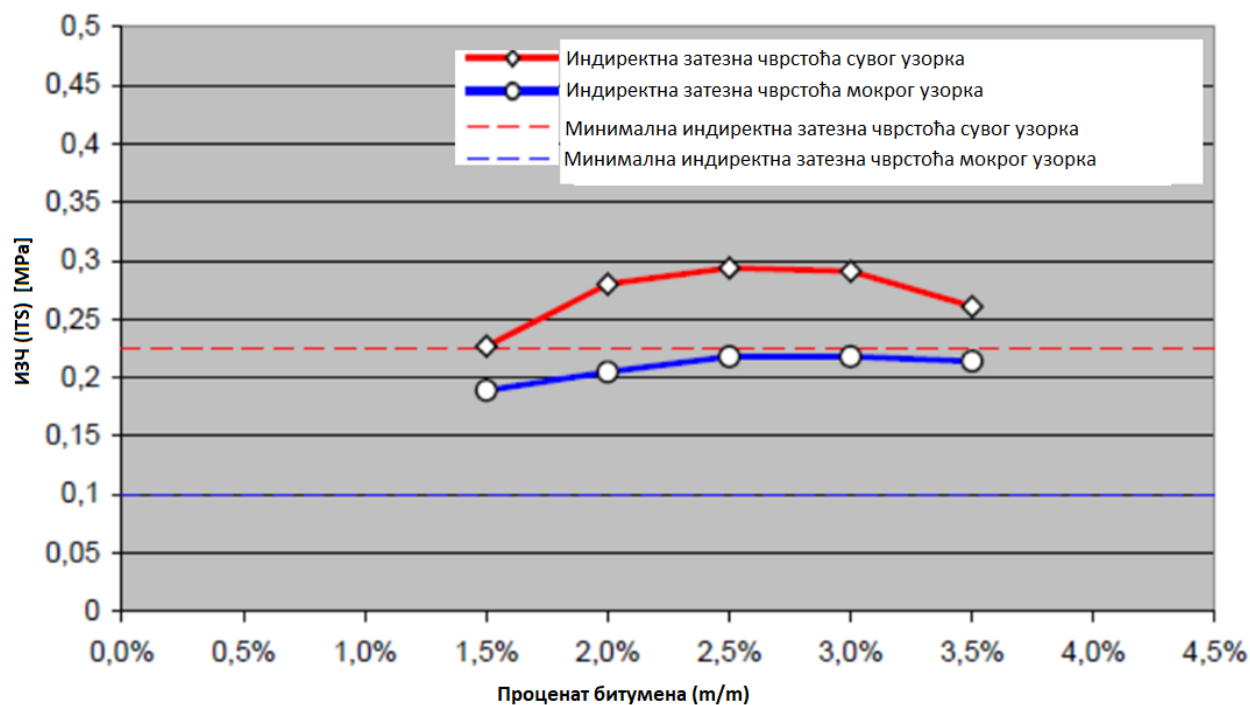
Нагиб криве замора за битуменом везане материјале износи око 5 јединица, док за цементном везане материјале 12 јединица. На основу испитивања замора могло се закључити следеће:

- за мјешавине везане само са цементом, нагиб криве износи 11,7 и по томе се види да такве мјешавине имају понашање приближно мјешавинама стабилизаним цементом;
- за мјешавине везане са цементом и битуменском емулзијом (без рециклираног асфалта) нагиб криве износи 7,5 јединица и што је вриједност између битуменом и цементом везаних материјала;
- за мјешавине са цементом и садржајем рециклираног асфалта од 50% до 80% нагиб криве замора износи 10,3 и 11,7 јединица и при томе се види да количина рециклираног асфалта превише не утиче на понашање тих мјешавина, те да се оне понашају слично цементом стабилизаним мјешавинама;
- за мјешавине са цементом, битуменском емулзијом и садржајем рециклираног асфалта од 50% до 80% нагиб криве замора износи 6,0 и 7,2 јединица и при томе се види да количина рециклираног асфалта превише не утиче на понашање тих мјешавина, те да се оне понашају слично мјешавинама са цементом и емулзијом без рециклираног асфалта (понашање између битуменом и цементом везаним материјалима).

Kavussi [74] је такође испитивао замор на различитим температурама (-10°C, 5°C, 20°C) и различитим временом његовања (7,28 и 120 дана). Закључио је да је додаток цемента довео до смањења закривљености криве замора што је посебно изражено на температурама -10°C. Врло важан је и почетни ниво напона.

Приликом рехабилитације државног пута у Хрватској (дионица Дубровчан – Губашево) коришћена је метода хладног рециклирања у асфалтној бази. Извршено је глодање постојећег асфалта испод кога се налазио тампон од шљунка. Претходна и лабораторијска испитивања су показала резултате наведене у даљем тексту [75].

Просјечна дебљина хабајућег слоја је била 39 mm, а носивог слоја 86 mm. Средња вриједност процента битумена је била 3,6%. Издвајање везива је извршено екстракцијом и утврђено је да је пенетрација била 27 (1/10 mm), а тачка размекшања 58 °C. Глоданом асфалту из коловоза додато је 15% фракције 0/4 mm из каменолома Очура, како би се задовољили услови које асфалти по поступку хладне рециклаже морају задовољити (БИТ 70/100). На тако добијеном агрегату вршена су испитивања како би се добио оптимални садржај воде. На основу индекса пластичности, који је био IP<10, одабран је цемент као хидрауличко везиво. Усвојен је проценат од 0,75% цемента чврстоће 42,5 N. Израђена је серија узорака са 0,75% цемента (гравиметријски однос) и пјенушавим битуменом. Мјењани су проценти битумена од 1,5% до 3,5% (по маси). Начињени су стандардни узорци примјеном 75 удараца са сваке стране и при температури од 25 °C. На узорцима је мјерена индиректна притисна чврстоћа и то на засићеним и на сувим узорцима.

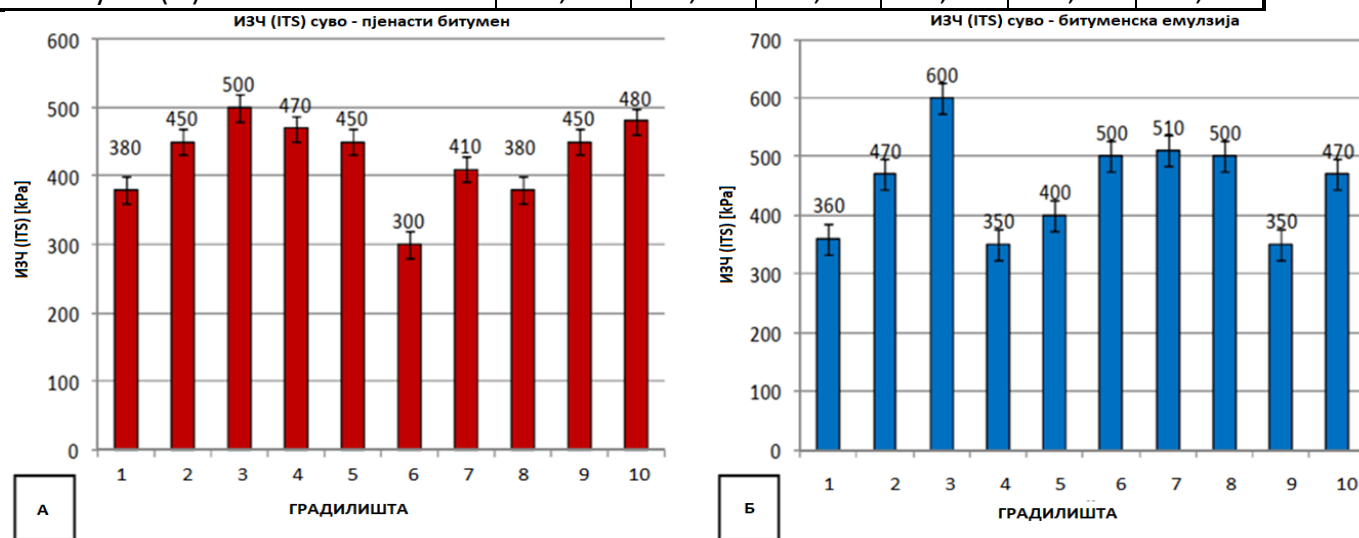


Сл. 35. Зависност индиректне затезне чврстоће од процента битумена [75]

Dołycki В. и Jaskuła Р. [76] су направили пресјек стања у Пољској, и дјелимично у свијету, што се тиче употребе емулзије и цемента. Исти аутори су испитивали и утицај процента емулзије и цемента на крутост асфалтне мјешавине. Разлог због којег су испитивали њихов утицај је тај да је током крајем прошлог вијека у Пољској значајан број путева за лако и средње саобраћајно оптерећење рехабилитован хладном рециклажом. Већина путева је изграђена шездесетих година прошлог вијека и од тада није било значајнијих улагања у инфраструктуру. Због велике употребе хладне рециклаже у Пољској [77] су спроведена значајна истраживања која су резултирала каталозима за извођење. Према тим каталозима садржај цемента је ограничаван на од 1% до 4% (за рециклирани асфалт), а од 1% од 7% за рециклирани битумен. Садржај битуменске емулзије је ограничаван на од 3% до 5%. Проблем се јављао након неколико година од извођења рехабилитације и то најчешће у виду попречних пукотина. Узрок тога је била велика крутост мјешавина добијених по хладном поступку усљед велике количине цемента. Још једна мана на тако изведеним путевима јесте употреба веће количине новог агрегата, што је додатно поскупљивало изградњу. Због тога су исти аутори радили на додатним истраживањима. Направили су мјешавине са 6 различитих комбинација садржаја цемента и битуменске емулзије. Садржај цемента је био 2 и 4%, док су садржаји битуменске емулзије били 2%, 4% и 6%.

Таб. 38. Поређење својстава испитиваних мјешавина [76]

Материјал	МЈЕШАВИНА					
	C2E2	C2E4	C2E6	C4E2	C4E4	C4E6
	Садржај цемента			Садржај цемента		
	2%			4%		
	Садржај битуменске емулзије			Садржај битуменске емулзије		
	2%	4%	6%	2%	4%	6%
Рециклирани асфалт (%)	68,6	67,2	65,8	68,7	67,2	65,8
Дробљени камен 0/31 mm	17,6	17,3	16,9	17,6	17,3	16,9
Ситни агрегат 0/2 mm	9,8	9,6	9,4	7,8	7,7	7,6
Цемент СЕМ I 42.5 R	2,0	1,9	1,9	3,9	3,8	3,7
Битуменска емулзија С60В5R	2,0	4,0	6,0	2,0	4,0	6,0
Додатна вода	5,6	4,2	2,8	5,6	4,2	2,8
Основне карактеристике испитаних мјешавина						
Садржај шупљина (послије 2*75 удараца) %	141,3	17,1	16,7	13,9	15,8	15,8
Модул крутости ITSM, 5°C, 28 дана (МПа)	5867	4799	5985	8615	6056	6140
Индијектна затезна чврстоћа ITS, 5°C, 28 дана (МПа)	0,64	0,74	0,94	1,18	1,02	1,08
Резултати након цикличног теста према ААSHTO TP79 (фреквенција 10Hz, 20°C)						
Динамички модул (МПа)	2969	2662	2711	4880	4224	3404
Фазни угао (%)	13,10	15,81	18,72	10,38	13,40	15,43



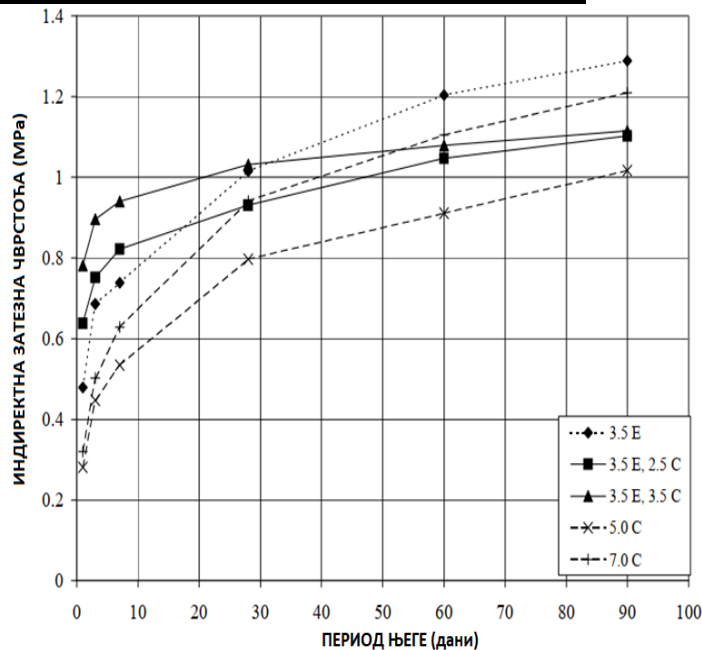
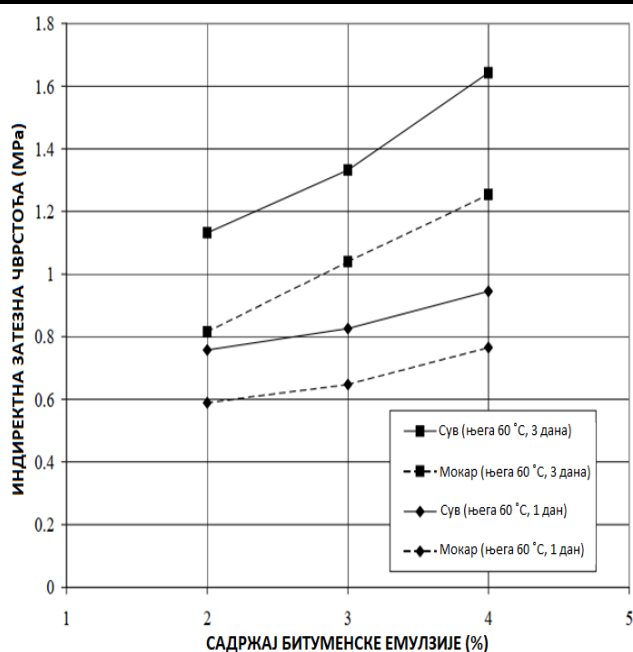
Сл. 36. Поређење индијектних затезних чврстоћа мјешавина са пјенасти битуменом и са битуменском емулзијом [76]

Maurizio Crispino и Claudio Brovelli [78] су приказали неке резултате добијене приликом грађења путева у Италији. Добијени резултати се односе на узорке рециклираних носивих слојева са битуменском емулзијом његоване 72 сата и његоване на 40 °C. Са слике је видљиво да не постоји значајна разлика у ИЗЧ (ITS) са пјенушавим битуменом и емулзијом.

Resanes и други аутори [79] су испитивали мјешавине са различитим садржајем емулзије, воде и цемента (Таб. 39). На различите начине су његовали узорке. Тако су за испитивање индиректне затезне чврстоће узорке његовали на 5°C у трајању 1, 3, 7, 28, 60 и 90 дана, док су неке узорке његовали убрзано на 60°C. Резултати испитивања су показали да су узорци који су имали само цемент као везиво имали ниже индиректне затезне чврстоће него узорци који су поред цемента имали и битуменску емулзију.

Таб. 39. Мјешавине које су испитиване у истраживању [79]

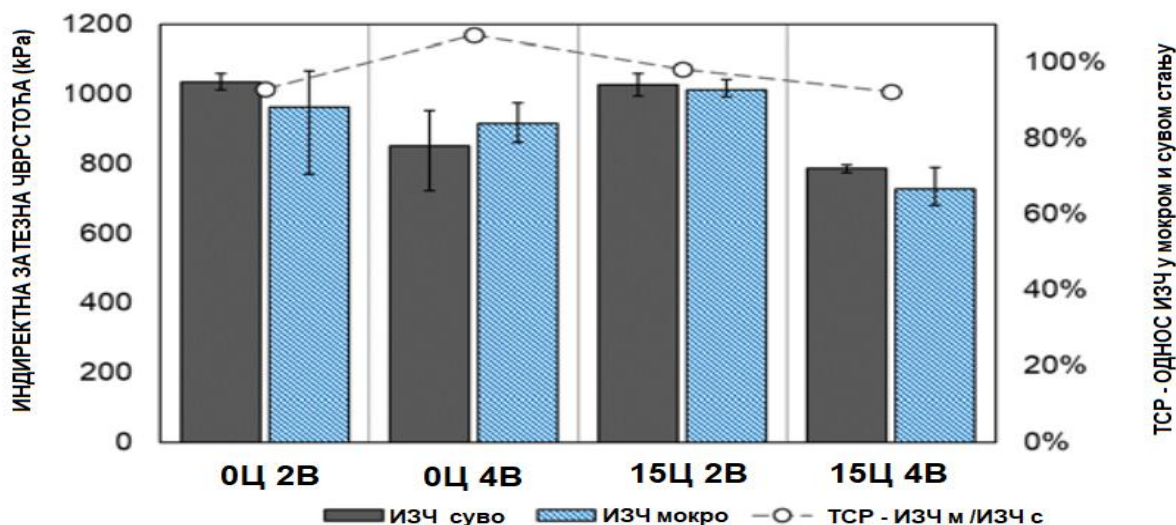
	Мјешавина				
	RE	RC-1	RC-2	RM-1	RM-2
ECL-2 емулзија (m/m) [%]	3,5			3,5	3,5
V-35 цемент(m/m) [%]		5,0	7,0	2,5	3,5
Вода (m/m) [%]	2,25	7,0	8,2	2,35	3,85



Сл. 37. Утицај периода његе и састава мјешавине на индиректну затезну чврстоћу [79]

Raschia је са групом аутора [80] обавио испитивања утицаја воде и цемента на хладно рециклиране мјешавине. Испитивали су укупно четири мјешавине са два

различита садржаја воде (2% и 4%) и два различита садржаја цемента (0% и 1,5%). Садржај емулзије је био 5% од масе агрегата. Узорке су његовали 14 дана, а испитивали су ИЗЧ, ИЗЧМ (модул одређен при испитивању ИЗЧ) као и модул испитиван методом ултразвука. Један од закључака истраживања је да су мјешавине без цемента дале довољно високе вриједности ИЗЧ (Сл. 38) тако да је употреба цемента непотребна.

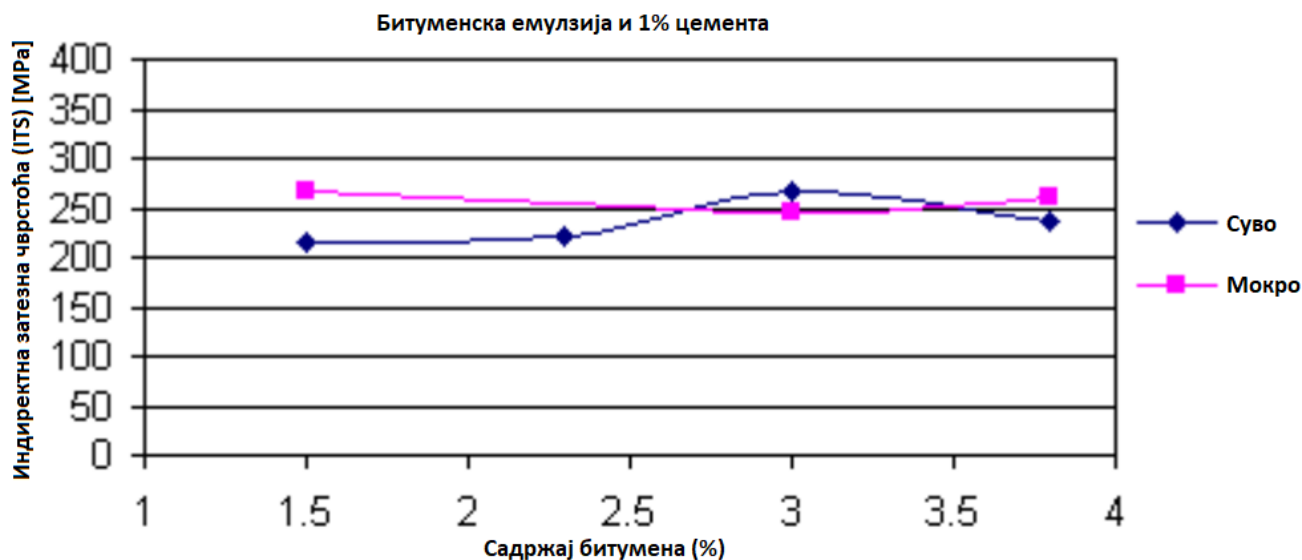


Сл. 38. Резултати ИЗЧ за испитиване мјешавине [80]

Аутори из Јужноафричке републике [81, 82] су испитивали утицај процента битуменске емулзије и цемента на индиректну затезну чврстоћу. Циљ је био да се изабере најбоља мјешавина за извођење. На крају је као оптимални садржај изабран резидуални (преостали) садржај битумена од 2,1%.

Таб. 40. Садржај цемента и битуменске емулзије у мјешавинама [82]

Процент цемента	Процент заосталог битумена у емулзији	ИЗЧ суво (кПа)	ИЗЧ мокро (кПа)
1%	1,5 %	216,3	267,7
1%	2,3 %	220,7	-
1%	3,0 %	265,8	244,7
1%	3,8 %	237,9	260,3

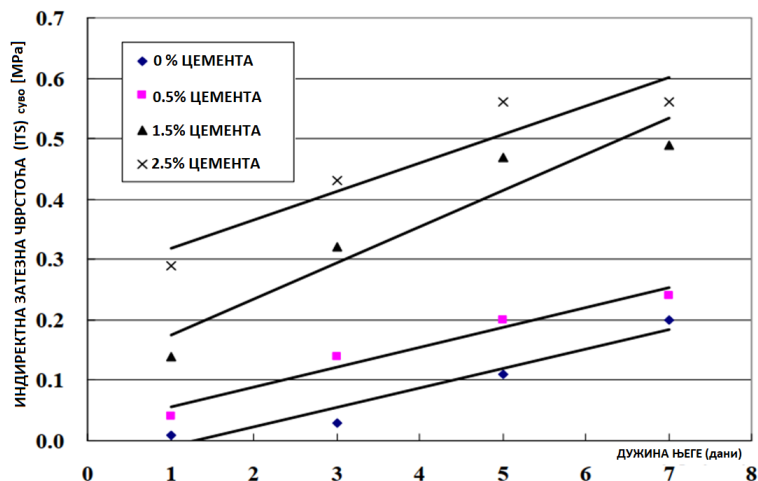


Сл. 39. Индиректна затезна чврстоћа у односу на садржај битуменске емулзије [81]

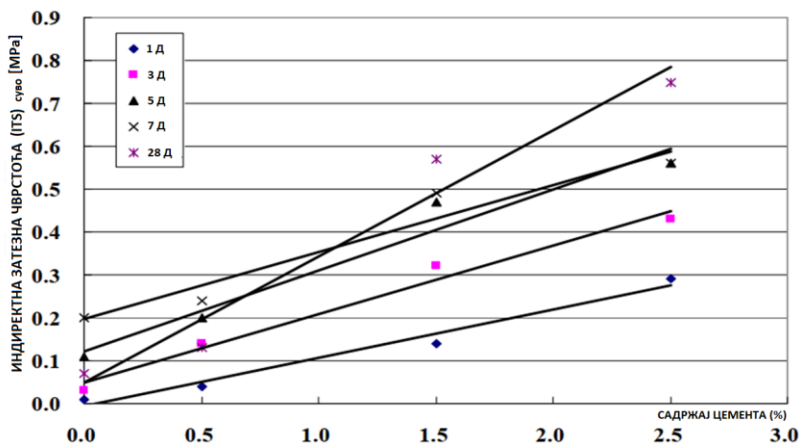
Jian Xu, Songchang Huang, Yongchun Qin и Feng Li [83] су испитивали утицај садржаја процента цемента и битуменске емулзије на вриједности индиректне затезне чврстоће (у сувом и у мокром стању, отпорности на колотраге (на 60°C) и на вриједности BBR (Bending Beam Rheometer) теста (-10°C). Вриједности индиректне затезне чврстоће су расле са повећањем садржаја цемента и са дужином његовања узорака. Повећање садржаја цемента је довело и до боље отпорности на влажност. Узорци са садржајем цемента мањим од 0,5% су имали мању отпорност на влагу. Садржај цемента је много више утицао на вриједности ИЗЧ (ITS) мокрих узорака него на ИЗЧ (ITS) код сувих узорака (Сл. 40; Сл. 41; Сл. 42; Сл. 43). Узорци са 1,5% цемента су имали већу отпорност на колотраге него узорци са 0% , 0,5% и 2,5% цемента. Према овим ауторима проценат цемента од 1,5% је и оптимални садржај цемента за хладно рециклиране мјешавине.

Таб. 41. Утицај садржаја емулзије на ИЗЧ (ITS) суво и ИЗЧ (ITS) мокро [83]

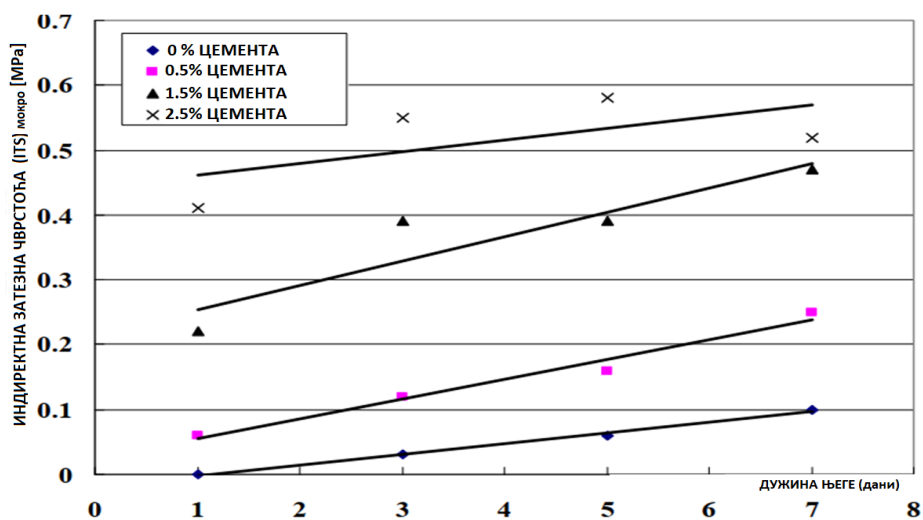
Садржај емулзије	2%	2,2%	2,5%	3%
ITS суво, МПа	0,61	0,76	0,72	0,71
ITS мокро, МПа	0,53	0,73	0,69	0,67
ITS мокро/ITS суво, %	86,9	96,1	95,8	94,4



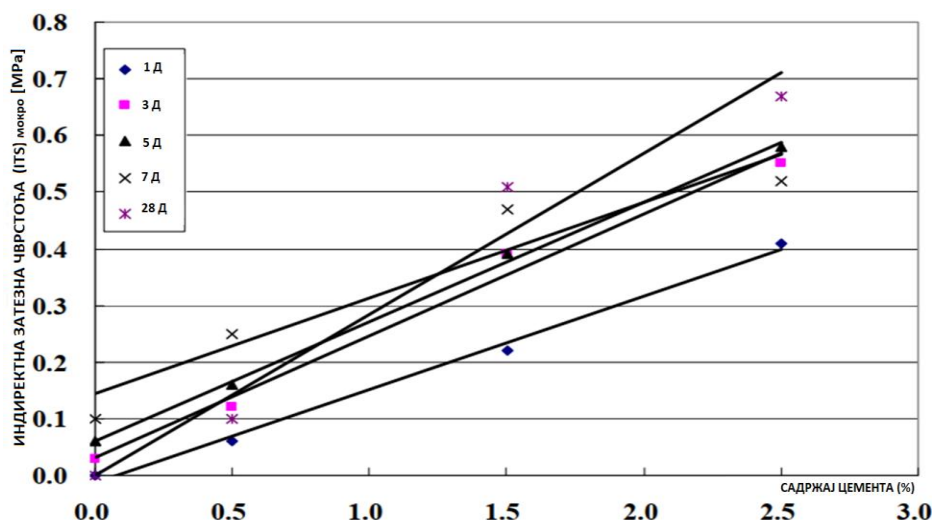
Сл. 40. Резултати ИЗЧ (ITS) суво у зависности од процента цемента и дужине његовања [83]



Сл. 41. Приказ постигнутих вриједности ИЗЧ (ITS) суво у односу на садржај цемента [83]



Сл. 42. Приказ резултата ИЗЧ (ITS) мокро у односу на садржај цемента [83]



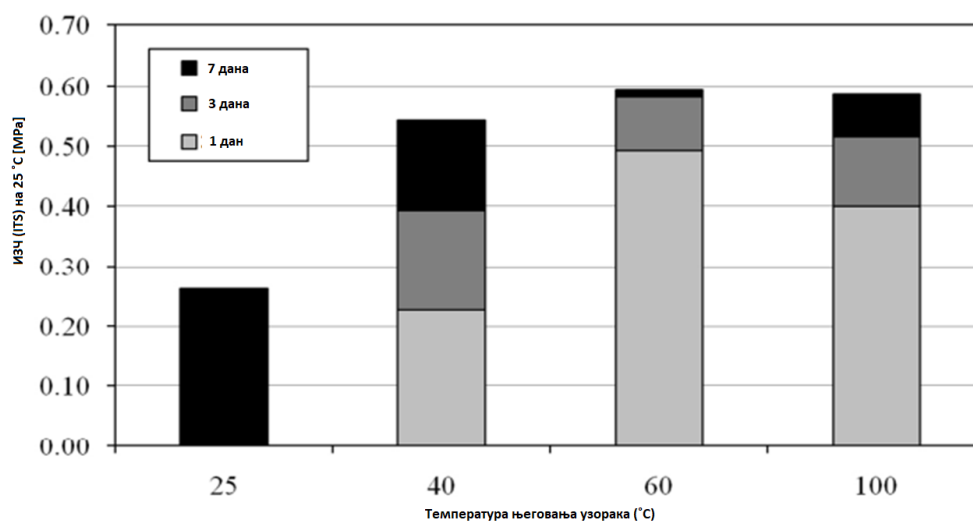
Сл. 43. Приказ зависности ИЗЧ (ITS) мокро од садржаја цемента и дужине његовања [83]

Wenlong Dong и Stephane Charmot [84] су испитивали утицај битуменске емулзије и цемента на карактеристике мјешавине. Рециклирани асфалт је био са територије Кине. Пролаз кроз сито 31,5 mm је био 100%. Направили су укупно 12 мјешавина. Садржај битуменске емулзије је био 2,5%, 3,5% и 4,5%. Поред три основне мјешавине без цемента правили су мјешавине гдје су свакој мјешавини са наведеним садржајем емулзије додавали по 0,75%, 1,5% и 2,25% цемента. Они су у раду увели појам СТИ (Cracking test index) који је функција мјешовитог дејства садржаја битуменске емулзије и цемента и показује отпорност на појаву пукотина. Повећањем садржаја емулзије и смањењем садржаја цемента долази до повећања отпорности на појаву пукотина.

Таб. 42. Индиректна затезна чврстоћа испитиваних мјешавина [84]

Садржај емулзије (%)	Садржај цемента (%)	Садржај шупљина		Индиректна затезна чврстоћа		СТИ	
		Просјек	Коефицијент варијације	Просјек (МПа)	COV (%)	Просјек (МПа)	COV (%)
2,5	0	10,0	7,4	0,39	7,4	142,0	31,7
	0,75	10,0	4,9	0,40	8,5	108,	13,7
	1,5	10,0	5,4	0,45	13,3	82,6	12,5
	2,25	9,9	4,9	0,39	20,9	57,5	41,1
3,5	0	9,3	6,0	0,54	15,5	291,3	43,3
	0,75	9,2	1,9	0,53	5,8	180,9	25,8
	1,5	9,0	4,2	0,51	15,1	113,7	34,9
	2,25	9,4	7,2	0,55	20,6	111,0	19,6
4,5	0	8,0	10,2	0,57	4,8	409,8	18,8
	0,75	9,1	7,3	0,60	8,9	209,4	33,1
	1,5	8,8	2,6	0,59	6,0	182,6	19,3
	2,25	8,5	3,9	0,60	7,5	118,0	7,5

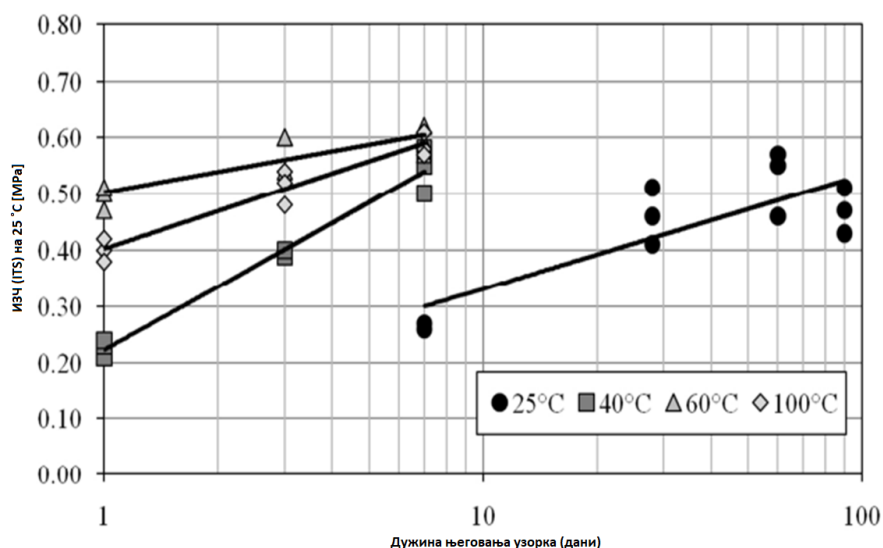
У истраживањима у Бразилу [85] аутори су варирали садржај емулзије (2,3,4) и цемента (0,1,2) и воде. Такође су експериментисали и са брзином његе при чему су узорке његовали по стандардном (25 °C) и по убрзаном поступку (40 °C, 60 °C и 100 °C). Испитивањем по стандардном његовању су утврдили да је оптимални садржај течности (флуида) 6,2% за мјешавине са 2% битуменске емулзије, 5,8% за мјешавине са 3% битуменске емулзије и 5,3% за мјешавине са 4% битуменске емулзије. Мјерили су UCS, Mr, ITS (UCS-Једноаксијална притисна чврстоћа; Mr-Резилијентни модул; ITS-Индиректна затезна чврстоћа). Његовали су узорке на 25°C и у периоду од 7, 28, 60, 90 дана [85]. Вриједност резилијентног модула је већа на узорцима његованим 28 дана у односу узорке који су његовани 7 дана. Након 28 дана није примјећено значајније увећање резилијентног модула. Вриједности индиректне затезне чврстоће су расле до 60 дана. Након 60 дана вриједности су почеле да опадају, али веома мало (Сл. 44). И за вриједности ЈПЧ-УЦС је примјећено да су расле до 60 дана, а онда су практично остале константне до 90 дана. Повећање ЈПЧ- УЦС током дужег периода његовања су добили и аутори из Малезије [59]. Испитивали су мјешавине са садржајем цемента од 0% до 6% цемента, а садржај емулзије је био у распону од 0% до 6%. Периоди његована узорака су били 7, 28 и 60 дана. Мјешавине са цемента и битуменском емулзијом су имале значајно веће вриједности ИЗЧ И ЈПЧ од мјешавина са самом битуменском емулзијом, а веће вриједности ИЗЧ и ЈПЧ су имале и у односу на мјешавине само са цемента.



Сл. 44. Индиректна затезна чврстоћа при стандардном и убрзаном његовању [85]

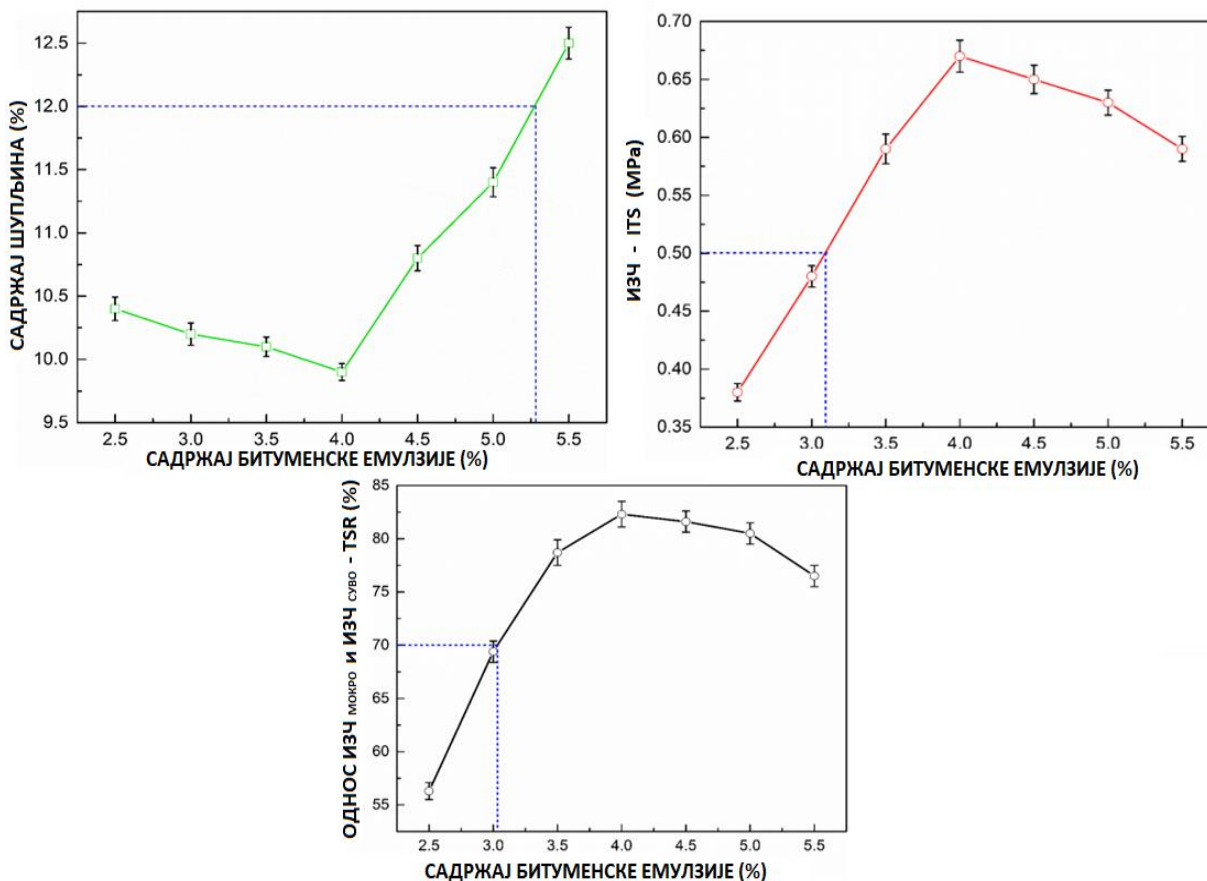
У убрзаном поступку су узорке његовали на 40 °C, 60 °C и 100 °C, а период његе је трајао 1, 3 и 7 дана. Након убрзане његе узорци су минимално 5 сати његовани на 25 °C. У убрзаном поступку мјерена је само индиректна затезна чврстоћа. Добијени резултати су показали да је повећање температуре његовања довело до већих вриједности индиректне затезне чврстоће много прије него у стандардном поступку његе. Вриједности

ИЗЧ (ITS) након једног дана на 40 °C су приближни онима који су остварени након 7 дана њега на 25 °C. Резултати на 60 °C су већи од оних на 40°C, али резултати на 100 °C нису већи од оних на 60 °C, што се може приписати томе да на вишим температурама вода брже испари и цемент не веже онолико колико веже на нижим температурама. За узорке који су његовани 7 дана за све три температуре њега резултати ИЗЧ (ITS) су били приближно исти.



Сл. 45. Индикативна затезна чврстоћа за све периоде и начине његовања [85]

Yanan Li и други аутори су [86] користили цемент у садржају од 0,5%, 1%, 1,5% и 2%, док су употребљавали битуменску емулзију у процентима од 2,5% до 5,5%. У експерименту су прво утврђивали оптимални садржај воде (5,8%) на основу запреминске масе узорака. Затим су испитивали оптимални садржај емулзије (4,0%) на основу Маршаловог теста, при чему су узорци имали оптимални садржај воде. Од параметара испитивали су ITS, отпорност на воду (TSR-Tensile Strenght Ratio), динамички модул и отпорност на деформације. Узорци су његовани на 60 °C у трајању од 21 дан.

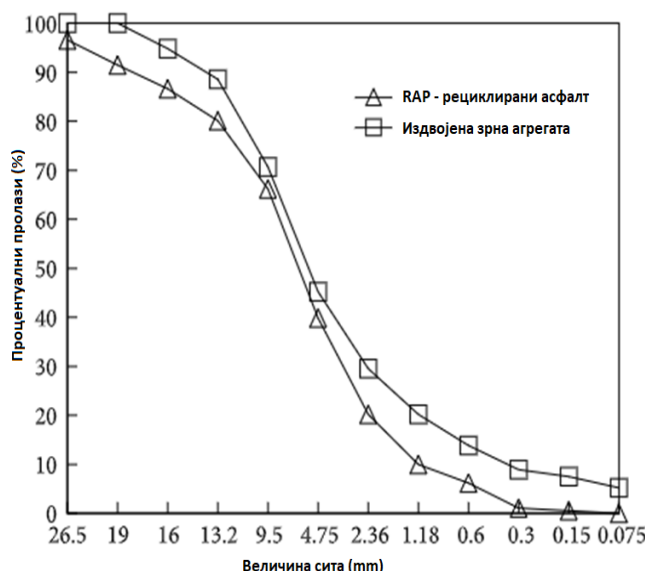


Сл. 46. Садржај шупљина, индиректна затезна чврстоћа и TCP (TSR) за различите садржаје битумена [86]

Ма Тао и други су истраживали [87] утицај садржаја цемента и битуменске емулзије на затезну чврстоћу, а поред тога су обрађали пажњу и на врсту агрегата. Величина агрегата у рециклираном асфалту зависи од тога да ли су зрна рециклираног асфалта издвојена као посебна или су остала везана остарјелим битуменом (нарочито ситније честице које се лакше залијепе и слијепе). Сл. 47 приказује разлику између рециклираног асфалта и агрегата издвојеног из рециклираног асфалта. Највеће зрно код рециклираног асфалта је било 26 mm, док је код издвојеног агрегата највеће зрно било 19 mm. Код издвојеног агрегата примјетно је веће учешће ситнијих фракција.

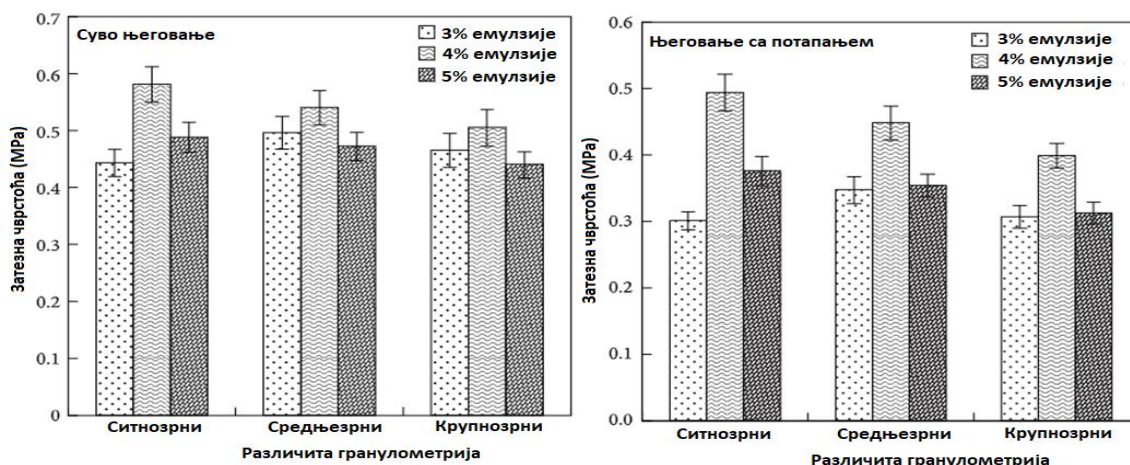
Поменути аутори су користили три врсте минералне мјешавине за испитивања: ситнозрну, средњезрну и крупнозрну. Први дио експеримента је имао за циљ да утврди како садржај рециклираног асфалта утиче на чврстоће добијене тестом цијепања. Садржај рециклираног асфалта (који је комбинован са цементним малтером) је био 0%, 10%, 20%, 30%, 40% и 50%. Као што је и очекивано, из резултата се могло закључити да повећање садржаја рециклираног асфалта смањује затезну чврстоћу. За његу узорака постоје два начина. Први начин је његовање у ваздушном купатилу на 15°C 6 сати или у воденом

купатилу 2 сата прије испитивања. Други начин укључује његовање потапањем у воденом купатилу на 25°C 22 сата и још 2 сата на 15° C прије испитивања.



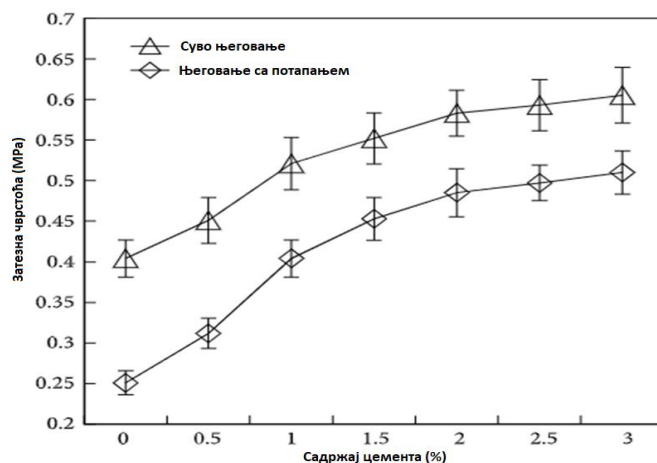
Сл. 47. Упоредни приказ гранулометријског састава рециклираног асфалта и издвојеног агрегата [87]

Други дио испитивања је имао за циљ да покаже утицај садржаја битуменске емулзије и типа битуменске емулзије (високо-вискозна са спорим распадом, нормалну емулзију са спорим временом распада и емулзију са средњим временом распада) на затезну чврстоћу. Садржај емулзије је био 3%, 4% и 5%, а садржај цемента 1,5% (садржај воде је био 5,8%, 5,4% и 5,0%). Са Сл. 48 је видљиво да затезна чврстоћа прво расте па онда опада за све три гранулације и за оба начина његовања. Највеће вриједности затезне чврстоће су забиљежене са садржајем емулзије од 4%. Што се тиче типа емулзије, резултати су показали да тип емулзије не утиче на чврстоће са дужим периодом његовања, али утиче на чврстоће код краће његованих узорака. Емулзије са средњим временом распадања имају много већи губитак влажности него емулзије са дужим временом распада. То представља проблем, јер повећан губитак влажности може успорити хидратацију цемента.



Сл. 48. Затезне чврстоће у зависности од садржаја емулзије и гранулације [87]

Трећи дио запажања се односио на утицај количине цемента. Сви узорци су справљани са 4% емулзије, док је садржај цемента износио 1%, 1,5%, 2 %, 2,5% и 3%, а садржај воде је био 5,2%, 5,4%, 5,4%, 5,6%, 5,7%. Повећањем садржаја цемента долази до повећања затезних чврстоћа и код сувих узорака и код узорака његованих потапањем. Значајан раст чврстоћа је изражен до 1,5% цемента, а послје је мање изражен.



Сл. 49. Утицај садржаја цемента на затезне чврстоће [87]

Софтић је са групом аутора [88] у оквиру испитивања варирао садржај цемента и битуменске емулзије. Испитивали су ИЗЧ на сувим узорцима и водом засићеним узорцима. Узорке су након справљања држали у сушници на 60 °C у трајању од 72 сата. Затим су узорке држали у влажној комори. Узорци којима је испитивана ИЗЧ у сувом стању су испитивани након 7 дана, док су узорци којима је испитивана ИЗЧ у мокром стању, након тих седам дана потопљени у воду још седам дана при температури 20±2°C.

Таб. 43. Мјешавине које су испитивали и резултати испитивања [88]

Процент цемента (%)	Процент битумена (%)	Просјечна запреминска маса	ИЗЧ		
			Суви узорци (МПа)	Мокри узорци (МПа)	Однос ИЗЧ мокро/суво (%)
0,0%	0,5%	2136	0,158	0,075	47,0
	1,0%	2128	0,166	0,067	40,5
	1,5%	2130	0,169	0,079	46,7
	2,0%	2137	0,164	0,091	55,3
	2,5%	2108	0,163	0,089	55,0
1,0%	0,5%	2157	0,293	0,235	80,2
	1,0%	2146	0,313	0,269	85,9
	1,5%	2147	0,327	0,290	88,7
	2,0%	2132	0,289	0,276	95,5
	2,5%	2125	0,322	0,295	91,5
1,5%	0,6%	2156	0,364	0,321	88,1
	1,1%	2134	0,387	0,339	87,6
	1,6%	2147	0,396	0,336	84,9
	2,1%	2161	0,395	0,364	92,1
	2,6%	2128	0,390	0,362	92,8
2,0%	0,7%	2158	0,320	0,340	106,5
	1,2%	2167	0,345	0,409	118,3
	1,7%	2158	0,381	0,457	120,2
	2,2%	2148	0,380	0,457	120,4
	2,7%	2144	0,416	0,446	107,3

Највећа ИЗЧ је добијена испитивањем мјешавине са 2% цемента и 1,7% битумена, док су приближно исте вриједности добијене за мјешавину са 2% цемента и 2,2% битумена. За другу поменућу мјешавину је добијен највећи однос ИЗЧ у мокром и сувом стању. Максимални однос је 120,4% што је за више од 50% од дозвољених 80%. Најмање вриједности свих испитиваних параметара су добијене за мјешавине са 0% цемента. Практично, такве мјешавине су мјешавине са битуменском емулзијом и требало би бити опрезан приликом поређења резултата са резултатима мјешавина са цементом и битуменском емулзијом о чему су Узелац и други напомињали у српским упутствима за хладну рециклажу. Уопштено, из испитивања која су приказана у Таб. 43 може се закључити да са порастом садржаја цемента расту и вриједности ИЗЧ.

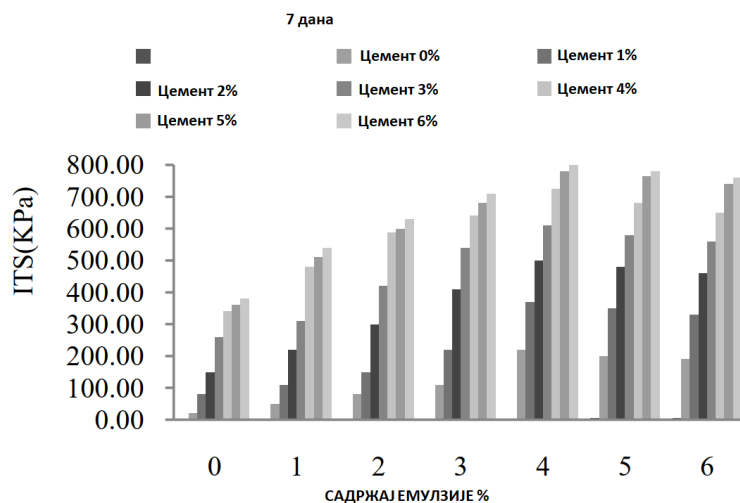
Vaghini [89] је са групом аутора испитивао индиректне затезне чврстоће послије 7 и 28 дана на узорцима који су направљени са садржајима цемента и битуменске емулзије у

распону од 0% до 6%. Гранулометријски састав материјала који су стабилизовали је приказан у Таб. 44. Садржај воде који је додаван свим мјешавинама је 3,9%.

Таб. 44. Пролази кроз сита материјала који је стабилизован [89]

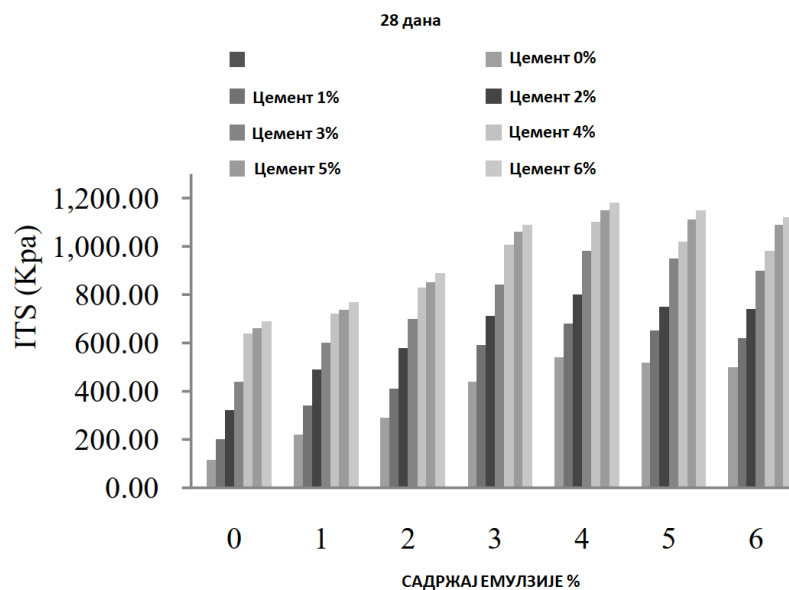
Величина сита (mm)	Пролаз кроз сито(%)
38	98
25	92
12,5	74
4,75	52
0,425	23
0,075	6

Највеће вриједности ИЗЧ након 7 дана су добијене за мјешавине са 4% емулзије. Вриједности ИЗЧ се повећавају до садржаја са 4%, а затим опадају са повећањем садржаја битуменске емулзије Сл. 50.



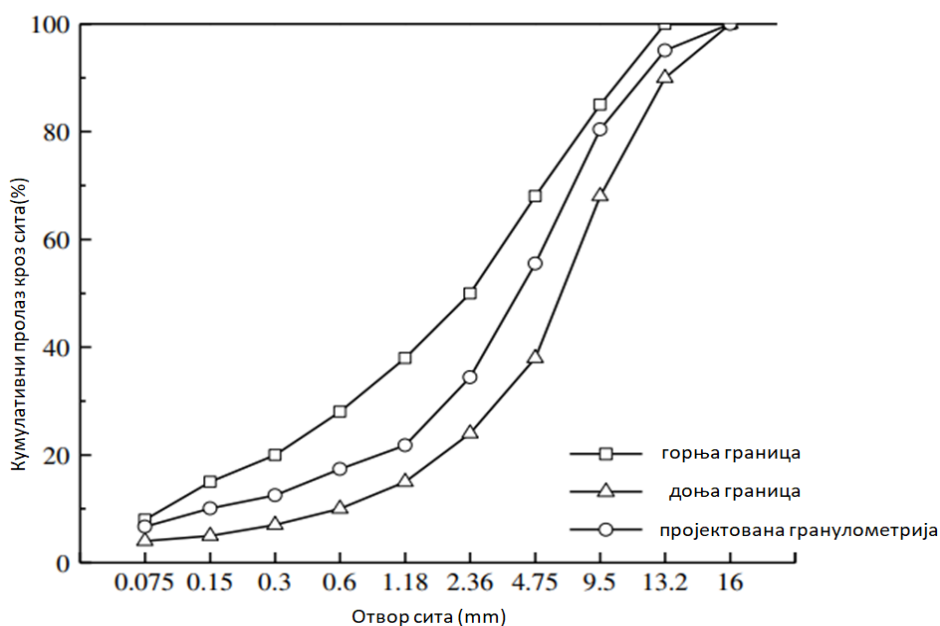
Сл. 50. ИЗЧ за различите садржаје цемента (након 7 дана)[89]

ИЗЧ након 28 дана има исти тренд као и ИЗЧ после 7 дана. ИЗЧ расте до 4% битуменске емулзије, за све мјешавине са различитим садржајем цемента, а затим опада са даљим повећањем садржаја битуменске емулзије.

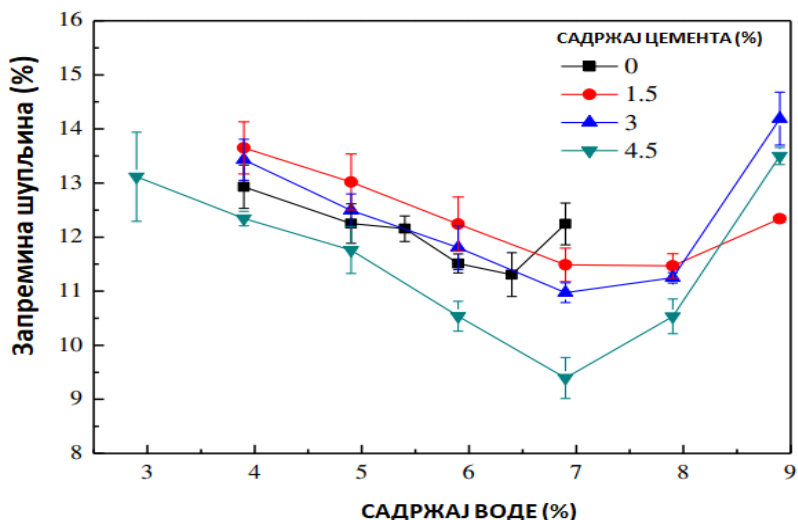


Сл. 51. ИЗЧ за различите садржаје цемента (након 28 дана)[89]

Утицај садржаја воде у мјешавинама на садржај шупљина, на ИЗЧ, напон при лому и на модул крутости је испитивао Jian Ouyang са групом аутора [90, 91]. У мјешавинама су користили обични портланд цемент (четири различита садржаја – 0%; 1,5%; 3%; 4,5%) са битуменском емулзијом (у свим мјешавинама је садржај 5%). Гранулометријска крива агрегата који је коришћен је приказана на Сл. 52. Минимална запремина шупљина је била између 6% и 7% за све мјешавине (Сл. 53).

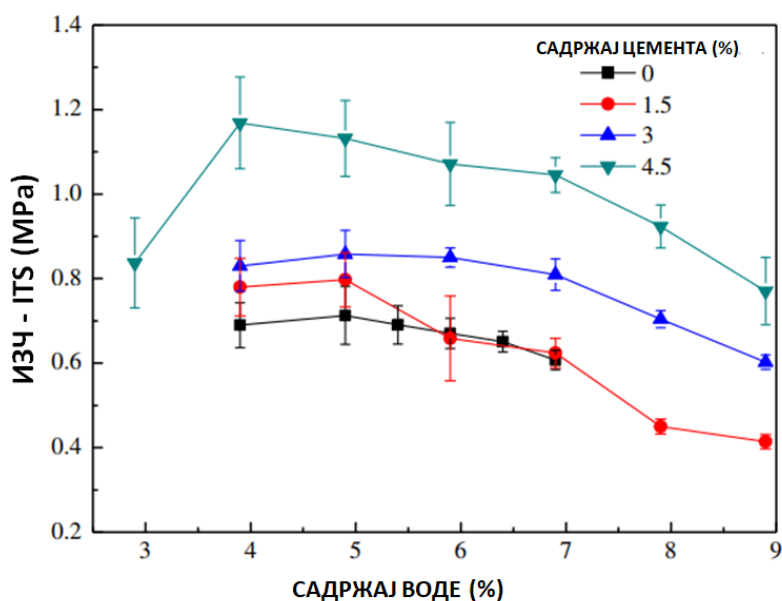


Сл. 52. Гранулометријски састав агрегата који је коришћен [90]



Сл. 53. Утицај садржаја воде и цемента на запремину шупљина [90]

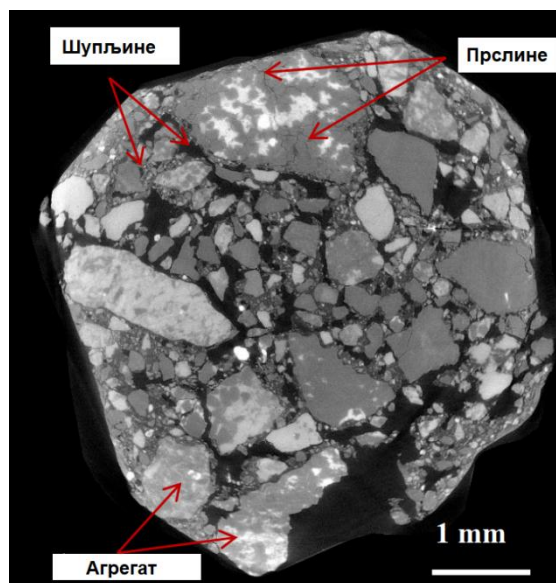
Што се тиче вриједности ИЗЧ врло важно запажање је да, за мјешавине са различитим садржајем цемента, максималне вриједности ИЗЧ нису добијене за садржаје воде за које је добијена минимална запремина шупљина (Сл. 54). Садржај воде при којима је добијена максимална ИЗЧ је далеко мањи, за мјешавине са све садржаје цемента, него садржај воде при минималним запреминама шупљина. Слично су закључили још неки аутори [92]. Примјетно је да ИЗЧ прво расте, а затим опада са даљим повећањем садржаја воде. Како и у другим истраживањима видљиво је да ИЗЧ расте са повећањем садржаја цемента [93, 94, 95, 96, 97, 98].



Сл. 54. Утицај садржаја цемента и воде на ИЗЧ [90]

Pi је [99], са још четири аутора у Кини, спровео серије експеримената да би анализирао утицај гранулометрије, врсте емулзије, количине воде и садржаја цемента на мјешавине по хладном поступку. Оно што издваја ово истраживање, укључујући и нека ранија истраживања, је што су под микроскопом посматрали малтер добијен од цемента и битуменске емулзије [100, 56]. Закључци истраживања су да продукти хидратације цемента повећавају површину контакта између малтера (од цемента и емулзије) и агрегата, јер површина малтера постаје неравна. Аутори су нагласили важност контролисања количина свих материјала, јер би веће повећање количине емулзије могло да ослаби везивна својства цемента. Повећање раних чврстоћа хладних мјешавина, које су мале [101], се може постићи употребом активатора емулзије или других додатака емулзији као и бољих врста емулзије [102].

Слично је закључио и Fang [103, 104] у својим истраживањима. Он је проучавао садржај шупљина и појаву прслина (Сл. 55) у хладно рециклираним мјешавинама и вршио њихово поређење са мјешавинама по топлим и врућем поступку. Fang наглашава да је садржај шупљина у хладним мјешавинама већи него код мјешавина по врућем поступку, а главни проблем мјешавина по хладном поступку је хомогеност и чврстоћа. Проблем се може рјешити додавањем различитих агенаса емулзији, како би се побољшало мјешање емулзије, или додавањем активатора.



Сл. 55. Микроструктура хладно рециклираних мјешавина [104]

Параметре и микроструктуру хладних рециклажа и утицаја садржаја цемента на њих је истраживао Yang са још два аутора [105]. На основу истраживања су закључили да стабилност мјешавина, на високим температурама, значајно расте са растом садржаја цемента од 0% до 3%. Отпорност на појаву пукотина при ниским температурама расте са

садржајем цемента од 0% до 1,5%, док даље повећање смањује отпорност на пукотине. Према резултатима истраживања и на основу микроструктуре оптимални садржај цемента је између 1% и 2%.

Chen је у свом истраживању [106] дошао до закључка да је важан редослијед мјешања компоненти. Као најбољу варијанту он предлаже мјешање цемента и емулзија, а затим додавање агрегата, а варијанту гдје се мјешају сви састојци заједно или прво да се помјешавју вода, агрегат и цемент овај аутор не препоручује.

На основу прегледане доступне литературе може се закључити да су истраживања веома хетерогена. У доступним истраживањима мјешавине по поступку хладне рециклаже су справљане са битуменском емулзијом и цементом. Поједини аутори су испитивали мјешавине само са цементом или само са емулзијом. Као што је наведено у правилницима мора се обратити пажња код таквих мјешавина јер су оне специфичне у односу на мјешавине у којима се комбинују цемент и битуменска емулзија. У већини истраживања садржај цемента је био мањи од 2% мада је у неким истраживањима садржај цемента био и 6%. Садржај битуменске емулзије у истраживањима је био између 2% и 5% са малим бројем истраживања гдје је садржај емулзије био већи од 5%.

Закључци из доступних истраживања омогућили су дефинисање састава мјешавина у сопственом експерименталном истраживању у смислу садржаја цемента и садржаја битуменске емулзије. За мјешавине које су испитиване одабран је садржај цемента од 2% док је садржај битуменске емулзије износи 2%, 3% и 4% при чему је највише мјешавина направљено са 2 % битуменске емулзије. Због цијене битуменске емулзије тежило се да се садржај битуменске емулзије смањи што је више могуће. Како су отпадни и рециклирани материјали коришћени у другим врстама рециклажа и асфалтних мјешавина, у оквиру сопствених експерименталних истраживања тежило се да се испита могућност њихове употреба у поступку хладне рециклаже коловозних конструкција.

Основно својство које је испитивано је индиректна затезна чврстоћа као на основу којег је оцјењен квалитет мјешавине. Индиректна затезна чврстоћа је мјерена након 7 и 28 дана за суве узорке и 28 дана на мокрим узорцима. Поред индиректне затезне чврстоће у појединим истраживањима је испитиван динамички модул еластичности. Примјећено је да у истраживањима није испитивана отпорност мјешавина на дејство мраза и то се сматра као недостатак досадашњих истраживања јер су коловозне конструкције један дио вијека изложене дејству мраза.

5.2.1. ЊЕГОВАЊЕ УЗОРАКА

Приликом прегледа литературе дошло се до закључка да су начини његовања узорака, прије испитивања, различити.

У оквиру пројекта CoRePaSol (Characterization of Advanced Cold-Recycled Bitumen Stabilized Pavement Solutions) [20] циљ је био да се препоруче и усвоје јединствене хармонизоване процедуре пројектовања хладно рециклираних мјешавина стабилизованих са битуменом. Направљена је и компаративна анализа начина његовања у појединим земљама Европе и у појединим земљама свијета.

Чешка Република[107]:

1. За мјешавине само са хидрауличним везивом – 90% до 100% релативне влажности на $20\pm 2^{\circ}\text{C}$
2. За мјешавине са битуменом и цементом – 90% до 100% релативне влажности на $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ два дана, а затим на релативној влажности од 40% до 70% на $20\pm 2^{\circ}\text{C}$
3. За мјешавине само са битуменском емулзијом или пјенастим битуменом – његовање на $20\pm 2^{\circ}\text{C}$

Њемачка:

- 2 дана на 95% релативне влажности на 20°C (у калупу), а затим 26 дана на 20°C (његовање на собним температурама)

Република Ирска и Уједињено Краљевство

- За мјешавине са емулзијом – 28 дана на 40°C у запечаћеним врећама, како би се постигла влажност од 90% до 100%

Португал и Шпанија:

- За мјешавине са емулзијом – 3 дана на 50°C [108]

Француска:

- његовање на константној температури од 18°C у условима релативне влажности од 40% до 70% до испитивања

Аустралија:

- 3 дана на 40°C , а затим на температури $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ [109]

Јужна Африка:

- Један дан на 25°C (незапечаћени), па затим два дана на 40°C (запечаћени), а након тога се узорци (незапечаћени) његују на $20\pm 2^{\circ}\text{C}$

Начини његовања, који су наведени, су видно различити. Истраживачи у пројекту су навели да је то због историјских разлога, а и због географских локација земаља као и због

садржаја цемента. Главна замјерка је да су периоди његовања исувише дуги из практичних разлога (контрола извођења рециклаже на лицу мјеста).

Током трајања пројекта испитивања су изведена у лабораторијама у Чешкој, Њемачкој и Португалу. У испитивањима у Чешкој је испитивано 8 различитих мјешавина са различитим садржајима цемента, емулзије и пјенастог битумена, као и са двије различите врсте рециклираног агрегата (Таб. 45). Узроци су његовани по методама који се примјењују у Чешкој Републици, Уједињеном Краљевству, Ирској, Француској, Аустралији, Јужној Африци и Португалу.

Таб. 45. Састав мјешавина који су испитиване различитим режимима његовања [20]

Мјешавина	Рециклирани агрегат (РАП)		Стабилизујеће везиво			Садржај воде
	Врста	садржај	Цемент	Битуменска емулзија	Пјенасти битумен	
А	РАП 0/22 mm	91,0%	3,0%	3,5%		2,5%
Б	РАП 0/22 mm	90,5%	3,0%		4,5%	2,0%
Ц	РАП 0/22 mm	94%		3,5%		2,5%
Д	РАП 0/22 mm	93,5%			4,5%	2,0%
Е	РАП 0/11 mm	91,0%	3,0%	3,5%		2,5%
Ф	РАП 0/11 mm	90,5%	3,0%		4,5%	2,0%
Г	РАП 0/11 mm	94%		3,5%		2,5%
Х	РАП 0/11 mm	93,5%			4,5%	2,0%

Параметри које су мјерили су били садржај шупљина, ИЗЧ и модул крутости. Један примјер поређења резултата дат је у Таб. 46.

Таб. 46. Поређење ИЗЧ након 7 и 14 дана (мјешавине А и Ц по различитим начинима његовања)[20]

Начин његовања узорак	Мјешавина А		Мјешавина Ц		ИЗЧ поређење мјешавине А и мјешавине Ц [%]	
	ИЗЧ - ITS [МПа]		ИЗЧ - ITS [МПа]			
	7 дана	14 дана	7 дана	14 дана	7 дана	14 дана
Чешка Република	0,67	0,87	0,35	0,47	93,1	85,5
УК и Ирска	0,83	1,00	0,16	0,56	404,9	79,4
Француска	0,84	0,65	0,44	0,51	91,5	28,6
Аустралија	0,85	0,87	0,63	0,68	34,9	27,3
Јужна Африка	0,9	0,83	0,45	0,54	100,7	52,2
Португал	0,86	0,85	0,82	0,88	4,4	-3,5

Аутори су препоручили јединствен начин његовања и јединствену процедуру испитивања у Европи како би се убрзало његовање. Препоруке су следеће:

1. За његовање мјешавина са битуменским емулзијама или пјенастим битуменом, без цемента или малим количинама цемента (мање од 1% цемента) препоруке су:
 - 4 дана укупно: 24 сата чекања за вађење из калупа + 3 дана на 50 °C
 - 7 дана укупно: 24 сата чекања за вађење из калупа + 6 дана на собној температури са релативном влажношћу од 40% до 70%
 - 14 дана укупно: 24 сата чекања за вађење из калупа + 13 дана на собној температури са релативном влажношћу од 40% до 70%
2. За његовање мјешавина са битуменским емулзијама или пјенастим битуменом, са цемента (више од 1% цемента) препоруке су:
 - 7 дана укупно: 24 сата чекања за вађење из калупа + 6 дана на собној температури са релативном влажношћу од 40% до 70% (незапечаћени узорци) и провјерити да ли је $ИЗЧ_7 > (0,3 - 0,5) \text{ МПа}$ и $ИЗЧ_7 \leq 0,75 \text{ МПа}$
 - 7 дана укупно: 24 сата чекања за вађење из калупа + 6 дана на собној температури са релативном влажношћу од 100% (запечаћени узорци како би се постигла влажност између 90% и 100%) и провјерити да ли је $ИЗЧ_7 > (0,3 - 0,5) \text{ МПа}$ и $ИЗЧ_7 \leq 0,75 \text{ МПа}$
 - 14 дана укупно: 24 сата чекања за вађење из калупа + 13 дана на собној температури са релативном влажношћу од 40% до 70% (незапечаћени узорци)
 - 14 дана укупно: 24 сата чекања за вађење из калупа + 13 дана на собној температури са релативном влажношћу од 100% (запечаћени узорци)
 - 28 дана укупно: 24 сата чекања за вађење из калупа + 27 дана на собној температури са релативном влажношћу од 40% до 70% (незапечаћени узорци) и провјерити да ли је $ИЗЧ_{28} > 0,75 \text{ МПа}$
 - 28 дана укупно: 24 сата чекања за вађење из калупа + 27 дана на собној температури са релативном влажношћу 100% (запечаћени узорци) и провјерити да ли је $ИЗЧ_{28} > 0,75 \text{ МПа}$

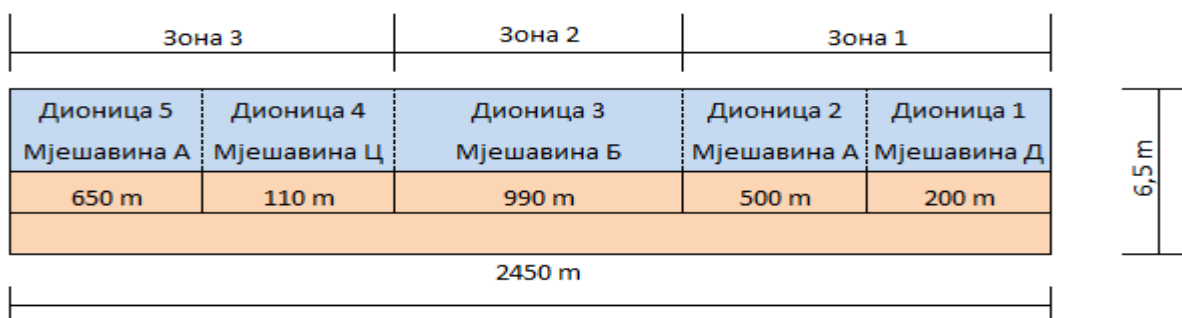
Поред истраживања у оквиру пројекта CoRePaSol поједине групе аутора су вршиле испитивања на различитим температурама (Таб. 47).

Таб. 47. Начини његовања узорака у досадашњим испитивањима [85]

Држава	Аутор	Метода његе
Шпанија	Recanes и други (2002)	Неколико периода његовања како би добили различите ефекте
Јужна Африка	Aphalt	25°C у трајању од 24 сата (незапечаћени узорци) + 40°C у

	Academy (2002)	трајању 48 сати (запечаћени узорци у кеси)
САД	Sebally и други (2004)	Почетно његовање на 25°C 15 сати+ његовање на собној температури 3 сата након уклањања калупа Завршна њега на 60°C 3 дана након уклањања калупа + његовање на собној температури 3 дана Дуготрајна њега на 60°C 30 дана
Њемачка	Wirtgen GmbH (2006)	60°C 24 сата (незапечаћени узорци) + 40°C у трајању 48 сати (запечаћени узорци у кеси)
Бразил	David (2006)	60°C 24 сата+ његовање на собној температури прије уклањања калупа
Шпанија	Martinez и други (2007)	60°C 3 дана
Иран	Niazi е Jalili (2009)	60°C 24 сата + његовање на собној температури прије уклањања калупа 24 сата+ његовање на собној температури 5 дана (послије уклањања калупа)
Уједињено Краљевство	Thanaya и други (2009)	40°C у трајању од 18 до 21 сат или његовање на температури 25°C у трајању од 24 сата+ његовање на собној температури од 1 до 24 седмице
САД	Fu и други (2009)	40°C у трајању од 3 дана
Аустралија	Austrorads (2011)	60°C у трајању од 3 дана
Египат	Behiry (2012)	Без њега (употребљавао је цемент и креч, а не и битуменску емулзију)
САД	Attoh- Okine (2012)	Собна температура у трајању 24 сата
САД	Lee и други (2016)	Његовање на 25°C у трајању од 24 сата + њега на 60°C у трајању од 6 сати

Табаковић је са групом аутора [110] вршио испитивања која су дјелимично наставак истраживања у оквиру CoRePaSol пројекта. На дионици дужине око 2500 метара (Сл. 56), која је подијељена на 5 поддионца, примјенили су четири различите мјешавине. Резултати испитивања су приказани у Таб. 48.



Сл. 56. Подјела дионице на поддионице и примјењене мјешавине [110]

Таб. 48. Састав мјешавина и добијени резултати [110]

Зона број	Поддионица	Мјешавина	Састав	Начин његовања	ИЗЧ -модул		ИЗЧ -суво	
					Узорак од мјешавине са лица мјеста [МПа]	Однос вриједности лабораторијске мјешавине (%)	Узорак од мјешавине са лица мјеста [МПа]	Однос вриједности лабораторијске мјешавине (%)
1	1	Д	Емулзија + 1,5% цемента	14 дана, 20°C	2283	65	0,37	90
	2	А	Емулзија + 1,0% цемента	28 дана, 40°C	2959	99	0,43	100
2	3	Б	Пјенушави битумен+ 1% цемента	28 дана, 40°C	4409	88	0,48	87
3	4	Ц	Емулзија без цемента	3 дана, 50°C	1128	50	0,32	91
	5	А	Емулзија + 1,0% цемента	28 дана, 40°C	4495	190	0,68	158

Nassar је са још два аутора испитивао утицај [111, 112] начина његовања мјешавина на различитим температурама и при различитим влажностима. Основни материјал им је био дробљени камен (кречњак) за који је оптимални садржај емулзије 6,75% док је цемент додаван у различитим процентима (0%, 1%, 3%, 5%). Различите температуре су имале за циљ симулирање различитих услова. Узроке су његовали на 5 °C, 20 °C и 40 °C и са ниском и високом релативном влажношћу (испод 50% и више од 85%). Његовање узорака на 5 °C требало је да симулира ниске температуре зими. Његовање узорака на 20 °C требало је да симулира дејство просјечне температуре, док је његовање узорака на 40 °C требало да симулира дејство високе температуре. Испитивања су показала да су узорци који су његовани на 20 °C имали највећи модул крутости (након 28 дана) за садржаје цемента 1%, 3% и 5%. Претпоставља се да је температура од 5 °C узроковала спорију хидратацију, па су зато мање вриједности модула крутости, док су веће температуре довеле до бржег испаравања воде. Испитивања хладно рециклираних мјешавина и њихову осјетљивост на температуру његовања су испитивали и поједини аутори [113, 114, 115] чија истраживања су послужила као основа овом истраживању.

Што се тиче начина његовања узорака у доступним истраживањима закључено је да су начини његовања различити и да нема стандардних услова за његовање узорака. У већини експеримената температура његовања узорака је била 20°C. Поједини аутори су покушавали да симулирају убрзано очвршћавање тако што су узорке његовали на већим

температурама (40 °C или 60 °C). Главни разлог зашто се тежило убрзаном очврћавању јесте да би се скратио период испитивања мјешавине и како би се што прије пустио саобраћај преко коловозне конструкције. Да би се симулирало дејство ниских температура зими у истраживањима су узорци његовани на ниским температурама. У оквиру сопственог експерименталног истраживања узорци су његовани на температури од 20 °C јер је то температура која се најчешће користила у истраживањима

ПОГЛАВЉЕ 6

6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА

Експериментална истраживања су изведена у складу са Виртген упутством које је детаљније описано раније у поглављу 5.1.2, а у овом дијелу ће бити поновљене основне ставке. Метода из Виртген упутства је одабрана због једноставности али прије свега због велике распрострањености широм свијета. Гранулометријски састав рециклираног материјала треба да буде у границама које су дефинисане у упутству. Након контроле гранулометријског састава и евентуалне корекције истог прелази се на одређивање оптималног садржаја флуида, који се одређује за сваку различиту комбинацију везива. Послије одређеног оптималног садржаја флуида израђују се узорци са одређеним оптималним садржајем флуида. Упутством су дефинисани услови његовања узорака. Послије његовања узорака испитују се индиректне затезне чврстоће и динамички модул еластичности након 7 и 28 дана у сувим условима, 28 дана у водом засићеном стању и за узорке изложене дејству мрза.

6.1. УЗОРКОВАЊЕ РЕЦИКЛИРАНИХ МАТЕРИЈАЛА

Рециклирани асфалт и дробљени камен су узети из коловозне конструкције у улици Светог Николе у Жабљу. Положај улице је приказан на *Сл. 57*. Претходни радови су обухватили мјерење дефлексија и визуелни преглед саобраћајнице као и узимање узорака материјала.

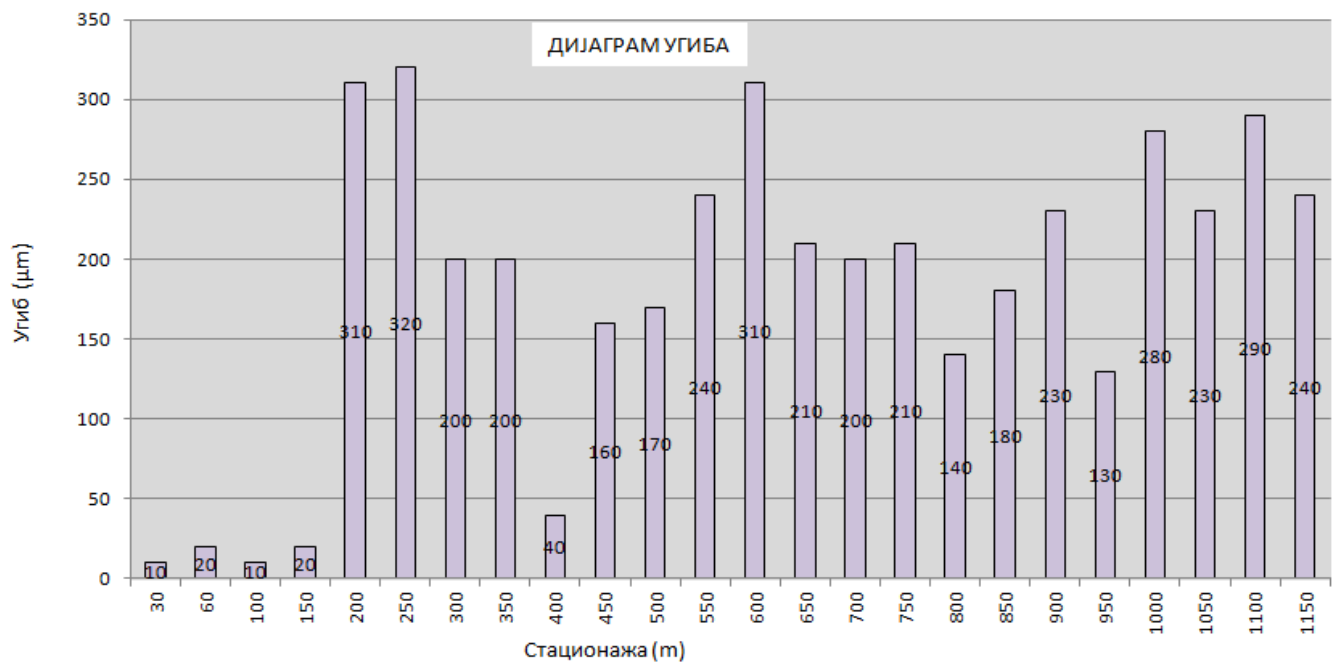


Сл. 57. Приказ улице Светог Николе на мапи

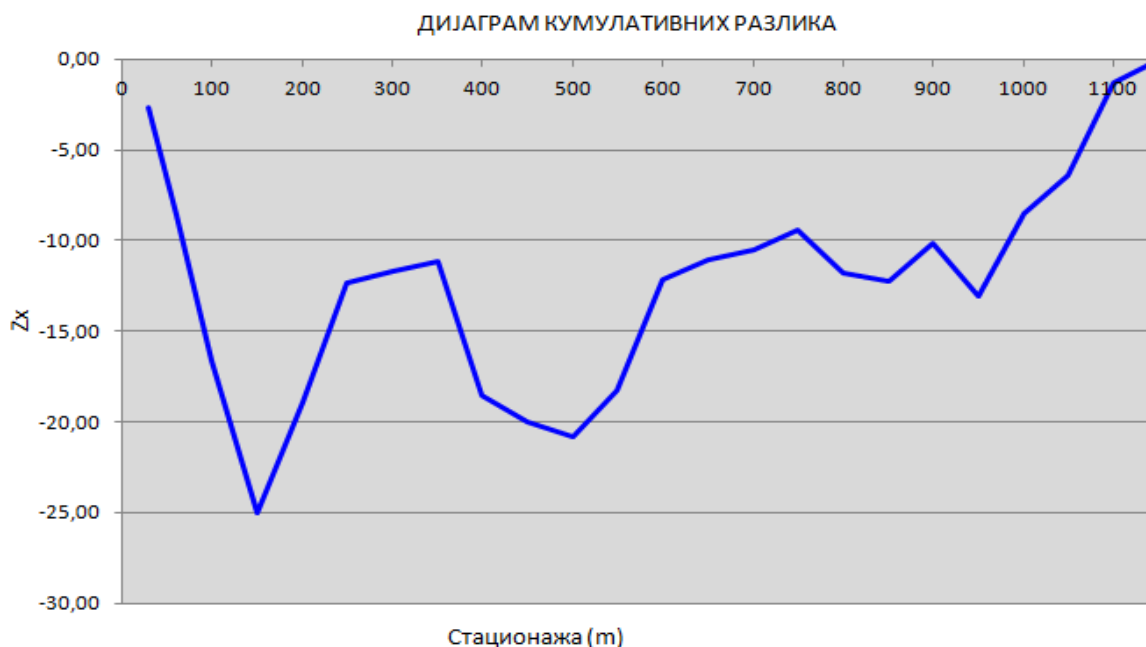
Укупна дужина на којој су мјерене дефлексије је 1200 м. Мјерења дефлексија су вршена Бенкелмановом гредом (Сл. 58). Корекција је вршена за температуру мјерења која је била 25 °С [116, 117]. Вриједности дефлексија су приказане на Сл. 59, док је дијаграм кумулативних разлика приказан на Сл. 60.



Сл. 58. Мјерење дефлексија Бенкелмановом гредом



Сл. 59. Вриједности измјерених дефлексија



Сл. 60. Вриједности кумулативних разлика

На основу анализе података (измјерене дефлексије, дијаграм кумулативних разлика, коефицијент варијације) извршена је подјела дионице на хомогене потезе [116, 117, 118]. Почетне и крајње стационаже су приказане у Таб. 49.

Таб. 49. Хомогени потези на дионици

	Почетна стационажа	Крајња стационажа
Хомогени потез 1	0+000	0+200
Хомогени потез 2	0+200	0+400
Хомогени потез 3	0+450	1+200

Напомена: Мјерно место 0+400 је изузето из анализе, јер нису били задовољени коефицијенти варијације и то мјерно место је посматрано као мјерно мјесто са квалитетнијим материјалом с обзиром на вриједност измјерене дефлексије у односу на остала мјерна места.

Хомогени потез 1

Средња вриједност измјерених дефлексија је:

$$d_{sr} = 15 * 10^{-3} \text{ mm}$$

Стандардна девијација измјерених дефлексија износи:

$$\sigma = 5,77 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Коефицијент варијације је: $K_v = 0,3849$

На основу вриједности коефицијента варијације, који мора бити мањи од 0,35 на хомогеном потезу, закључује се да је на овом потезу мало већи коефицијент варијације него што је дозвољено. Међутим, због осталих хомогених потеза и због малог прекоречења граничне вриједности усвојено је да први хомогени потез буде од стационаже 0+000 до стационаже 0+200.

На основу мјерења која су извршена (стандардном дефинисани период јул-септембар има своје коефицијенте корекције), на основу ранга саобраћајнице и са захтјеваном вјероватноћом од 90 % мјеродавна дефлексија износи:

$$d_{sr} = 33,6 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Хомогени потез 2

Средња вриједност измјерених дефлексија је:

$$d_{sr} = 258 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Стандардна девијација измјерених дефлексија износи:

$$\sigma = 66,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Коефицијент варијације је:

$$K_v = 0,2583$$

На основу вриједности коефицијента варијације, који мора бити мањи од 0,35 на хомогеном потезу, закључује се да је на овом потезу коефицијент варијације у дозвољеним границама. Усвојено је да други хомогени потез буде од стационаже 0+200 до стационаже 0+400.

На основу мјерења која су извршена (стандардном дефинисани период јул-септембар има своје коефицијенте корекције), на основу ранга саобраћајнице и са захтјеваном вјероватноћом од 90 % мјеродавна дефлексија износи:

$$d_{sr} = 514 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Хомогени потез 3

Средња вриједност измјерених дефлексија је:

$$d_{sr} = 215 * 10^{-3} \text{ mm}$$

Стандардна девијација измјерених дефлексија износи:

$$\sigma = 53,43 * 10^{-3} \text{ mm}$$

Коефицијент варијације је:

$$K_v = 0,2489$$

На основу вриједности коефицијента варијације, који мора бити мањи од 0,35 на хомогеном потезу, закључује се да је на овом потезу коефицијент варијације у дозвољеним границама. Усвојено је да трећи хомогени потез буде од стационаже 0+450 до стационаже 1+200 водећи рачуна да је подручје око стационаже 0+400 приликом анализе изузето, јер је измјерена дефлексија на том месту знатно мања него на другим околним мјестима.

На основу мјерења која су извршена (стандардном дефинисани период јул-септембар има своје коефицијенте корекције), на основу ранга саобраћајнице и са захтјеваном вјероватноћом од 90 % мјеродавна дефлексија износи:

$$d_{sr} = 424 * 10^{-3} \text{ mm}$$

Помоћу дефинисаних хомогених потеза дефинисане су локације за узимање репрезентативних узорака. Стационаже узимања узорака су: 0+095; 0+230 и 0+670. Приликом дефинисања тих стационажа водило се рачуна да по једна стационажа буде у најлошијем, средњем и најбољем стању конструкције. Постојећа коловозна конструкција је стругана и дробљена **Сл. 61**.



Сл. 61. Изглед постојеће коловозне конструкције и стругање и мљевање асфалта и камена

Приликом узорковања материјала посебно су узорковани асфалтни (битуменом везани) слојеви, а посебно дробљени камен.

6.1.1.1. ДОДАТНО МЉЕВЕЊЕ

Како је машина за глодање и мљевање материјала мањег капацитета него машина са којима се врши глодање приликом хладне рециклаже, извршено је додатно дробљење мјешавине материјала на посторјењу компаније „Карин Комерц“ (Сл. 62).



Сл. 62. Додатно мљевање на постројењу

6.1.1.2. СУШЕЊЕ МАТЕРИЈАЛА

Додатно издробљен материјал је осушен како би се накнадно извршило мјешање осушених материјала. Дробљени камен је осушен на температури од 110 °С, а асфалт је сушен на температури од 40 °С. Оба материјала су сушена до константне масе (*Сл. 63*) како не би имали заостале влажности.



Сл. 63. Сушење репрезентативног узорка

Осушени материјали су затим измјешани. Репрезентативна мјешавина је добијена мјешањем асфалта и дробљеног камена у односу 1:1, тј. 50% мјешавине је асфалт, а 50% дробљени камен. Наведени однос је масени, а не запремински.

ОДНОС РЕЦИКЛИРАНОГ АСФАЛТА И ДРОБЉЕНОГ КАМЕНА ЈЕ 50%:50% (ПО МАСИ)

6.2. ГРАНУЛОМЕТРИЈСКИ САСТАВ

Након мјешања материјала извршено је узимање репрезентативног материјала методом четвртања. Узимање репрезентативног узорка је узето због утврђивања гранулометријског састава рециклиране мјешавине *Сл. 64*.



Сл. 64. Поступак четвртања и узимање репрезентативног узорка



Сл. 65. Просијавање мјешавине

Просијани материјал (*Сл. 65*) је, као што је то честа појава код рециклираних асфалта и рециклираних мјешавина, имао мањак ситних зрна. Ово се може објаснити тиме да су ситне честице каменог брашна и пијеска везане битуменом. Због тога је потребно извршити корекцију гранулометријског састава додавањем ситнијих фракција (*Таб. 50*).

Таб. 50. Корекција гранулометријског састава рециклираног материјала

Отвори сита (mm)	Учешћа (g)	Додатак (g)	Коригована учешћа (g)	Пролази кроз сита (g)	Пролази кроз сита (%)	Пролази кроз сита (g)	Остаци на ситима (g)	
75,00	0,00		0,00	15027,43	100	5500	0	
63,00	0,00		0,00	15027,43	100	5500	0	
45,00	0,00		0,00	15027,43	100	5500	0	
31,50	48,43		48,43	14979,00	99,68	5482,28	17,7	
22,40	1787,25		1787,25	13191,75	87,78	4828,15	654,1	
16,00	1961,75		1961,75	11230,00	74,73	4110,15	718,0	
11,00	1245,75		1245,75	9984,25	66,44	3654,21	455,9	
8,00	1130,00		1130,00	8854,25	58,92	3240,63	413,6	
4,00	2301,25	0	2301,25	6553,00	43,61	2398,38	842,3	
2,00	1534,50	0	1534,50	5018,50	33,39	1836,76	561,6	
1,00	926,75	0	926,75	4091,75	27,23	1497,57	339,2	
0,50	449,50	0	449,50	3642,25	24,24	1333,05	164,5	
0,25	213,50	0	213,50	3428,75	22,82	1254,91	78,1	
0,06	128,75	3300	3428,75	0,00	6	330	924,9	
дно							330,0	5170,0
Укупно	11727,43	3300					5500,00	

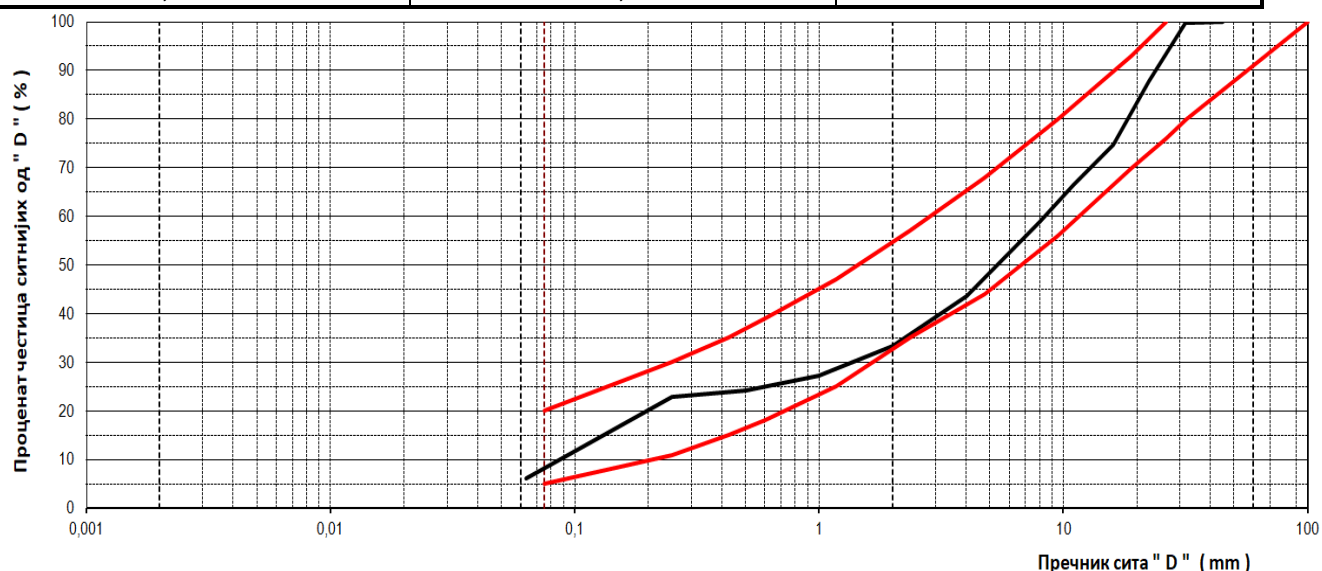
Сва испитивања у оквиру докторске дисертације су изведена по Виртген приручнику за извођене хладне рециклаже.. Тако је гранулометријска крива поређена са гранулометријском кривом из Виртген упутства [26]. Гранулометријски састав мјешавине је коригован додавањем каменог филера (Карин Комерц) чији резултати испитивања су приказани у Таб. 51 и Таб. 52. Материјал је испитан према СРПС ЕН 933-10:2009[119], СРПС Б.Б8.029: 1982[120], СРПС Б.Д8.205:1987[121]. Пошто се испитивања врше на узорцима тежине 5500 g, одређен је садржај појединих фракција за ту количину материјала на основу процентулане заступљености која је добијена прорачуном.

Таб. 51. Захтјеви у погледу гранулометријског састава за камено брашно

Величина зрна	Укупан опсег за појединачне резултате (Према Табели 7, СРПС ЕН 12620:2010)	Резултати испитивања достављеног узорка
2	100	100,00
0,125	85 до 100	99,05
0,063	70 до 100	96,35

Таб. 52. Гранулометријски састав филера

Гранулометријски састав Величина зрна	Остатак на ситиу – Мокро просијавање	Јединица
> 2 mm	0,00	% (m/m)
0,2 - 2 mm	0,05	
0,125 - 2 mm	0,90	
0,09 - 0,125 mm	1,00	
0,063 - 0,09 mm	1,70	
0,045 - 0,063 mm	0,90	
< 0,045 mm	95,45	



Сл. 66. Гранулометријски састав кориговане мјешавине

Однос рециклираног материјала и додатних ситнозрних материјала, у коригованој мјешавини, је $\approx 78:22$. Коригована гранулометријска крива мјешавине је приказана на Сл. 66.

6.3. МЈЕШАВИНЕ

Са циљем поновног коришћења материјала из постојећих коловозних конструкција и отпадних материјала из других индустрија, смањења цијене коштања изградње и смањења загађења животне средине изабрани су материјали који су испитвани у оквиру мјешавина хладне рециклаже. На основу досадашњих искустава са употребом отпадних материјала као и сагледавањем материјала који се користе у другим технологијама изградње, рехабилитације и реконструкције путева изабрани су материјали. За испитивања су изабрани сљедећи материјали:

- битуменска емулзија

- цемент – као уобичајни додатак битуменској емулзији при хладном рециклирању
- зеолит– замјена дијела цемента
- летећи пепео – замјена дијела цемента
- згура (троска, шљака) – замјена дијела цемента
- бакелит – замјена дијела битуменске емулзије

6.3.1. БИТУМЕНСКА ЕМУЛЗИЈА

Таб. 53. Захтјеви за својства стандардизованих битумена

Својства	Стандрад за испитивање	Јединица мјере	Тип битумена					
			20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220
Пенетрација на 25 °C	ЕН 1426	dmm (1/10mm)	20-30	35-50	50-70	70-100	100-150	160-220
Тачка размекшања	ЕН 1427	°C	55-63	50-58	46-54	43-51	39-47	35-43
Отпорност на стврдњавање на 163 °C	ЕН 12607-1							
Очувана вредност пенетрације		%	≥55	≥53	≥50	≥46	≥43	≥37
-повећање тачке размекшања, највише- захтјевност 1		°C	≤8	≤8	≤9	≤9	≤10	≤11
-повећање тачке размекшања, највише- захтјевност 2		°C	≤10	≤11	≤11	≤11	≤12	≤12
Тачка паљења	ЕН ИСО 2592	°C	≥240	≥240	≥230	≥230	≥230	≥220
Растворљивост	ЕН 12592	%	≥99,0	≥99,0	≥99,0	≥99,0	≥99,0	≥99,0
Промјена масе по РТФОТ	ЕН 12607-1	%	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,8	≤0,8	≤0,8
Посебни национални услови : Индекс пенетрације	ЕН 12591 Додатак Б		-1,5 до +0,7	-1,5 до +0,7	-1,5 до +0,7	-1,5 до +0,7	-1,5 до +0,7	-1,5 до +0,7
Кинематички вискозитет на 135 °C	ЕН 12595	mm ² /s	≥530	≥370	≥295	≥230	≥175	≥135
Динамички вискозитет на 60 °C	ЕН 12596	Pa*s	≥440	≥225	≥145	≥90	≥55	≥30
Тачка лома по Фрасу, највише	ЕН 12593	°C	-	≤-5	≤-8	≤-10	≤-12	≤-15

Битуменска емулзија која је коришћена за справљање мјешавина је емулзија из компаније „Хаугаард битуменске емулзије“. Врста емулзије је стабилна катјонска емулзија КС-60. Састоји се од 60% битумена и 40% воде. Тип битумена је БИТ 160/220. Емулзија је таква да садржи емулгаторе који омогућавају везивање емулзије и цемента. Емулзија задовољава својства по стандарду СРПС ЕН 12591 (Таб. 53).

6.3.2. ЦЕМЕНТ

Таб. 54. Цемент из фабрике цемента Беочин

Ознака узорка/ датум узорковања	Критеријум	ВХМ – 37/19 08.01.2019.	ВХМ- 180/19 05.02.2019.	ВХМ- 187/19 26.02.2019.	ВХМ- 322/19 05.03.2019.	ВХМ- 326/19 31.03.2019.
ХЕМИЈСКА СВОЈСТВА						
Нерастворни остатак, %	≤5,0	0,41	0,007	0,10	0,15	0,11
Губитак жарењем, %	≤5,0	1,18	1,31	1,19	1,43	1,26
SO ₃ , %	≤4,0	3,48	3,55	3,50	3,52	3,58
Cl, %	≤0,10	0,014	0,012	0,010	0,010	0,010
ФИЗИЧКА И МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА						
Вријеме почетка везивања, минута Почетак	≥60	120	155	150	140	140
Експанзија- Le Chatelier, mm	≤10,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,0
Чврстоћа при притиску након 2 дана, МПа	≥20,0	35,6	32,2	33,2	35,3	35,5
Чврстоћа при притиску након 28дана, МПа	≥42,5 ≤62,5	59,8	56,3	54,9	56,1	57,6
САСТАВ						
Клинкер, %	95-100	Задовољава критеријум				
Регулатор времена везивања, %						
Кречњак, %	-----	/	/	/	/	/
Згура, %	-----	/	/	/	/	/
Пуцолан, %	-----	/	/	/	/	/

Цемент који је коришћен је портланд цемент РС 42,5R (СЕМ I 42,5R) фабрике цемента Лафарж (Lafarge) из Беочина. Узорци цемента су узорковани и испитивани према важећим СРПС ЕН стандардима (Таб. 54):

- узимање узорака СРПС ЕН 196-7 [122];
- испитивање чврстоће СРПС ЕН 196-1[123];
- хемијска анализа цемента СРПС ЕН 196-2 [124];
- одређивање времена везивања СРПС ЕН 196-3 [125];
- одређивање финоће млива СРПС ЕН 196-6 [126];
- одређивање садржаја водорастворљивог хрома СРПС ЕН 196-10[127];
- квантитавино одређивање састојака СРПС ЦЕН-ТР 196-4[128];
- испитивања физичких особина цемента СРПС Б.Ц8.023 [129].

6.3.3. ЗЕОЛИТ

За мјешавине је коришћен природни зеолит-клиоптилолит и то материјал ситнији од 125 μm из Рудника Игорош (Брус, Србија) [130]. Хемијска анализа зеолита дата је у *Таб. 55* [131].

Таб. 55. Комплетна хемијска анализа зеолита

SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Губитак жарењем	Губитак загријавањем	SO ₃
62,3%	12,6%	0,2%	1,2%	4,1%	1,9%	0,2%	0,7%	0,6%	0,02%	11,06%	4,6%	0,05%

6.3.4. ЛЕТЕЋИ ПЕПЕО

Летећи пепео је из термоелектране „Никола Тесла“ Б. Пепео је самљевен па је просијан кроз сито 0,125 mm и у истраживању је коришћен летећи пепео који је ситнији од 0,125 mm. Према стандарду СРПС Б.Ц1.018 [132] узорци пепела спадају у класу 15 пуцоланских материјала [133].

Таб. 56. Хемијски састав летећег пепела

Учешће хемијских елемената (%)	1	2	3
Губитак жарењем на 950°C	6,66	6,88	7,94
SiO ₂	50,07	50,00	50,17
Al ₂ O ₃	18,58	18,53	18,55
Fe ₂ O ₃	6,27	6,25	5,00
TiO ₂	0,51	0,50	0,52
CaO	11,16	11,20	11,50
MgO	1,40	1,39	1,24
Na ₂ O	0,62	0,82	0,78
K ₂ O	1,76	1,84	1,78
SO ₃	2,86	2,54	2,50
MnO	0,03	0,01	0,01

Таб. 57. Физичка својства летећег пепела

Врста испитивања		Резултати
Финоћа млива [%]		1,3
Вријеме 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

6.3.5. ЗГУРА

За мјешвине са згуром коришћена је згура из компаније „Карин Комерц“. У споменутој компанији је згура самљевена, а изворно потиче из жељезаре у Смедереву (ХБИС Смедерево). Добијена згура је просијавана на ситима 0,125 mm, 0,063 mm и 0,045 mm.

Специфична запреминска маса је одређена према стандарду СРПС Б.Б8.032:1980 [134] (Таб. 58).

Таб. 58. Запреминска маса узорака згуре

Узорак згуре	Запреминска маса [g/cm ³]
<0,125 mm	2,766
<0,063 mm	2,711
<0,045 mm	2,689

Специфична површина згуре је одређена према стандарду СРПС Б.Ц8.024:1964[135] (Таб. 59).

Таб. 59. Специфична површина узорака згуре

Узорак згуре	Специфична површина [m ² /kg]
<0,125 mm	107,42
<0,063 mm	237,65
<0,045mm	279,89

Према стандарду СРПС ЕН 15167-1:2010[136] специфична површина згуре мора да буде минимално 275 m²/kg тако да је употребљена згура која је прошла кроз сито 0,045 mm.



Сл. 67. Апаратура за испитивање специфичне површине згуре

Остала испитивања згуре су приказана у Таб. 60, Таб. 61, Таб. 62.

Таб. 60. Параметри згуре (ХБИС Смедерево)

Згура			
XRF	MOIST	%	11,73
	LOI	%	0,72
	SiO ₂	%	37,9
	Al ₂ O ₃	%	8,33
	Fe ₂ O ₃	%	0,33
	CaO	%	38,68
	MgO	%	10,27
	SO ₃	%	0,44
	K ₂ O	%	0,58
	Na ₂ O	%	0,48
	MN ₂ O ₃	%	0,43
	TiO ₂	%	0,3
	(CaO+MgO)	%	1,29
	(CaO+MgO+ SiO ₂)	%	88,64
XRD	MARWINITE	%	13,2
	MELLILITE	%	12,45
	QUARTZ	%	0,1
	CALCITE	%	2,11
	BREDIGITE	%	0,14
	GYPSUM	%	0,05
	Аморфна фаза	%	71,96
Активност	ИА 2Д	%	33,75
	ИА 7Д	%	45,52
	ИА 28Д	%	65,48

Таб. 61. Хемијски састав згуре

ОПИС УЗОРКА: Чврст нехомоген узорак, композитне високопећне комадасте троске, високопећне гранулисане троске и конверторске троске			
Параметар	Нађена вредност	Референтна вредност	Ознака методе
Садржај воде, %	1,4		ЕН 12880
Губитак жарењем, %	<0,1	10 ^А	ЕН 15169
Топлотна моћ, MJ/kg	<1	8 ^а	ЕН 16023
Анализа ЕП екстракта (L/S=10/1)			
pH вредност	11	>6 ^б	ЕН 12506
Електропроводљивост, $\mu\text{S}/\text{cm}$	600	-	ЕН 13370
Растворљиве чврсте материје, (TDL), mg/l	306	60000 ^б	ЕН 13370
Флуориди (F), mg/kg	<0,5	150 ^б	ЕН 9056
Хлориди (Cl), mg/kg	7,7	15000 ^б	ЕН 9056
Сулфати (SO ₄), mg/kg	8,4	20000 ^б	ЕН 9056
Индекс фенола, mg/kg	<0,1	-	СРПС ИСО 6439
Растворљиви органски угљеник (DOC), mg/kg	238	800 ^б	ДМЛ 5.4
Шестовалентни хром, mg/kg	<0,05	-	ЕПА 3060
Арсен (As), mg/kg	<0,3	2,0 ^б	ЕН 12506
Баријум (Ba), mg/kg	0,50	100 ^б	ЕН 12506
Кадмијум (Cd), mg/kg	<0,1	1,0 ^б	ЕН 12506
Хром (Cr), mg/kg	<0,1	10 ^б	ЕН 12506
Бакар (Cu), mg/kg	<0,1	50 ^б	ЕН 12506
Молибден (Mo), mg/kg	<0,1	10 ^б	ЕН 12506
Жива (Hg), mg/kg	<0,03	0,2 ^б	ЕН 13370
Никл (Ni), mg/kg	<0,1	10 ^б	ЕН 12506
Олово (Pb), mg/kg	<0,3	10 ^б	ЕН 12506
Антимон (Sb), mg/kg	<0,5	0,7 ^б	ЕН 12506
Селен (Se), mg/kg	<0,5	0,5 ^б	ЕН 12506
Цинк (Zn), mg/kg	<0,1	50 ^б	ЕН 12506
Садржај метала, mg/kg:			
Арсен (As)	<1,5	20 ^а	ДМЛ 5.1
Баријум (Ba)	<0,3	-	ДМЛ 5.1
Кадмијум (Cd)	<0,5	10 ^а	ДМЛ 5.1
Хром (Cr)	800	300 ^а	ДМЛ 5.1
Бакар (Cu)	<0,5	500 ^а	ДМЛ 5.1
Жива (Hg)	<0,2	2 ^а	ДМЛ 5.1
Никл (Ni)	<0,5	100 ^а	ДМЛ 5.1
Олово (Pb)	<1,5	800 ^а	ДМЛ 5.1
Антимон (Sb)	<2,5	100 ^а	ДМЛ 5.1
Цинк (Zn)	2000	-	ДМЛ 5.1
Ванадијум (V)	<0,5	10 ^а	ДМЛ 5.1
Берилијум (Be)	<0,3		ДМЛ 5.1
Калај (Sn)	<1,0		ДМЛ 5.1
Кобалт (Co)	<0,5		ДМЛ 5.1
Талијум (Tl)	<1,5		ДМЛ 5.1

Таб. 62. Хемијски састав згуре

ОПИС УЗОРКА: Чврст нехомоген узорак, композитне високопећне комадасте троске, високопећне гранулисане троске и конверторске троске			
Параметар	Нађена вредност	Референтна вредност	Ознака методе
Проциклични ароматични угљоводоници, mg/kg:			
Аценафтен	<0,5	--	ЕПА 8270
Аценафтилен	<0,2	--	ЕПА 8270
Антрацен	<0,01	--	ЕПА 8270
Бензо(а)антрацен	<0,5	--	ЕПА 8270
Бензо(а)пирен	<0,5	--	ЕПА 8270
Бензо(б)флуорантен	<0,5	--	ЕПА 8270
Бензо(г.х.и)перилен	<0,5	--	ЕПА 8270
Бензо(к)флуорантен	<0,5	--	ЕПА 8270
Кризен	<0,5	--	ЕПА 8270
Дибензо(а.х)антрацен	<0,1	--	ЕПА 8270
Флуорантен	<0,5	--	ЕПА 8270
Флуорен	<0,05	--	ЕПА 8270
Индено(1,2,3-цд)пирен	<0,5	--	ЕПА 8270
Нафтален	<0,5	--	ЕПА 8270
Фенантрен	<0,03	--	ЕПА 8270
Пирен	<0,5	--	ЕПА 8270
РАНс(укупно)	<6,0	100 ^ц	ЕПА 8270
Садржај полихлорованих бифенила, mg/kg:			
ПХБ 28	<0,005	--	ЕН 15308
ПХБ 52	<0,01	--	ЕН 15308
ПХБ 101	<0,005	--	ЕН 15308
ПХБ 138	<0,005	--	ЕН 15308
ПХБ 153	<0,001	--	ЕН 15308
ПХБ 180	<0,01	--	ЕН 15308
ПХБ (укупно)	<0,04	50 ^а	ЕН 15308
Лако испарљиви угљоводоници, mg/kg:			
Бензен	<0,5	--	ЕПА 5021
Толуен	<0,01	--	ЕПА 5021
Ксилен	<0,1	--	ЕПА 5021
Етилбензен	<0,03	--	ЕПА 5021
Стирен	<0,3	--	ЕПА 5021
ВТЕХ (укупно)	<1,0	6 ^ц	ЕПА 5021
Садржај халогених елемената и сумпора, %			
Флуор	<0,05	--	ASTMWK3768 /ЕПА9056
Хлор	<0,05	2 ^а	ASTMWK3768 /ЕПА9056
Бром	<0,03	-	ASTMWK3768 /ЕПА9056
Сумпор	<0,03	-	ASTMWK3768 /ЕПА9056

6.3.6. БАКЕЛИТ

Бакелит употребљен у мјешавинама је нуспроизвод настао приликом производње у компанији „Металац“ из Горњег Милановца.. Материјал је у облику гранула, разних боја са карактеристичним мирисом. Према напоменама испоручиоца овај производ се не сматра опасним отпадом по директиви Европске уније 2008/98EZ. При нормалним условима чувања и употребе, не би требало да се стварају опасни производи разлагања. Током прераде може доћи до отпуштања паре фенола и формалдехида. Добијени материјал је додатно издробљен и просијан на сити 0,125 mm тако да је коришћен материјал који је прошао кроз то сито (Сл. 68).



Сл. 68. Добијени материјал и просијани материјал

Просијани материјал је загријаван на температурама од 60 °C и 110 °C јер су то температуре на којима су осушени остали материјали, али није показао знакове топљења и био је стабилан на овим температурама (Сл. 69).



Сл. 69. Бакелит након загријавања на 60 °C и 110 °C

Таб. 63. Резултати физчко-хемијских, хемијских и биолошких испитивања отпада-први дио

ОПИС УЗОРКА: Чврст узорак отпадне пластике различитих величина, облика и боја			
Параметар	Нађена вредност	Референтна вредност	Ознака методе
Садржај воде, %	<0,1		ЕН 12880
Губитак жарењем, %	98	10 ^u	ЕН 15169
Анализа ЕП екстракта (L/S=10/1)			
рН вредност	7,6	>6 ^b	ЕН 12457/ЕН 16192
Електропроводљивост, $\mu\text{S}/\text{cm}$	102	-	ЕН 12457/ЕПА 120.1
Растворљиве чврсте материје, (TDL), mg/l	51	60000 ^b ; 10000 ^u	ЕН 12457/ЕПА 120.1
Флуориди (F), mg/kg	<0,5	150 ^b ; 500 ^u	ЕН 12457/ЕПА 9056
Хлориди (Cl), mg/kg	21	15000 ^b ; 25000 ^u	ЕН 12457/ЕПА 9056
Сулфати (SO ₄), mg/kg	19	20000 ^b ; 50000 ^u	ЕН 12457/ЕПА 9056
Индекс фенола, mg/kg	<0,1	1 ^a	ЕН 12457/СРПС ИСО 6439
Растворљиви органски угљеник (DOC), mg/kg	68	800 ^b ; 1000 ^u	ДМЛ 5.4
Шестовалентни хром, mg/kg	<0,05	-	ЕПА 3060/ ИСО 11083
Арсен (As), mg/kg	<0,1	2,0 ^b ; 25,0 ^u	ЕН 16192
Баријум (Ba), mg/kg	3,1	100 ^b ; 300 ^u	ЕН 16192
Кадмијум (Cd), mg/kg	<0,1	1,0 ^b ; 5,0 ^u	ЕН 16192
Хром (Cr), mg/kg	<0,1	10 ^b ; 70 ^u	ЕН 16192
Бакар (Cu), mg/kg	0,21	50 ^b ; 100 ^u	ЕН 16192
Молибден (Mo), mg/kg	<0,1	10 ^b ; 30 ^u	ЕН 16192
Жива (Hg), mg/kg	<0,02	0,2 ^b ; 2,0 ^u	ЕН 13370
Никл (Ni), mg/kg	<0,5	10 ^b ; 40 ^u	ЕН 16192
Олово (Pb), mg/kg	<0,2	10 ^b ; 50 ^u	ЕН 16192
Антимон (Sb), mg/kg	<0,5	0,7 ^b ; 5,0 ^u	ЕН 16192
Селен (Se), mg/kg	<0,1	0,5 ^b ; 7,0 ^u	ЕН 16192
Цинк (Zn), mg/kg	9,2	50 ^b ; 200,0 ^u	ЕН 16192
Садржај метала, mg/kg:			
Арсен (As)	<1,0	15 ^a	ДМЛ 5.1
Баријум (Ba)	1250	-	ДМЛ 5.1
Кадмијум (Cd)	<0,1	10 ^a	ДМЛ 5.1
Хром (Cr)	<5,0	300 ^a	ДМЛ 5.1
Бакар (Cu)	<5,0	500 ^a	ДМЛ 5.1
Жива (Hg)	<0,02	2 ^a	ДМЛ 5.1
Никл (Ni)	<3,0	200 ^a	ДМЛ 5.1
Олово (Pb)	<5,0	500 ^a	ДМЛ 5.1
Антимон (Sb)	<2,0	20 ^a	ДМЛ 5.1
Цинк (Zn)	1175	-	ДМЛ 5.1
Ванадијум (V)	<0,5	25 ^a	ДМЛ 5.1
Берилијум (Be)	<0,2	2 ^a	ДМЛ 5.1

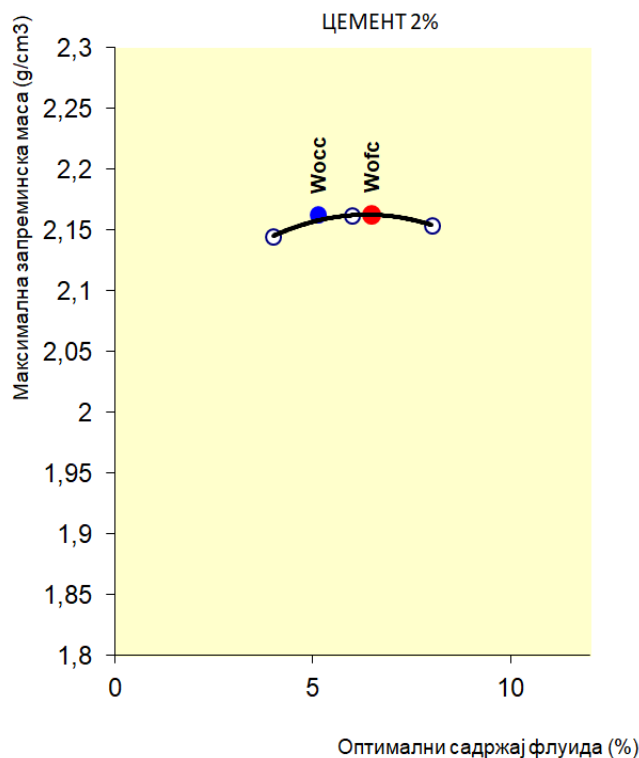
Таб. 64. Резултати физчко-хемијских, хемијских и биолошких испитивања отпада-други дио

ОПИС УЗОРКА: Чврст узорак отпадне пластике различитих величина, облика и боја			
Параметар	Нађена вредност	Референтна вредност	Ознака методе
Проциклични ароматични угљоводоници, mg/kg:			
Аценафтен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Аценафтилен	<0,2	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Антрацен	<0,01	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Бензо(а)антрацен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Бензо(а)пирен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Бензо(б)флуорантен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Бензо(г.х.и)перилен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Бензо(к)флуорантен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Кризен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Дибензо(а.х)антрацен	<0,1	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Флуорантен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Флуорен	<0,05	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Индено(1,2,3-цд)пирен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Нафтален	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Фенантрен	<0,03	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
Пирен	<0,5	--	ЕПА 3550Ц/8270Д
РАHs(укупно)	<6,0	100 ^ч	ЕПА 3550Ц/8270Д
Садржај полихлорованих бифенила, mg/kg:			
ПХБ 28	<0,005	--	ЕН 15308
ПХБ 52	<0,01	--	ЕН 15308
ПХБ 101	<0,005	--	ЕН 15308
ПХБ 138	<0,005	--	ЕН 15308
ПХБ 153	<0,001	--	ЕН 15308
ПХБ 180	<0,01	--	ЕН 15308
ПХБ (укупно)	<0,04	50 ^д	ЕН 15308
Лако испарљиви угљоводоници, mg/kg:			
Бензен	<0,5	--	ЕПА 5021
Толуен	<0,01	--	ЕПА 5021
Ксилен	<0,1	--	ЕПА 5021
Етилбензен	<0,03	--	ЕПА 5021
Стирен	<0,3	--	ЕПА 5021
ВТЕХ (укупно)	<1,0	6 ^а	ЕПА 5021
Садржај халогених елемената и сумпора, %			
Флуор	<0,05	--	ASTMWK3768 /ЕПА9056
Хлор	<0,05	2 ^д	ASTMWK3768 /ЕПА9056
Бром	<0,03	-	ASTMWK3768 /ЕПА9056
Сумпор	<0,03	-	ASTMWK3768 /ЕПА9056
Садржај угљоводоника			
Минерална уља, %	<0,05	0,05 ^а	БС ЕН 14039

6.4. ИСПИТИВАЊЕ ОПТИМАЛНОГ САДРЖАЈА ФЛУИДА

Након кориговања гранулометријског састава за мјешавине је испитиван оптимални садржај флуида. Под оптималним садржајем флуида подразумијева се садржај флуида при којем је постигнута максимална запреминска маса. Када се каже појам флуид подразумијева се садржај воде који се додаје мјешавини и садржај воде који се налази у емулзији. За сваку различиту комбинацију везива потребно је одредити оптимални садржај везива. Оптимални садржај везива је одређен за:

- Мјешавине са 2% цемента
- Мјешавине са 3% цемента, које су касније одбачене због настојања да се садржај цемента што је више могуће смањи, а и већина препорука се заснива на ограничењу садржаја цемента до 2%
- Мјешавине са цементом и згуром (20% масе цемента је замјењено згуром)
- Мјешавине са цементом и летећим пепелом (20% масе цемента је замјењено летећим пепелом)
- Мјешавине са цементом и зеолитом (20% масе цемента је замјењено зеолитом)
- Мјешавине са цементом и бакелитом (20% масе битуменске емулзије је замјењено бакелитом)



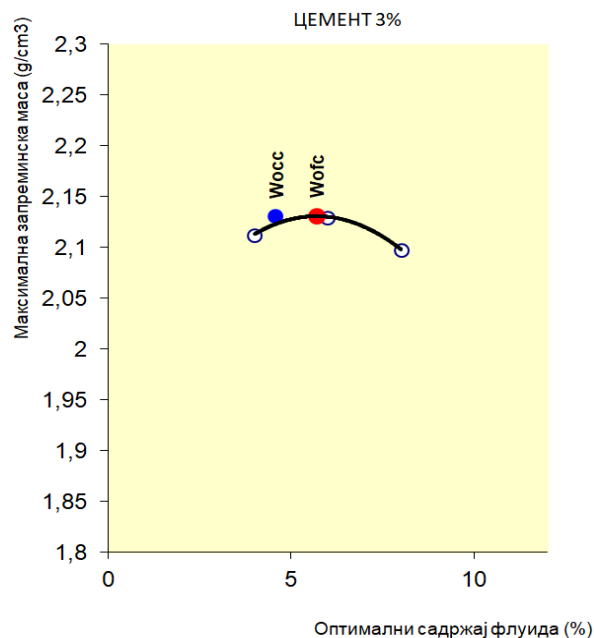
Сл. 70. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 2% цемента)

Виртген упутство налаже да се за почне са испитивањем тако да се вода (чиста) и битуменска емулзија мјешају у једнаком масеном односу (50%:50%) за један садржај флуида. Узроци за испитивање оптималног садржаја флуида су масе 5500 g тако да су количине материјала одређиване на основу те масе (нпр. за пробне узорке са 6% флуида укупно је потрено 330 g флуида од којих је 165 g вода, а 165 g битуменска емулзија).

Таб. 65. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 2% цемента)

Број пробе		I	II	III
Додата количина влаге	%	6	8	4
Енергија збијања (kNm/m ³), [MJ/m ³]	E	2750		
Маса цилиндра, (g)	mc	3990,1	3990,1	3990,1
Маса влажног узорка са цилиндром, (g)	mvc	8738	8760	8667
Маса влажног узорка, (g)	mv1=mvc-mc	4747,9	4769,9	4676,9
Запремина цилиндра, (cm ³) [ml]	V	2120,9	2120,9	2120,9
Запреминска маса у влажном стању (t/m ³)	$\gamma_v=mv1/V$	2,239	2,249	2,205
Број посуде	Ознака	4	1	5
Маса посуде, (g)	mp	782	783,5	779,5
Маса влажног узорка са посудом, (g)	mvp	5487	5539,5	5440,5
Маса сувог узорка са посудом, (g)	m _{sp}	5325,4	5338,5	5314,2
Маса влажног узорка, (g)	mv2=mvp-mp	4705	4756	4661
Маса сувог узорка, (g)	ms=m _{sp} -mp	4543,4	4555	4534,7
Маса воде, (g)	mw=mv2-ms	161,6	201	126,3
Влажност	$w=(mw/ms)*100$	3,557	4,413	2,785
Средња влажност		3,557	4,413	2,785
Запреминска маса у сувом стању (t/m ³), [Mg/m ³]	$\gamma_d=100*\gamma_v/(100+w)$	2,162	2,154	2,145
Максимална сува запреминска маса, (t/m ³), [Mg/m ³]	γ_{dmax}	2,163		
Оптимална влажност, (%)	W_{opt}	6,5		

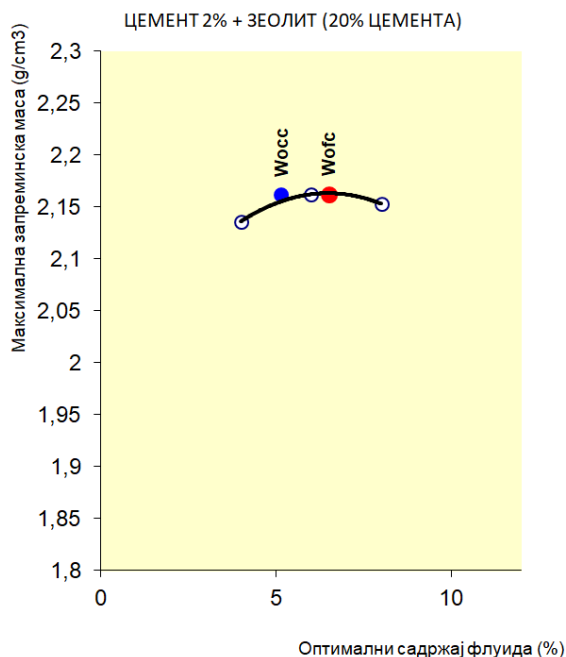
Оптимални садржај флуида за мјешавине са 2% цемента је 6,5% (Сл. 70, Таб. 65). Препоручено је да се ураде минимално три пробне мјешавине, са три различита садржаја флуида, како би се могао очитати податак о оптималном садржају флуида са дијаграма садржај флуида- максимална запреминска маса. Проенти флуида који се користе се одређују на основу искуства базираног на врсти и саставу рециклираног материјала и додатних везива. Понекад је потребно урадити и више од три пробне мјешавине. За мјешавине са 3% цемента оптимални садржај флуида је 5,7% (Таб. 66, Сл. 71).



Сл. 71. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 3% цемента)

Таб. 66. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 3% цемента)

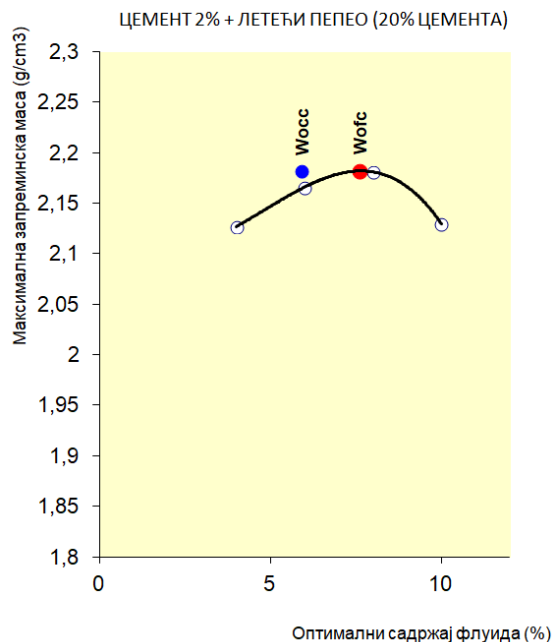
Број пробе		I	II	III
Додата количина воде	%	6	8	4
Енергија збијања (kNm/m ³), [MJ/m ³]	E	2750		
Маса цилиндра, (g)	m _c	3990,1	3990,1	3990,1
Маса влажног узорка са цилиндром, (g)	m _{vc}	8653,1	8628,7	8583,8
Маса влажног узорка, (g)	m _{v1} =m _{vc} -m _c	4663	4638,6	4593,7
Запремина цилиндра, (cm ³) [ml]	V	2120,9	2120,9	2120,9
Запреминска маса у влажном стању (t/m ³)	$\gamma_v = m_{v1}/V$	2,198595	2,18709	2,16592
Број посуде	Ознака	5	1	20
Маса посуде, (g)	m _p	780,7	783,1	460,1
Маса влажног узорка са посудом, (g)	m _{vp}	5421,4	5467,8	5042,8
Маса сувог узорка са посудом, (g)	m _{sp}	5276,8	5276,4	4930,8
Маса влажног узорка, (g)	m _{v2} =m _{vp} -m _p	4640,7	4684,7	4582,7
Маса сувог узорка, (g)	m _s =m _{sp} -m _p	4496,1	4493,3	4470,7
Маса воде, (g)	m _w =m _{v2} -m _s	144,6	191,4	112
Влажност	$w = (m_w/m_s) * 100$	3,216	4,260	2,505
Средња влажност		3,216	4,260	2,505
Запреминска маса у сувом стању (t/m ³), [Mg/m ³]	$\gamma_d = 100 * \gamma_v / (100 + w)$	2,130	2,098	2,113
Максимална сува запреминска маса, (t/m ³), [Mg/m ³]	γ_{dmax}	2,131		
Оптимална влажност, (%)	W _{opt}	5,7		



Сл. 72. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% зеолита)

Таб. 67. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% зеолита)

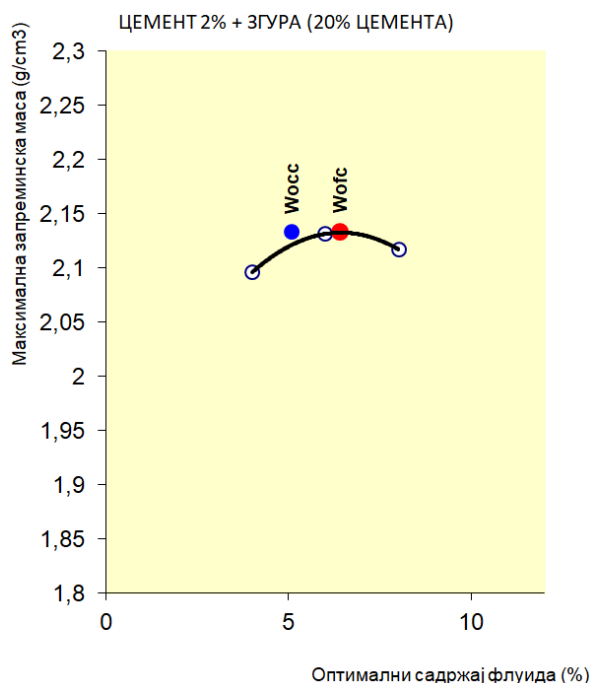
Број пробе		I	II	III
Додата количина воде	%	6	8	4
Енергија збијања (kNm/m ³), [MJ/m ³]	E	2750		
Маса цилиндра, (g)	m _c	3990,1	3990,1	3990,1
Маса влажног узорка са цилиндром, (g)	m _{vc}	8734,1	8762,8	8626,8
Маса влажног узорка, (g)	m _{v1} =m _{vc} -m _c	4744	4772,7	4636,7
Запремина цилиндра, (cm ³) [ml]	V	2120,9	2120,9	2120,9
Запреминска маса у влажном стању (t/m ³)	$\gamma_v = m_{v1}/V$	2,237	2,250	2,186
Број посуде	Ознака	5	1	20
Маса посуде, (g)	m _p	780,8	783,1	459,9
Маса влажног узорка са посудом, (g)	m _{vp}	5517,6	5546	5077,9
Маса сувог узорка са посудом, (g)	m _{sp}	5358,8	5340,5	4971,7
Маса влажног узорка, (g)	m _{v2} =m _{vp} -m _p	4736,8	4762,9	4618
Маса сувог узорка, (g)	m _s =m _{sp} -m _p	4578	4557,4	4511,8
Маса воде, (g)	m _w =m _{v2} -m _s	158,8	205,5	106,2
Влажност	w=(m _w /m _s)*100	3,469	4,509	2,354
Средња влажност		3,469	4,509	2,354
Запреминска маса у сувом стању (t/m ³), [Mg/m ³]	$\gamma_d = 100 * \gamma_v / (100 + w)$	2,162	2,153	2,136
Максимална сува запреминска маса, (t/m ³), [Mg/m ³]	γ_{dmax}	2,162		
Оптимална влажност, (%)	W _{opt}	6,5		



Сл. 73. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% летећег пепела)

Таб. 68. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% летећег пепела)

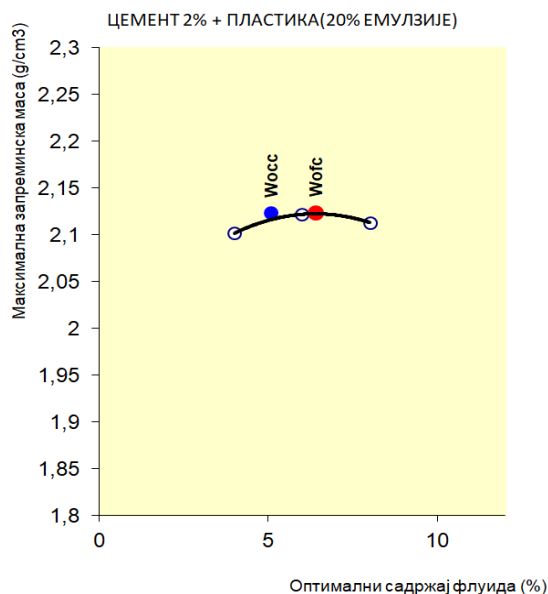
Број пробе		I	II	III	IV
Додата количина воде	%	6	8	4	10
Енергија збијања (kNm/m ³), [MJ/m ³]	E	2750			
Маса цилиндра, (g)	m _c	3990,1	3990,1	3990,1	3990,1
Маса влажног узорка са цилиндром, (g)	m _{vc}	8735,6	8814,9	8606,8	8746,5
Маса влажног узорка, (g)	m _{v1} =m _{vc} -m _c	4745,5	4824,8	4616,7	4756,4
Запремина цилиндра, (cm ³) [ml]	V	2120,9	2120,9	2120,9	2120,9
Запреминска маса у влажном стању (t/m ³)	$\gamma_v = m_{v1}/V$	2,237	2,275	2,177	2,243
Број посуде	Ознака	256	444	x	256
Маса посуде, (g)	m _p	355,6	390,8	343,9	355,7
Маса влажног узорка са посудом, (g)	m _{vp}	4885	5204,5	4939,4	5101,2
Маса сувог узорка са посудом, (g)	m _{sp}	4741	5005,1	4834,1	4863,6
Маса влажног узорка, (g)	m _{v2} =m _{vp} -m _p	4529,4	4813,7	4595,5	4745,5
Маса сувог узорка, (g)	m _s =m _{sp} -m _p	4385,4	4614,3	4490,2	4507,9
Маса воде, (g)	m _w =m _{v2} -m _s	144	199,4	105,3	237,6
Влажност	$w = (m_w/m_s) * 100$	3,284	4,321	2,345	5,271
Средња влажност		3,284	4,321	2,345	5,271
Запреминска маса у сувом стању (t/m ³), [Mg/m ³]	$\gamma_d = 100 * \gamma_v / (100 + w)$	2,166	2,181	2,127	2,130
Максимална сува запреминска маса, (t/m ³), [Mg/m ³]	γ_{dmax}	2,182			
Оптимална влажност, (%)	W _{opt}	7,6			



Сл. 74. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% згуре)

Таб. 69. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 1,6% цемента+0,4% згуре)

Број пробе		I	II	III
Додата количина воде	%	6	8	4
Енергија збијања (kNm/m ³), [MJ/m ³]	E	2750		
Маса цилиндра, (g)	m _c	3990,2	3990,2	3990,2
Маса влажног узорка са цилиндром, (g)	m _{vc}	8645,3	8686,3	8545,5
Маса влажног узорка, (g)	m _{v1} =m _{vc} -m _c	4655,1	4696,1	4555,3
Запремина цилиндра, (cm ³) [ml]	V	2120,9	2120,9	2120,9
Запреминска маса у влажном стању (t/m ³)	$\gamma_v = m_{v1}/V$	2,195	2,214	2,148
Број посуде	Ознака	8	21	14
Маса посуде, (g)	m _p	343,5	287,9	282,2
Маса влажног узорка са посудом, (g)	m _{vp}	3638,6	3406,7	4823
Маса сувог узорка са посудом, (g)	m _{sp}	3542,9	3270,3	4712,6
Маса влажног узорка, (g)	m _{v2} =m _{vp} -m _p	3295,1	3118,8	4540,8
Маса сувог узорка, (g)	m _s =m _{sp} -m _p	3199,4	2982,4	4430,4
Маса воде, (g)	m _w =m _{v2} -m _s	95,7	136,4	110,4
Влажност	$w = (m_w/m_s) * 100$	2,991	4,573	2,492
Средња влажност		2,991	4,573	2,492
Запреминска маса у сувом стању (t/m ³), [Mg/m ³]	$\gamma_d = 100 * \gamma_v / (100 + w)$	2,131	2,117	2,096
Максимална сува запреминска маса, (t/m ³), [Mg/m ³]	γ_{dmax}	2,133		
Оптимална влажност, (%)	W _{opt}	6,4		

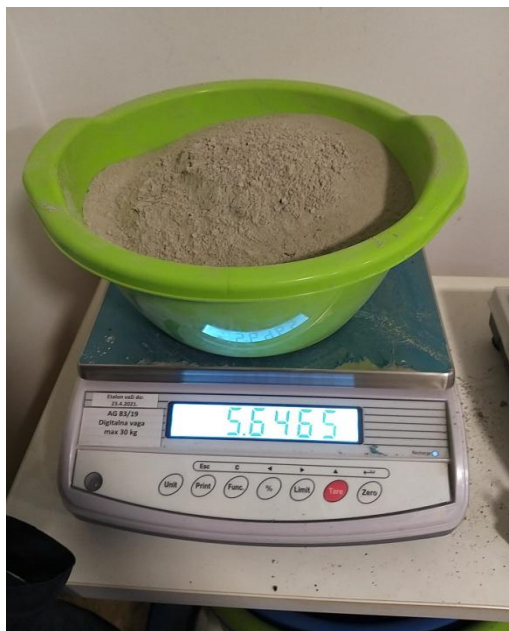


Сл. 75. Зависност запреминске масе и садржаја флуида (мјешавине са 2% цемента+20% бакелита у односу на количину битуменске емулзије)

Таб. 70. Одређивање оптималног садржаја флуида (мјешавине са 2% цемента+20% бакелита у односу на количину битуменске емулзије)

Број пробе		I	II	III
Додата количина воде	%	6	8	4
Енергија збијања (kNm/m ³), [MJ/m ³]	E	2750		
Маса цилиндра, (g)	m _c	3990,2	3990,2	3990,2
Маса влажног узорка са цилиндром, (g)	m _{vc}	8624,3	8671,8	8548,9
Маса влажног узорка, (g)	m _{v1} =m _{vc} -m _c	4634,1	4681,6	4558,7
Запремина цилиндра, (cm ³) [ml]	V	2120,9	2120,9	2120,9
Запреминска маса у влажном стању (t/m ³)	$\gamma_v = m_{v1}/V$	2,185	2,207	2,149
Број посуде	Ознака	21	5	14
Маса посуде, (g)	m _p	288,1	780,8	282,6
Маса влажног узорка са посудом, (g)	m _{vp}	2932,6	3172,9	2524,5
Маса сувог узорка са посудом, (g)	m _{sp}	2855,9	3070,4	2474,5
Маса влажног узорка, (g)	m _{v2} =m _{vp} -m _p	2644,5	2392,1	2241,9
Маса сувог узорка, (g)	m _s =m _{sp} -m _p	2567,8	2289,6	2191,9
Маса воде, (g)	m _w =m _{v2} -m _s	76,7	102,5	50
Влажност	$w = (m_w/m_s) * 100$	2,987	4,477	2,281
Средња влажност		2,987	4,477	2,281
Запреминска маса у сувом стању (t/m ³), [Mg/m ³]	$\gamma_d = 100 * \gamma_v / (100 + w)$	2,122	2,113	2,101
Максимална сува запреминска маса, (t/m ³), [Mg/m ³]	γ_{dmax}	2,123		
Оптимална влажност, (%)	W _{opt}	6,4		

Приликом испитивања узорка за одређивање оптималног садржаја флуида претходно припремљеној мјешавини фракција рециклираног асфалта и камена, филера и цемента (Сл. 76) додавана је вода и битуменска емулзија. Важно је напоменути да су и рециклирани асфалт и камен осушени до константне масе и једино је у том случају могуће и оправдано одређивати оптимални садржај флуида.



Сл. 76. Мјешавина рециклираног материјала, филера и цемента

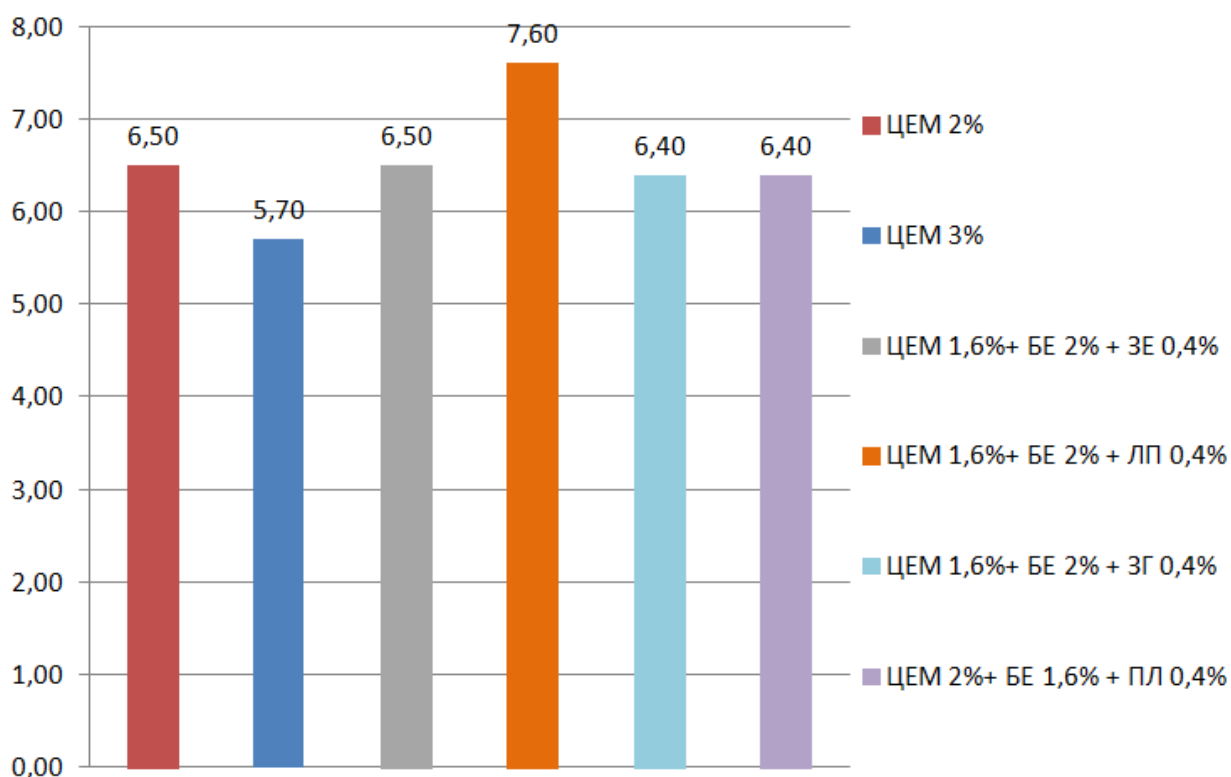
Након справљана пробног узорка и набијања набијачем, узорак се суши на 40°C до константне масе (Сл. 77).



Сл. 77. Узорак осушен до константне масе

Оптимални садржај флуида, за мјешавине у којима је цементу и емулзији додавана згура, зеолит и бакелит, је врло близак или исти оптималном садржају флуида као и за мјешавину са 2% цемента. За мјешавину гдје је са 1,6 % цемента и 0,4% зеолита, тј. 20% цемента у мјешавини са 2% цемента је замијењено са зеолитом, оптимални садржај флуида је 6,5% (Сл. 72, Таб. 67).

Мјешавина са 1,6% цемента и 0,4% летећег пепела (20% садржаја цемента је замијењено са летећим пепелом) има оптимални садржај флуида који износи 7,6% (Таб. 68, Сл. 73). За мјешавину са 1,6% цемента и 0,4% згуре (20% садржаја цемента је замијењено са згуром) оптимални садржај флуида износи 6,4% (Сл. 74, Таб. 69). За мјешавину са 2% цемента и бакелитом (20% садржаја битуменске емулзије је замијењено са бакелитом) оптимални садржај флуида износи 6,4% (Таб. 70, Сл. 75). Синтезни приказ оптималних садржаја флуида у зависности од мјешавине је приказан на Сл. 78.



Сл. 78. Оптимални садржај флуида за различите мјешавине

6.5. РЕЦЕПТУРЕ МЈЕШАВИНА

Одређивањем оптималног садржаја флуида одређени су сви подаци за дефинисање количина појединачних материјала за справљање узорака.

Редукција оптималног садржаја флуида, према [137], се рачуна по формулама:

- Количина редукције за стандардни Проктор

За оптимални садржај флуида (W_{ofc}) већи од 2%

$$W_{red} = (0,4 * W_{ofc}) - 0,8$$

- Количина редукције за модификовани Проктор (који је примјењен у испитивањима)

За оптимални садржај флуида (W_{ofc}) већи од 2%

$$W_{red} = (0,3 * W_{ofc}) - 0,6$$

Када знамо редукцију воде онда можемо одредити и количину воде за Прокторов опит према:

$$W_{occ} = W_{ofc} - W_{red}$$

Како је коришћена битуменска емулзија која садржи 60% битумена и 40% воде, онда се садржај воде који се додаје одређује према:

$$W_{add} = W_{occ} - \left(\frac{P_W + 0,5 * P_B}{100} \right) * B_{EMUL} - W_{MOIST}$$

W_{add} – садржај воде који треба додати (% - по маси)

W_{occ} – оптимални садржај воде за збијање (% - по маси)

B_{EMUL} – садржај битуменске емулзије (% - по маси)

W_{MOIST} – садржај влаге у влажном узорку (сушеном на ваздуху) (% - по маси)

P_W – проценат воде у битуменској емулзији (%)

P_B – проценат битумена у битуменској емулзији (%)

Рецептура свих мјешавина које су испитиване у докторату су дате у Таб. 71.

Таб. 71. Рецептуре мјешавина које су испитиване

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Рециклирани материјал и филер (g)	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500
Цемент (%)	2	2	2	1,6	1,6	1,6	2
Маса цемента (g)	110	110	110	88	88	88	110
Зеолит (%)	-	-	-	0,4	-	-	-
Маса зеолита (g)	-	-	-	22	-	-	-
Летећи пепео (%)	-	-	-	-	0,4	-	-
Маса летећег пепела (g)	-	-	-	-	22	-	-
Згура (%)	-	-	-	-	-	0,4	-
Маса згуре (g)	-	-	-	-	-	22	-
Бакелит (%)	-	-	-	-	-	-	0,4
Маса бакелита (g)	-	-	-	-	-	-	22,44
Битуменске емулзије (%)	2	3	4	2	2	2	1,6
Маса битуменске емулзије (g)	112,2	168,3	224,4	112,2	112,2	112,2	89,76
Оптимални садржај флуида (%)	6,5	6,5	6,5	6,5	7,6	6,4	6,4
Редукција садржаја воде (%)	1,35	1,35	1,35	1,35	1,68	1,32	1,32
Садржај воде за Прокторов опит (%)	5,15	5,15	5,15	5,15	5,92	5,08	5,08
Додатак воде (%)	3,75	3,05	2,35	3,75	4,52	3,68	3,68
Маса воде (g)	210,375	171,105	131,835	210,375	253,572	206,448	206,448

6.6. ПРОГРАМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ ИСТРАЖИВАЊА

Укупно је, у главном дијелу испитивања, направљено 56 узорак и то:

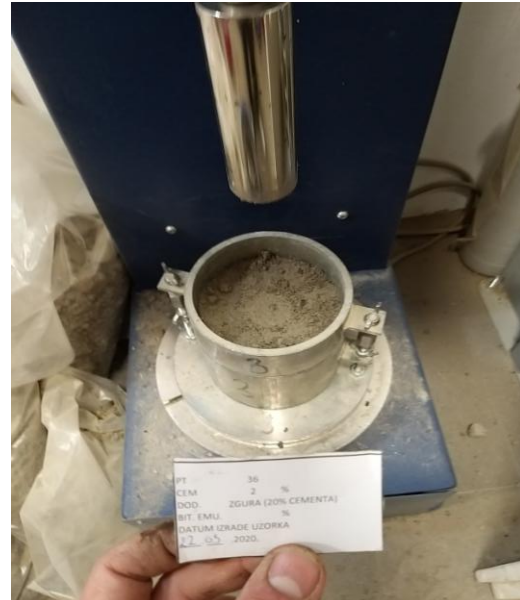
- 8 узорак за мјешавине са 2% цемента и 2% битуменске емулзије:
 - 2 узорак за испитивање индиректне затезне чврстоће након 7 дана у сувом стању,
 - 2 узорак за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у сувом стању,
 - 2 узорак за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у морком стању,
 - 2 узорак за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана код узорак изложених дејству мрза)

- 8 узорака за мјешавине са 2% цемента и 3% битуменске емулзије:
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 7 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у морком стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана код узорака изложених дејству мраза.
- 8 узорака за мјешавине са 2% цемента и 4% битуменске емулзије:
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 7 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у морком стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана код узорака изложених дејству мраза.
- 8 узорака за мјешавине са 1,6% цемента, 0,4% зеолита и 2% битуменске емулзије:
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 7 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у морком стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана код узорака изложених дејству мраза.
- 8 узорака за мјешавине са 1,6% цемента, 0,4% летећег пепела и 2% битуменске емулзије:
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 7 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у морком стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана код узорака изложених дејству мраза.
- 8 узорака за мјешавине са 1,6% цемента, 0,4% згуре и 2% битуменске емулзије:

- 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 7 дана у сувом стању,
- 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у сувом стању,
- 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у морком стању,
- 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана код узорака изложених дејству мраза.
- 8 узорака за мјешавине са 2% цемента, 0,4% бакелита и 1,6% битуменске емулзије:
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 7 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у сувом стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана у морком стању,
 - 2 узорка за испитивање индиректне затезне чврстоће након 28 дана код узорака изложених дејству мраза.

6.7. ПРИПРЕМА УЗОРАКА

У припремљену мјешавину рециклираног асфалта, камена и филера додавана је битуменска емулзија. Сви материјали су затим измјешани како би се добила компактна мјешавина. Мјешавина је набијана набијачем тако да се у калуп сипа пет слојева мјешавине. Енергија збијања, по модификованом Прокторовом опиту је 2750 kNm/m^3 (Сл. 79).



Сл. 79. Додавање емулзије мјешавини (лијево) и набијање мјешавине (десно)

Послије набијања одстрањен је горњи дио калупа па је помоћу екстрактора узорака извађен из калупа (Сл. 80).



Сл. 80. Изглед набијеног узорка у калупу и вађење узорка из калупа помоћу екстрактора

6.8. ЊЕГА УЗОРАКА

Узорци који су набијени и извађени из калупа се стављају у сушницу на 40°C и суше се до константне масе (Сл. 81). Маса узорака се повремено контролише, а сви узорци су достигали константну масу у периоду од око 3 дана од почетка сушења.



Сл. 81. Сушење узорака у сушници

Послије достигања константне масе, узорци су његовани у влажној комори (повећана влажност) на температури 20 ± 2 °C како би се симулирали услови на терену (Сл. 82).



Сл. 82. Његовање узорака у влажној комори

Узорци који су испитивани у сувом стању су његовани у влажној комори до дана испитивања, а затим су сат времена прије испитивања извађени из коморе. Узорци који су испитивани у мокром стању су његовани у влажној комори до један дан прије испитивања, а затим су потопљени у воду један дан, па су након вађења из воде обрисани (обрисан вишак површинске воде) и након тога испитивани (Сл. 83).



Сл. 83. Потопљени узорци у води

Узорци који су испитивани на дејство мраза (Сл. 84) су његовани у влажној комори до 14 дана, а затим су 14 дана били изложени циклусима замрзавања и одмрзавања, да би посљедњег дана (28 дана) били испитивани.



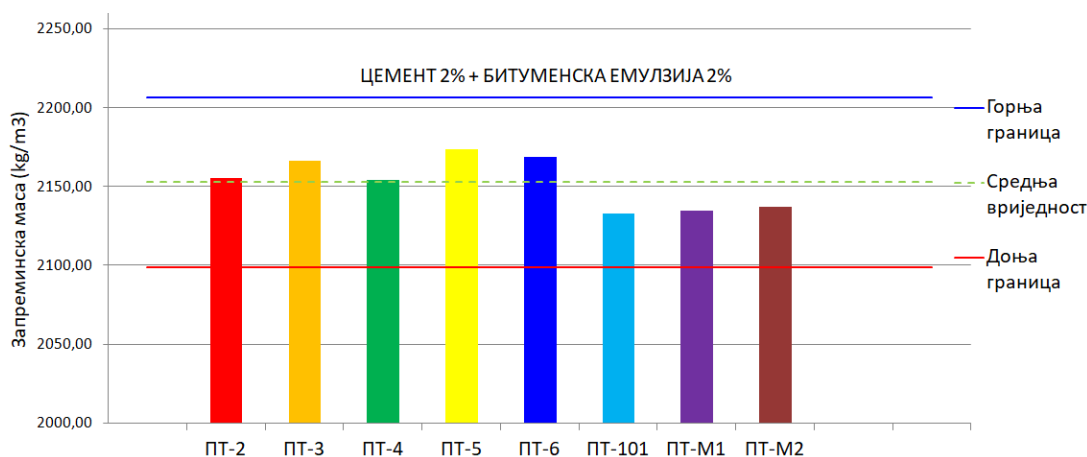
Сл. 84. Његовање узорака (симулирање дејства мраза)

6.9. МЈЕРЕЊЕ И КОНТРОЛА УЗОРАКА

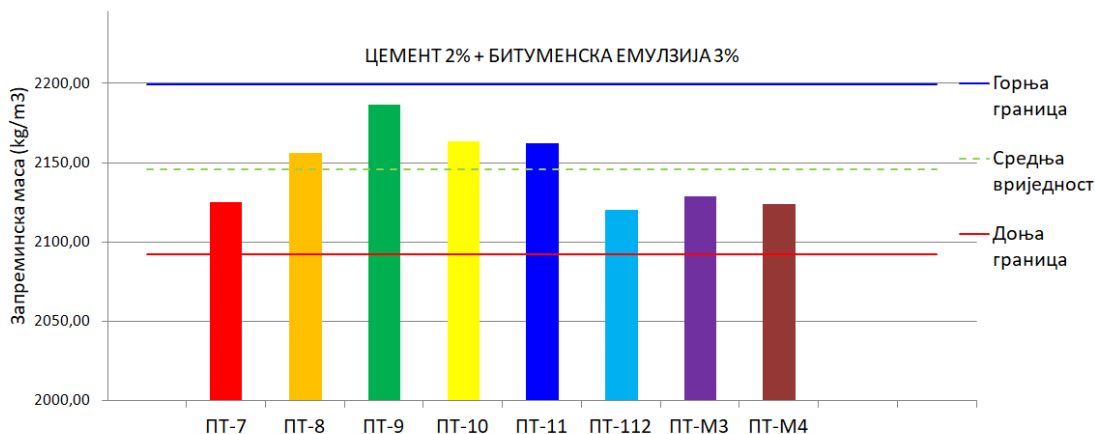
6.9.1. ЗАПРЕМИНСКА МАСА НАКОН СПРАВЉАЊА УЗОРКА

Подаци о свим узорцима након справљања су дати у: ПРИЛОГ 2: ЗАПРЕМИНСКЕ МАСЕ УЗОРАКА НАКОН ВАЂЕЊА ИЗ КАЛУПА.

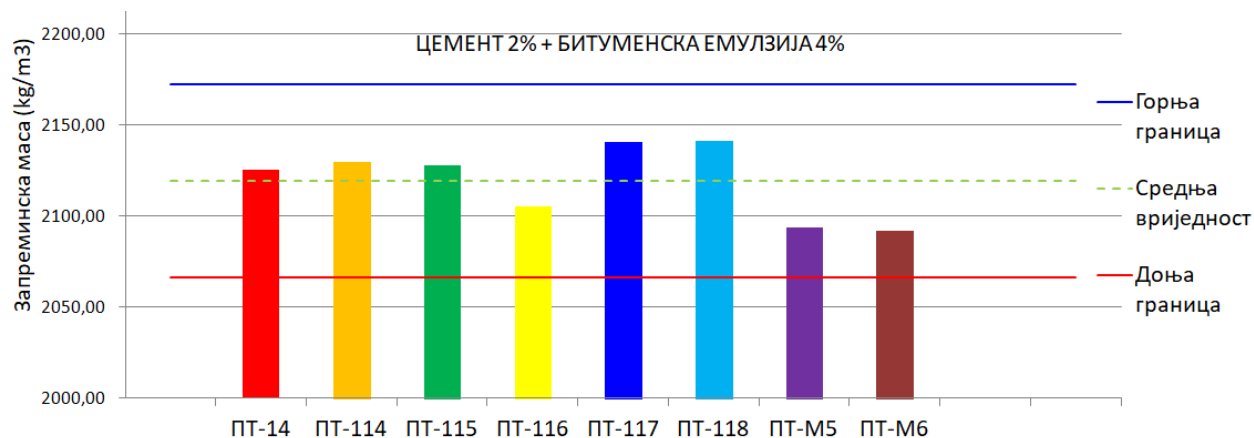
Након сушења, узорцима је одређена запреминска маса (ПРИЛОГ 3: ЗАПРЕМИНСКЕ МАСЕ НАКОН ВАЂЕЊА ИЗ СУШНИЦЕ). По Виртген упутству, из даљег испитивања треба изузети све узорке чија запреминска маса одступа више од 2,5% од средње вриједности. За сваку мјешавину је направљено по 8 узорака и статистичком обрадом података о запреминској маси утврђено је да су све запреминске масе у опсегу средња запреминска маса $\pm 2,5\%$ од средње запреминске масе (Сл. 85, Сл. 86, Сл. 87, Сл. 88, Сл. 89, Сл. 90, Сл. 91).



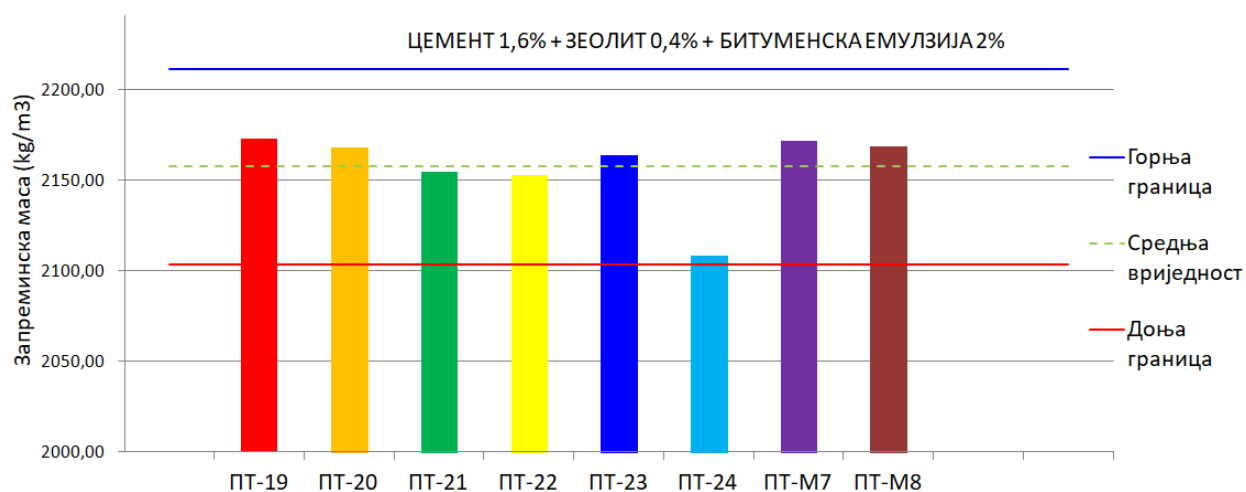
Сл. 85. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са 2% цемента и 2% битуменске емулзије



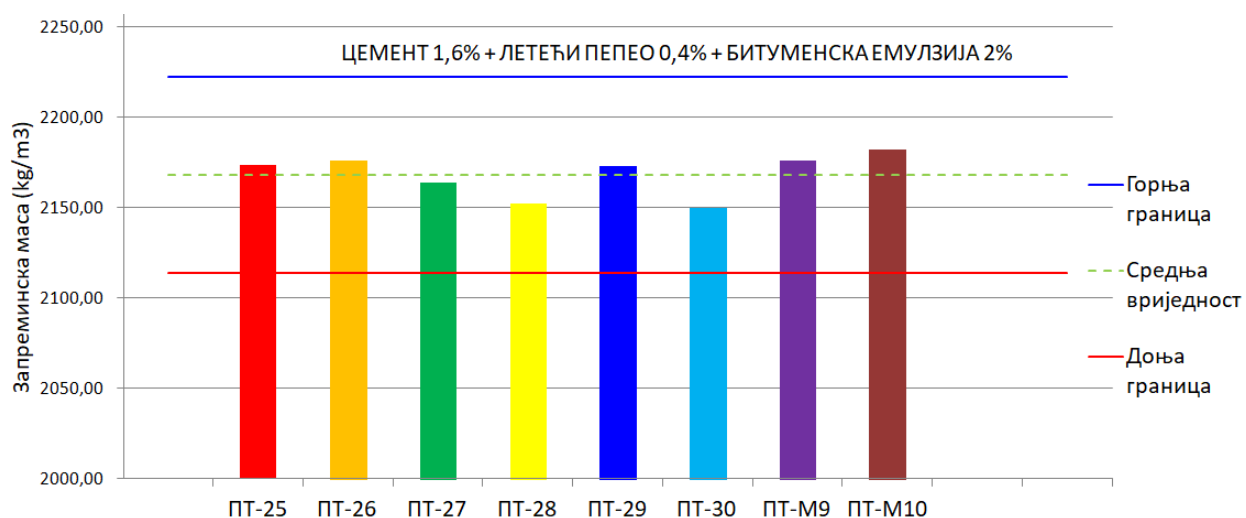
Сл. 86. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са 2% цемента и 3% битуменске емулзије



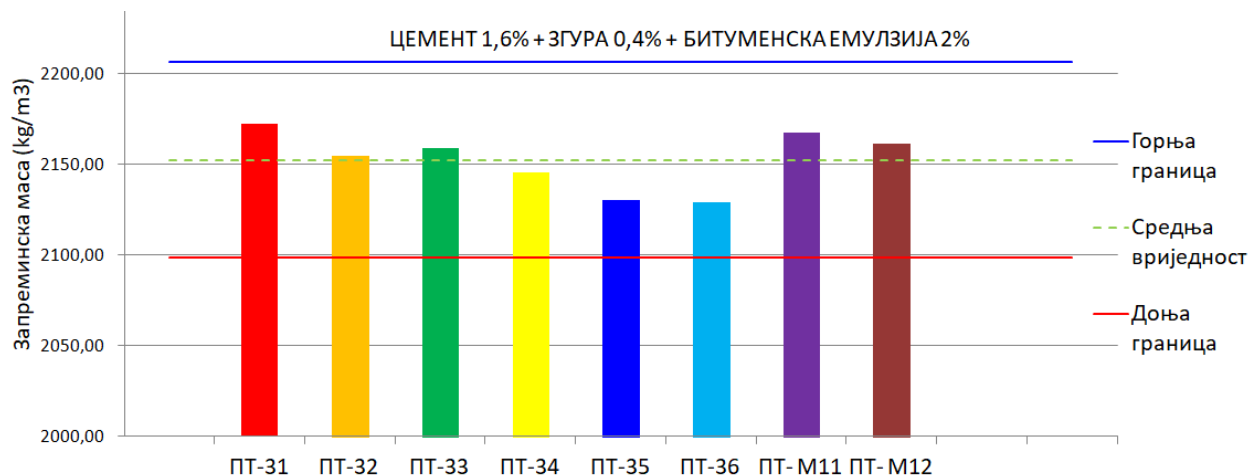
Сл. 87. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са 2% цемента и 4% битуменске емулзије



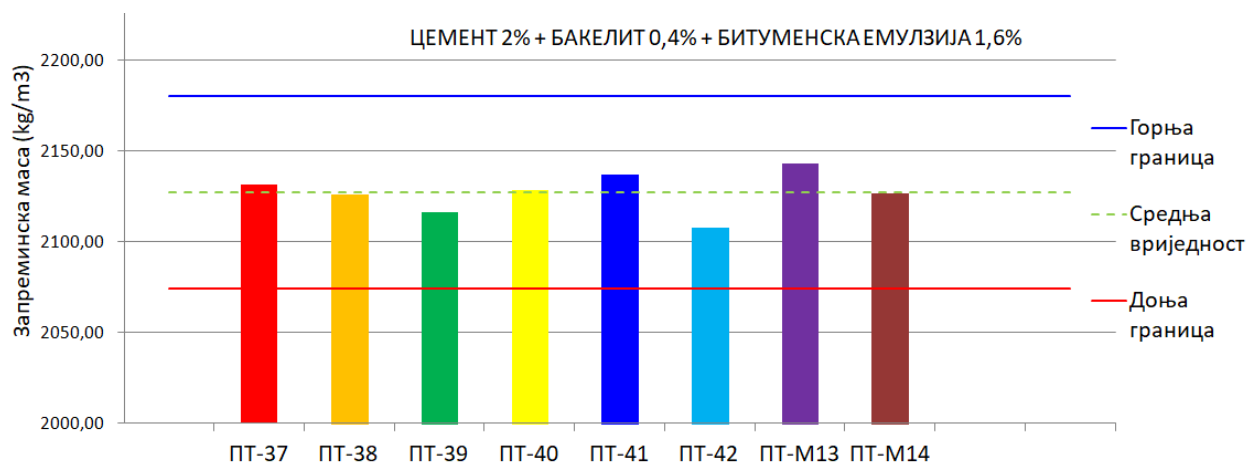
Сл. 88. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са цемента, зеолитом и 2% битуменске емулзије



Сл. 89. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са цемента, летећим пепелом и 2% битуменске емулзије



Сл. 90. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са цементом, згуром и 2% битуменске емулзије



Сл. 91. Запреминске масе појединичних узорака и граничне вриједности за мјешавину са цементом, пластиком и битуменском емулзијом

6.10. ИСПИТИВАЊА

6.10.1. ЗАПРЕМИНСКА МАСА УЗОРАКА ПРИ ИСПИТИВАЊУ

Запреминска маса узорака при испитивању је приказана у Таб. 72, Таб. 73, Таб. 74, Таб. 75, Таб. 76, Таб. 77, Таб. 78. Сваком узорку је измјерена висина на 4 мјеста и пречник на једном мјесту.

Таб. 72. Запреминска маса узорака при испитивању (мјешавине са 2% цемента и 2% емулзије)

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса прије лома узорка [g]	Висина				Просјечна висина [mm]	Пречник D [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]
					H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]			
2%	2%		ПТ-2	4566,7	122	121	122	120	121,25	150	2131,32
			ПТ-101	4563	121	122	122	123	122	150	2116,50
			ПТ-3	4599,3	120	121	121	121	120,75	150	2155,42
			ПТ-4	4558,1	120	121	121	120	120,5	150	2140,55
			ПТ-5	4886,8	125	125	126	125	125,25	150	2207,87
			ПТ-6	4829,8	120	121	121	122	121	150	2258,77
			ПТ-М1	4493,6	124	125	124	122	123,75	150	2054,83
	ПТ-М2	4517,6	121	122	121	120	121	150	2112,76		

Таб. 73. Запреминска маса узорака при испитивању (мјешавине са 2% цемента и 3% емулзије)

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса прије лома узорка [g]	Висина				Просјечна висина [mm]	Пречник D [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]
					H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]			
2%	3%		ПТ-7	4636,7	120	120	120	120	120	150	2186,53
			ПТ-11	4587,1	123	121	120	121	121,25	150	2140,84
			ПТ-10	4596,3	125	126	121	121	123,25	150	2110,32
			ПТ-112	4494,7	120	120	120	120	120	150	2119,57
			ПТ-8	4761,5	120	120	120	121	120,25	150	2240,71
			ПТ-9	4845,5	121	121	122	121	121,25	150	2261,44
			ПТ-М3	4474,8	123	122	121	123	122,25	150	2071,34
			ПТ-М4	4496,6	122	121	121	122	121,5	150	2094,28

Таб. 74. Запреминска маса узорка при испитивању (мјешавине са 2% цемента и 4% емулзије)

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса прије лома узорка [g]	Висина				Просјечна висина [mm]	Пречник D [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]
					H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]			
2%	4%		ПТ-14	4506,1	120	120	120	120	120	150	2124,94
			ПТ-115	4511	121	121	121	121	121	150	2109,67
			ПТ-114	4516	120	120	120	120	120	150	2129,61
			ПТ-116	4472,3	121	121	121	121	121	150	2091,57
			ПТ-117	4729,7	120	121	121	122	121	150	2211,95
			ПТ-118	4725,7	121	121	121	122	121,25	150	2205,53
			ПТ-М5	4434,1	120	121	122	122	121,25	150	2069,43
			ПТ-М6	4426,9	121	122	122	121	121,5	150	2061,82

Таб. 75. Запреминска маса узорка при испитивању (мјешавине са зеолитом)

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса прије лома узорка [g]	Висина				Просјечна висина [mm]	Пречник D [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]
					H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]			
1,6%	2%	зеолит 0,4%	ПТ-20	4599,1	121	121	123	123	122	150	2133,24
		зеолит 0,4%	ПТ-21	4518,5	120	120	120	120	120	150	2130,79
		зеолит 0,4%	ПТ-19	4613,4	121	121	122	123	121,75	150	2144,27
		зеолит 0,4%	ПТ-22	4565,3	120	120	120	120	120	150	2152,86
		зеолит 0,4%	ПТ-23	4821,7	122	122	122	122	122	150	2236,50
		зеолит 0,4%	ПТ-24	4738,7	121	123	121	122	121,75	150	2202,51
		зеолит 0,4%	ПТ-М7	4594,9	121	122	121	123	121,75	150	2135,67
		зеолит 0,4%	ПТ-М8	4567,6	121	121	122	121	121,25	150	2131,74

Таб. 76. Запреминска маса узорка при испитивању (мјешавине са летећим пепелом)

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса прије лома узорка [g]	Висина				Просјечна висина [mm]	Пречник D [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]
					H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]			
1,6%	2%	л. пепео 0,4%	ПТ-25	4613,1	124	122	122	120	122	150	2139,74
		л. пепео 0,4%	ПТ-26	4618,1	120	121	121	122	121	150	2159,76
		л. пепео 0,4%	ПТ-27	4593,6	120	121	121	120	120,5	150	2157,22
		л. пепео 0,4%	ПТ-28	4570,6	121	121	121	121	121	150	2137,55
		л. пепео 0,4%	ПТ-29	4810,8	122	122	122	122	122	150	2231,44
		л. пепео 0,4%	ПТ-30	4759,3	121	121	121	121	121	150	2225,80
		л. пепео 0,4%	ПТ-М9	4609,4	121	121	121	120	120,75	150	2160,15
		л. пепео 0,4%	ПТ-М10	4619,8	121	121	121	121	121	150	2160,56

Таб. 77. Запреминска маса узорка при испитивању (мјешавине са згуром)

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса прије лома узорка [g]	Висина				Просјечна висина [mm]	Пречник D [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]
					H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]			
1,6%	2%	згура 0,4%	ПТ-35	4523,5	120	120	120	120	120	150	2133,15
		згура 0,4%	ПТ-36	4515,1	120	120	120	121	120,25	150	2124,76
		згура 0,4%	ПТ-31	4615,2	123	122	122	122	122,25	150	2136,33
		згура 0,4%	ПТ-32	4573,5	122	121	121	122	121,5	150	2130,10
		згура 0,4%	ПТ-33	4800,1	121	121	121	121	121	150	2244,88
		згура 0,4%	ПТ-34	4773,5	123	122	123	122	122,5	150	2205,10
		згура 0,4%	ПТ- М11	4587,8	124	123	124	123	123,5	150	2102,16
		згура 0,4%	ПТ- М12	4568,1	123	122	122	123	122,5	150	2110,22

Таб. 78. Запреминска маса узорка при испитивању (мјешавине са бакелитом)

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса прије лома узорка [g]	Висина				Просјечна висина [mm]	Пречник D [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]
					H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]			
1,6%	2%	бакелит 0,4%	ПТ-38	4521,6	122	123	123	121	122,25	150	2093,01
		бакелит 0,4%	ПТ-42	4475,7	121	121	120	120	120,5	150	2101,85
		бакелит 0,4%	ПТ-37	4535,7	121	122	121	121	121,25	150	2116,85
		бакелит 0,4%	ПТ-41	4537,8	120	120	120	120	120	150	2139,89
		бакелит 0,4%	ПТ-39	4697,7	120	121	120	121	120,5	150	2206,10
		бакелит 0,4%	ПТ-40	4712,3	120	121	122	122	121,25	150	2199,27
		бакелит 0,4%	ПТ-М13	4541,7	121	121	121	121	121	150	2124,03
		бакелит 0,4%	ПТ-М14	4509,2	121	121	121	122	121,25	150	2104,48

Запреминска маса је одређена на основу формуле:

$$BD_{\text{спец}} = \frac{4 * M_{\text{спец}}}{\pi * d^2 * h} * 10^6$$

гдје је:

$BD_{\text{спец}}$ – запреминска тежина узорка (kg/m³)

$M_{\text{спец}}$ – маса узорка (g)

h – просјечна висина узорка (mm)

d – пречник узорка (mm)

6.10.2. ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Индијектна затезна чврстоћа је испитивана према СРПС ЕН 12697-23 [138] за узорке у сувом стању, док је за узорке у водом засићеном стању чврстоћа одређена према СРПС ЕН 12697-12[139]. Узорци су испитивани на преси произвођача „Матест“. Индијектна затезна чврстоћа се одређује на основу:

$$ITS = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d \cdot h} \cdot 10^6$$

гдје је:

ITS – индијектна затезна чврстоћа (кПа)

P– максимално примјењено оптерећење (кN)

h – просјечна висина узорка (mm)

d - пречник узорка (mm)



Сл. 92. Ломљење узорка (одређивање индијектне затезне чврстоће) на преси

Узорци су ломљени тако да је оптерећење наносено брзином од 50,8 mm/min. На преси је подешено да се оптерећење наноси до тренутка када се, после достижања максималне чврстоће, чврстоћа умањи за 10%. Дијаграми зависности оптерећења и деформације су дати у ПРИЛОГ 4 : ДИЈАГРАМИ ОПТЕРЕЂЕЊЕ-ДЕФОРМАЦИЈА ДОБИЈЕНИ ИСПИТИВАЊЕМ УЗОРАКА. С обзиром да су димензије узорака врло мало варирале од стандардних димензија, висине 120 mm и пречника 150 mm, сви добијени резултати су кориговани како би били упоредиви. Уопштено, корекције су јако мале, тако да чак и да нису урађене, не би се добили пуно другачији резултати. Разлике између коригованих и некоригованих вриједности су мање од 1%. Резултати испитивања су приказани у наредним табелама (Таб. 79 , Таб. 80 ,Таб. 81 ,Таб. 82 ,Таб. 83 ,Таб. 84 ,Таб. 85).

Таб. 79. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са 4% битуменске емулзије

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Индиректна затезна чврстоћа [МПа]
2%	2%	7		ПТ-2	0,403
		7		ПТ-101	0,316
		28 суво		ПТ-3	0,468
		28 суво		ПТ-4	0,486
		28 мокро		ПТ-5	0,231
		28 мокро		ПТ-6	0,455
		28 мраз		ПТ-М1	0,232
		28 мраз		ПТ-М2	0,283

Таб. 80. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са 3% битуменске емулзије

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Индиректна затезна чврстоћа [МПа]
2%	3%	7		ПТ-7	0,316
		7		ПТ-11	0,316
		28 суво		ПТ-10	0,361
		28 суво		ПТ-112	0,400
		28 мокро		ПТ-8	0,575
		28 мокро		ПТ-9	0,496
		28 мраз		ПТ-М3	0,266
		28 мраз		ПТ-М4	0,363

Таб. 81. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са 4% битуменске емулзије

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Индиректна затезна чврстоћа [МПа]
2%	4%	7		ПТ-14	0,344
		7		ПТ-115	0,297
		28 суво		ПТ-114	0,361
		28 суво		ПТ-116	0,373
		28 мокро		ПТ-117	0,348
		28 мокро		ПТ-118	0,384
		28 мраз		ПТ-М5	0,346
		28 мраз		ПТ-М6	0,248

Таб. 82. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са додатком зеолита

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Индиректна затезна чврстоћа [МПа]
1,6%	2%	7	зеолит 0,4%	ПТ-20	0,228
		7	зеолит 0,4%	ПТ-21	0,200
		28 суво	зеолит 0,4%	ПТ-19	0,279
		28 суво	зеолит 0,4%	ПТ-22	0,315
		28 мокро	зеолит 0,4%	ПТ-23	0,240
		28 мокро	зеолит 0,4%	ПТ-24	0,144
		28 мраз	зеолит 0,4%	ПТ-М7	0,263
		28 мраз	зеолит 0,4%	ПТ-М8	0,250

Таб. 83. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са додаком летећег пепела

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Индиректна затезна чврстоћа [МПа]
1,6%	2%	7	л. пепео 0,4%	ПТ-25	0,275
		7	л. пепео 0,4%	ПТ-26	0,324
		28 суво	л. пепео 0,4%	ПТ-27	0,389
		28 суво	л. пепео 0,4%	ПТ-28	0,344
		28 мокро	л. пепео 0,4%	ПТ-29	0,311
		28 мокро	л. пепео 0,4%	ПТ-30	0,270
		28 мраз	л. пепео 0,4%	ПТ-М9	0,237
		28 мраз	л. пепео 0,4%	ПТ-10	0,314

Таб. 84. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са додатком згура

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Индиректна затезна чврстоћа [МПа]
1,6%	2%	7	згура 0,4%	ПТ-35	0,345
		7	згура 0,4%	ПТ-36	0,314
		28 суво	згура 0,4%	ПТ-31	0,376
		28 суво	згура 0,4%	ПТ-32	0,312
		28 мокро	згура 0,4%	ПТ-33	0,275
		28 мокро	згура 0,4%	ПТ-34	0,278
		28 мраз	згура 0,4%	ПТ-М11	0,251
		28 мраз	згура 0,4%	ПТ- М12	0,309

Таб. 85. Вриједности индиректне затезне чврстоће за мјешавине са додатком бакелита

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Индиректна затезна чврстоћа [МПа]
2%	1,6%	7	бакелит 0,4%	ПТ-38	0,208
		7	бакелит 0,4%	ПТ-42	0,215
		28 суво	бакелит 0,4%	ПТ-37	0,268
		28 суво	бакелит 0,4%	ПТ-41	0,275
		28 мокро	бакелит 0,4%	ПТ-39	0,278
		28 мокро	бакелит 0,4%	ПТ-40	0,284
		28 мраз	бакелит 0,4%	ПТ-М13	0,231
		28 мраз	бакелит 0,4%	ПТ-М14	0,267

6.10.3. ДИНАМИЧКИ МОДУЛ ЕЛАСТИЧНОСТИ

Динамички модул еластичности, одређен методом ултразвука, се заснива на одређивању времена пролаза лонгитудалних таласа кроз базу узорка одређене дужине. За разлику од методе резонантне фреквенције, метода ултразвука не зависи од облика узорка, већ зависи од еластичних својстава средине.

Опрема за испитивање ултразвука састоји се од генератора импулса, предајника, пријемника, појачала електричних импулса и мјерача времена [140]. Изглед ултразвучне опреме произвођача „Матест (Matest)“ и начин извођења опита су приказани на *Сл. 93*.



Сл. 93. Испитивање динамичког модула еластичности методом ултразвука

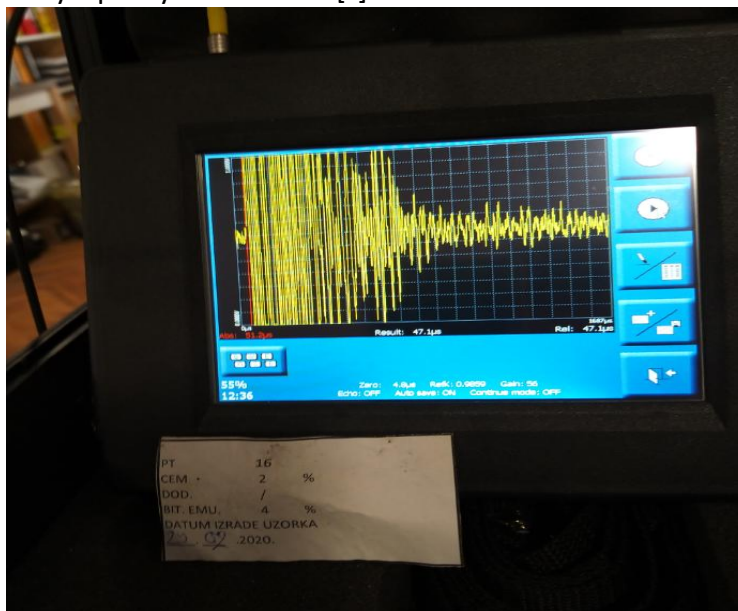
Вријеме пролаза лонгитудалних таласа мјери се од тренутка слања импулса са једне стране узорка па до пријема на другој страни узорка (*Сл. 94*). Вријеме пролаза се означава са T . Брзина ултразвука (V) се одређује према изразу:

$$V = L / T \quad \text{Једначина 9}$$

гдје је:

L – дужина (висина) узорка [m]

T – вријеме путовања ултразвучног таласа [s]



Сл. 94. Приказ сигнала ултразвука за испитане узорке

На основу брзине ултразвука динамички модул еластичности (E) се рачуна према изразу:

$$E = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot ((1+\nu) \cdot (1-2\nu))}{(1-\nu)} \quad \text{Једначина 10}$$

гдје је:

V – брзина лонгитудалних таласа

ρ – запреминска маса материјала [kg/m³]

ν – Поасонов (Poissonov) коефицијент

За цементом стабилизоване материјале вриједности Поасоновог коефицијента износе од 0,15 до 0,30. За прорачун је усвојена вриједност 0,25. Вриједности динамичких модула еластичности су дате у Таб. 86, Таб. 87, Таб. 88, Таб. 89, Таб. 90, Таб. 91, Таб. 92.

Таб. 86. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са 2% битуменске емулзије

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Вријеме путовања уз таласа [μ s]	Просјечна висина [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]	Брзина проласка УЗ [m/s]	Динамички модул еластичности [GPa]
2%	2%	7		ПТ-2	42,9	121,25	2131,32	2826,34	14,188
		7		ПТ-101	49	122	2116,50	2489,80	10,934
		28 суво		ПТ-3	44,8	120,75	2155,42	2695,31	13,049
		28 суво		ПТ-4	40,4	120,5	2140,55	2982,67	15,869
		28 мокро		ПТ-5	88,3	125,25	2207,87	1418,46	3,702
		28 мокро		ПТ-6	46,3	121	2258,77	2613,39	12,856
		28 мраз		ПТ-М1	64,0	123,75	2054,83	1933,59	6,402
		28 мраз		ПТ-М2	63,4	121	2112,76	1908,52	6,413

Таб. 87 Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са 3% битуменске емулзије

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Вријеме путовања уз таласа [μ s]	Просјечна висина [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]	Брзина проласка УЗ [m/s]	Динамички модул еластичности [GPa]
2%	3%	7		ПТ-7	43,9	120	2186,53	2733,49	13,615
		7		ПТ-11	55,5	121,25	2140,84	2184,68	8,515
		28 суво		ПТ-10	53,8	123,25	2110,32	2290,89	9,229
		28 суво		ПТ-112	46,4	120	2119,57	2586,21	11,814
		28 мокро		ПТ-8	42,9	120,25	2240,71	2803,03	14,671
		28 мокро		ПТ-9	40,6	121,25	2261,44	2986,45	16,808
		28 мраз		ПТ-М3	68,6	122,25	2071,34	1782,07	5,482
		28 мраз		ПТ-М4	52,3	121,5	2094,28	2323,14	9,419

Таб. 88. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са 4% битуменске емулзије

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Вријеме путовања уз таласа [μ s]	Просјечна висина [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m^3]	Брзина проласка УЗ [m/s]	Динамички модул еластичности [GPa]
2%	4%	7		ПТ-14	46,5	120	2124,94	2580,65	11,793
		7		ПТ-115	48,6	121	2109,67	2489,71	10,898
		28 суво		ПТ-114	44,4	120	2129,61	2702,70	12,9633
		28 суво		ПТ-116	47,6	121	2091,57	2542,02	11,263
		28 мокро		ПТ-117	45,3	121	2211,95	2671,08	13,151
		28 мокро		ПТ-118	43	121,25	2205,53	2819,77	14,614
		28 мраз		ПТ-М5	56	121,25	2069,43	2165,18	8,085
		28 мраз		ПТ-М6	64,8	121,5	2061,82	1875,00	6,040

Таб. 89. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са зеолитом

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Вријеме путовања уз таласа [μ s]	Просјечна висина [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m^3]	Брзина проласка УЗ [m/s]	Динамички модул еластичности [GPa]
1,6 %	2%	7	зеолит 0,4%	ПТ-20	57,3	122	2133,24	2129,14	8,059
		7	зеолит 0,4%	ПТ-21	57,6	120	2130,79	2083,33	7,707
		28 суво	зеолит 0,4%	ПТ-19	55	121,75	2144,27	2213,64	8,756
		28 суво	зеолит 0,4%	ПТ-22	48,1	120	2152,86	2494,80	11,166
		28 мокро	зеолит 0,4%	ПТ-23	46,2	122	2236,50	2640,69	12,996
		28 мокро	зеолит 0,4%	ПТ-24	56,8	121,75	2202,51	2143,49	8,433
		28 мраз	зеолит 0,4%	ПТ-М7	50,8	121,75	2135,67	2396,65	10,223
		28 мраз	зеолит 0,4%	ПТ-М8	53,4	121,25	2131,74	2270,60	9,159

Таб. 90. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са летећим пепелом

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Вријеме путовања уз таласа [μ s]	Просјечна висина [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]	Брзина проласка УЗ [m/s]	Динамички модул еластичности [GPa]
1,6 %	2%	7	л. пепео 0,4%	ПТ-25	51,3	122	2139,74	2378,17	10,085
		7	л. пепео 0,4%	ПТ-26	45,3	121	2159,76	2671,08	12,841
		28 суво	л. пепео 0,4%	ПТ-27	45,5	120,5	2157,22	2648,35	12,609
		28 суво	л. пепео 0,4%	ПТ-28	49,1	121	2137,55	2464,36	10,818
		28 мокро	л. пепео 0,4%	ПТ-29	45	122	2231,44	2711,11	13,668
		28 мокро	л. пепео 0,4%	ПТ-30	47	121	2225,80	2574,47	12,294
		28 мраз	л. пепео 0,4%	ПТ-М9	58,9	120,75	2160,15	2050,08	7,566
		28 мраз	л. пепео 0,4%	ПТ-М10	49,4	121	2160,56	2449,39	10,802

Таб. 91. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са згуром

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Вријеме путовања уз таласа [μ s]	Просјечна висина [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]	Брзина проласка УЗ [m/s]	Динамички модул еластичности [GPa]
1,6 %	2%	7	згура 0,4%	ПТ-35	47,1	122	2139,74	2378,17	10,085
		7	згура 0,4%	ПТ-36	46	121	2159,76	2671,08	12,841
		28 суво	згура 0,4%	ПТ-31	46,2	120,5	2157,22	2648,35	12,609
		28 суво	згура 0,4%	ПТ-32	47,3	121	2137,55	2464,36	10,818
		28 мокро	згура 0,4%	ПТ-33	47,5	122	2231,44	2711,11	13,668
		28 мокро	згура 0,4%	ПТ-34	50,6	121	2225,80	2574,47	12,294
		28 мраз	згура 0,4%	ПТ-М11	54,6	120,75	2160,15	2050,08	7,566
		28 мраз	згура 0,4%	ПТ-М12	49,8	121	2160,56	2449,39	10,802

Таб. 92. Вриједности динамичког модула еластичности за мјешавине са бакелитом

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Вријеме од припреме до испитивања [дан]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Вријеме путовања уз таласа [μ s]	Просјечна висина [mm]	Запреминска маса узорка прије лома [kg/m ³]	Брзина проласка УЗ [m/s]	Динамички модул еластичности [GPa]
2%	1,6%	7	бакелит 0,4%	ПТ-38	64,1	122,25	2093,01	1907,18	6,344
		7	бакелит 0,4%	ПТ-42	58	120,5	2101,85	2077,59	7,560
		28 суво	бакелит 0,4%	ПТ-37	53,6	121,25	2116,85	2262,13	9,027
		28 суво	бакелит 0,4%	ПТ-41	50,8	120	2139,89	2362,20	9,951
		28 мокро	бакелит 0,4%	ПТ-39	49,7	120,5	2206,10	2424,55	10,807
		28 мокро	бакелит 0,4%	ПТ-40	50,7	121,25	2199,27	2391,52	10,482
		28 мраз	бакелит 0,4%	ПТ-М13	55,4	121	2124,03	2184,12	8,444
		28 мраз	бакелит 0,4%	ПТ-М14	52,6	121,25	2104,48	2305,13	9,319

ПОГЛАВЉЕ 7

7. АНАЛИЗА И ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

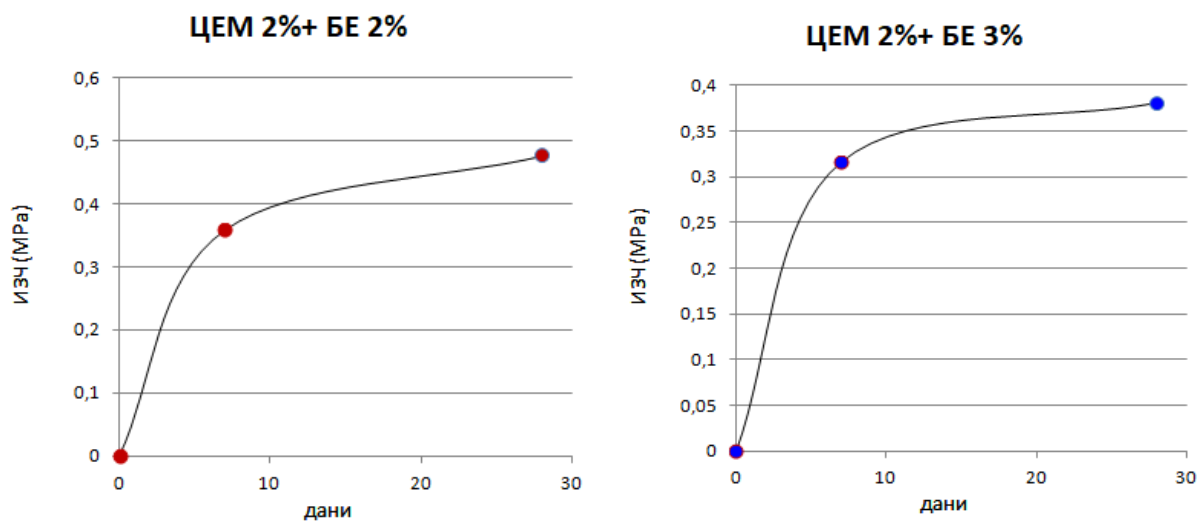
7.1. АНАЛИЗА ИНДИРЕКТНЕ ЗАТЕЗНЕ ЧВРСТОЋЕ

Након приказаних резултата појединачних узорака прорачунате су средње вриједности својстава за све мјешавине (Таб. 93).

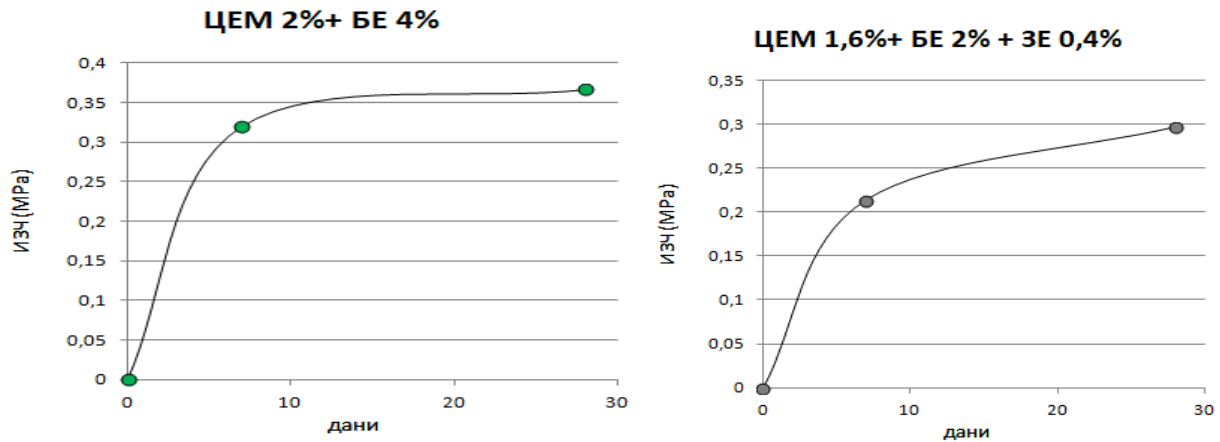
Таб. 93. Средње вриједности индиректне затезне чврстоће за све мјешавине

Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Додатак		ИЗЧ (7 дана)		ИЗЧ (28 дана)	
		Назив	(%)	непотопљен [МПа]	непотопљен [МПа]	потопљен [МПа]	мраз [МПа]
2	2	/	/	0,360	0,477	0,343	0,258
2	3	/	/	0,316	0,381	0,536	0,315
2	4	/	/	0,321	0,367	0,366	0,297
1,6	2	Зеолит	0,4	0,214	0,297	0,192	0,257
1,6	2	Летећи пепео	0,4	0,2995	0,367	0,291	0,276
1,6	2	Згура	0,4	0,330	0,344	0,277	0,280
2	1,6	Бакелит	0,4	0,2115	0,272	0,281	0,249

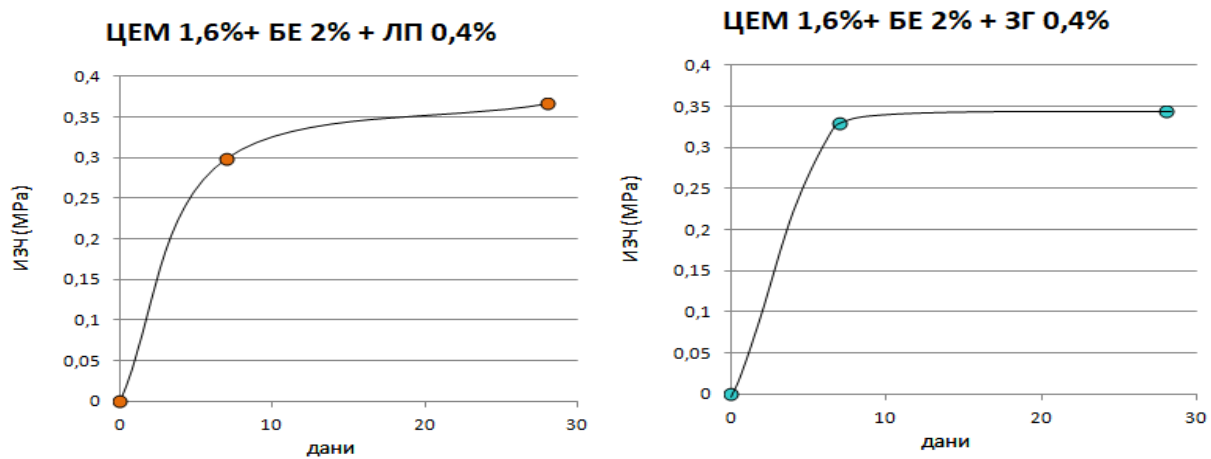
Примјетно је, за све мјешавине, да индиректна затезна чврстоћа расте током времена. Индиректна затезна чврстоћа узорака испитиваних након 28 дана је већа од индиректне затезне чврстоће након 7 дана. Прираст индиректне затезне чврстоће током времена је изражен код свих мјешавина осим код мјешавина са згуром гдје прираст чврстоће врло мали (Сл. 95, Сл. 96, Сл. 97, Сл. 98).



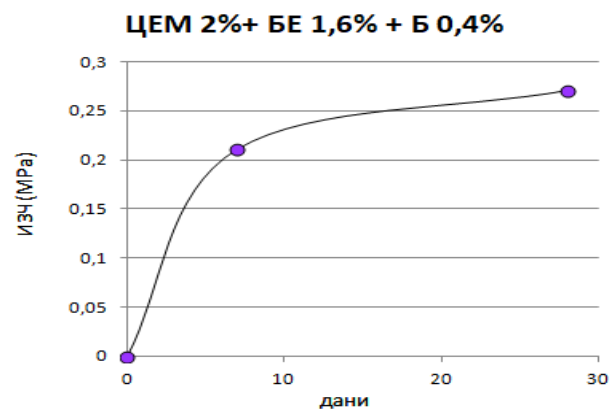
Сл. 95. Прираст индиректне затезне чврстоће током времена (мјешавине са 2% емулзије и мјешавине са 3% емулзије)



Сл. 96. Прираст индиректне затезне чврстоће током времена (мјешавине са 4% емулзије и мјешавине са зеолитом)



Сл. 97. Прираст индиректне затезне чврстоће током времена (мјешавине са летећим пепелом и мјешавине са згуром)



Сл. 98. Прираст индиректне затезне чврстоће током времена (мјешавине са бакелитом)

Узорци који су испитивани у водом засићеном стању, након 28 дана његовања, имају већином мање индиректне затезне чврстоће у односу на суве узорке. Изузеци су мјешавина са 2% цемента и 3% битуменске емулзије и мјешавина са додатком бакелита. Узорци који су испитивани на дејство мраза, након 28 дана његовања, имају мање чврстоће у односу чврстоће добијене на сувим узорцима.

7.2. АНАЛИЗА ЗАОСТАЛЕ ЗАТЕЗНЕ ЧВРСТОЋЕ

Заостала затезна чврстоћа (Tensile Strenght Ratio –TSR), тј. однос чврстоћа мокрых и сувих узорака, се одређује на основу формуле:

$$TSR = \frac{aveITS_{WET}}{aveITS_{DRY}} * 100$$

гдје је:

TSR – заостала затезна чврстоћа (%)

aveITS_{WET} – просјечна вриједност ИЗЧ влажних узорака (кПа)

aveITS_{DRY} – просјечна вриједност ИЗЧ сувих узорака (кПа)

Таб. 94. Поређење индиректних затезних чврстоћа након 28 дана узорака потопљених у воду и изложених дејству мраза са узорцима његованих у сувим условима

Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије(%)	Додатак		28 дана				
		Назив	(%)	ИЗЧ непотопљен [МПа]	ИЗЧ потопљен [МПа]	Заостала индиректна чврстоћа - ТСР (%)	ИЗЧ мраз [МПа]	Заостала индиректна чврстоћа - ТСР (%)
2	2	/	/	0,477	0,343	71,91	0,258	54,09
2	3	/	/	0,381	0,536	140,87	0,315	82,79
2	4	/	/	0,367	0,366	99,73	0,297	80,93
1,6	2	Зеолит	0,4	0,297	0,291	97,98	0,267	89,90
1,6	2	Летећи пепео	0,4	0,367	0,192	52,39	0,257	70,12
1,6	2	Згура	0,4	0,344	0,277	80,52	0,280	81,40
2	1,6	Бакелит	0,4	0,272	0,281	103,50	0,249	91,71

Заостале чврстоће након потапања су већином мање у односу на суве узорке (Таб. 94). У оквиру дисертације су урађене и заостале чврстоће и за узорке изложене дејству мраза, што у досадашњим истраживањима није била честа пракса. Нису дефинисане конкретне захтјеване вриједности, што се тиче заосталих чврстоћа, за хладно рециклиране мјешавине са додатком цемента и битуменске емулзије. Хрватска упутства [67] захтјевају да ТСР буде већи од 80% за хладне рециклаже са хидрауличким везивима. Исто се наводи и према стандарду СРПС ЕН 13286-41:2012 [141].

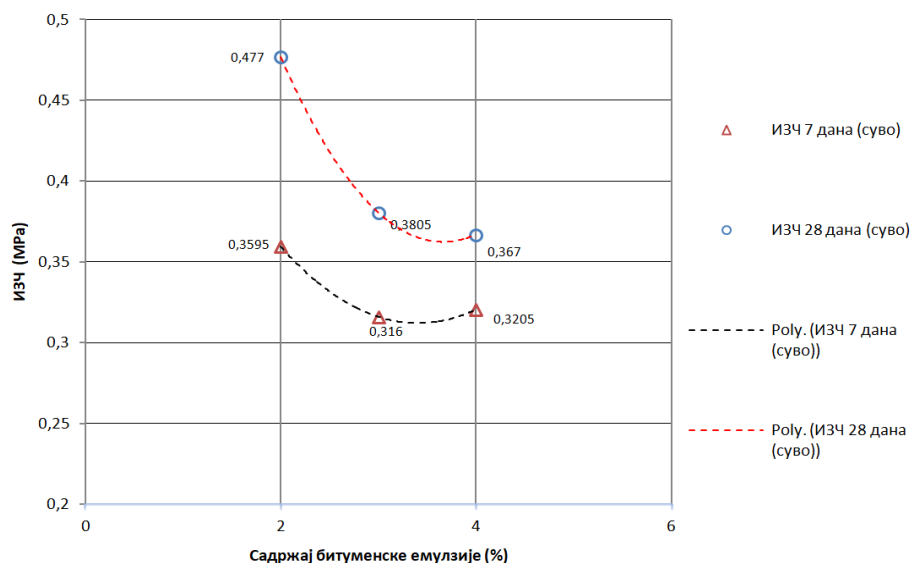
7.3. АНАЛИЗА ДИНАМИЧКОГ МОДУЛА ЕЛАСТИЧНОСТИ

Средње вриједности динамичког модула еластичности, за све мјешавине, су израчунате (Таб. 95) и на основу тих података може се закључити да динамички модул опада са повећањем садржаја битуменске емулзије. Такође, уочава се да се динамички модул еластичности мјешавина повећава током времена, тј. да је већи на узорцима његованим 28 дана у односу на узорке његоване 7 дана. За узорке који су испитивани у водом засићеном стању о динамичком модулу не може се изнијети уопштен закључак, јер су за поједине мјешавине мање вриједности, а за поједине мјешавине веће вриједности динамичког модула еластичности у односу на узорке његоване у сувом стању. Динамички модул еластичности за узорке изложене дејству мраза је мањи у односу на узорке његоване у сувом стању.

Таб. 95. Средње вриједности динамичког модула еластичности за све мјешавине

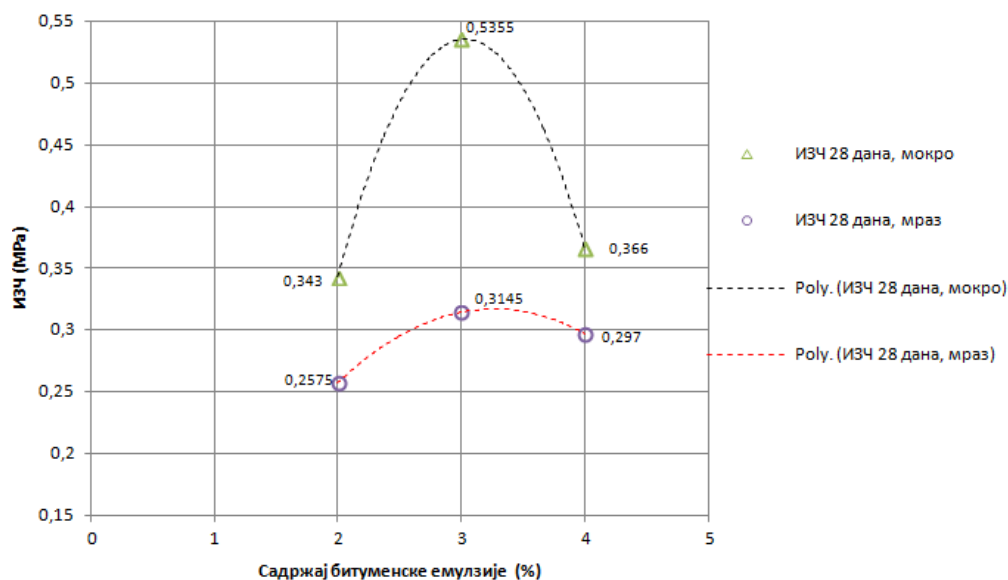
Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Додатак		ДМЕ(7 дана) непотопљен [GPa]	ДМЕ (28 дана)		
		Назив	(%)		непотопљен [GPa]	потопљен [GPa]	мраз [GPa]
2	2	/	/	12,561	14,459	8,279	6,408
2	3	/	/	11,065	10,522	15,739	7,450
2	4	/	/	11,345	12,113	13,882	7,063
1,6	2	Зеолит	0,4	7,883	9,961	10,715	9,691
1,6	2	Летећи пепео	0,4	11,463	11,713	12,981	9,184
1,6	2	Згура	0,4	11,819	12,089	11,455	9,802
2	1,6	Бакелит	0,4	6,952	9,489	10,645	8,881

7.4. УТИЦАЈ САДРЖАЈА БИТУМЕНСКЕ ЕМУЛЗИЈЕ

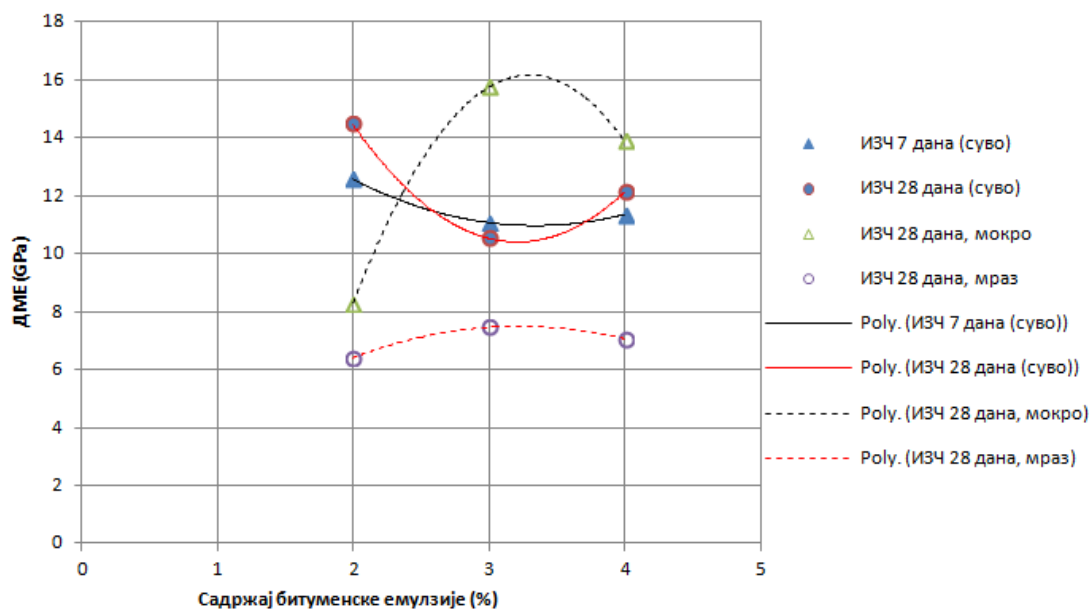


Сл. 99. Зависност индиректне затезне чврстоће од садржаја емулзије (суви узорци)

Повећањем садржаја битуменске емулзије код узорака испитиваних у сувом стању долази до смањења индиректне затезне чврстоће, док код узорака испитиваних у водом засићеном стању и изложених дејству мрза имамо успон, па затим пад, вриједности индиректне затезне чврстоће (Сл. 99, Сл. 100). Слични трендови се запажају и код динамичког модула еластичности (Сл. 101).



Сл. 100. Зависност индиректне затезне чврстоће од садржаја емулзије (мокри узорци и узорци изложени дејству мрза)



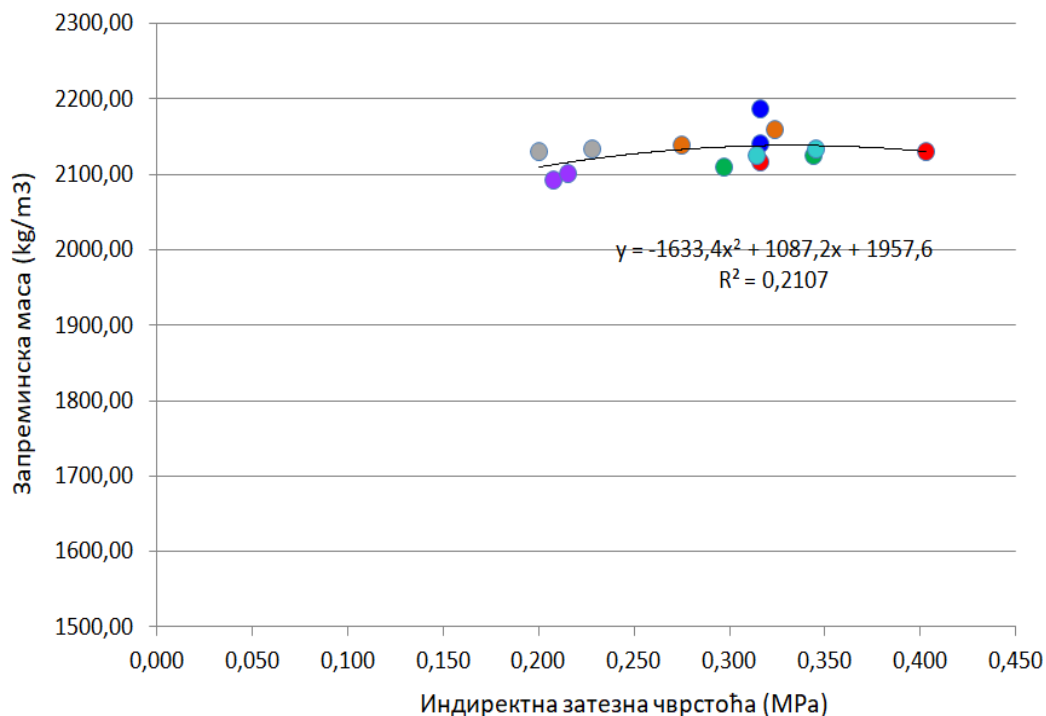
*Сл. 101. Зависност динамичког модула еластичности од садржаја емулзије***7.5. ФУНКЦИОНАЛНЕ ЗАВИСНОСТИ ИЗМЕЂУ ИЗМЈЕРЕНИХ ПАРАМЕТАРА МЈЕШАВИНА**

Статистика је метод који се примјењује са циљем описивања, процјене и анализе карактеристика група. Подаци у овој докторској дисертацији су подјељени у групе према услову његовања узорака. На тај начин смо добили 4 групе:

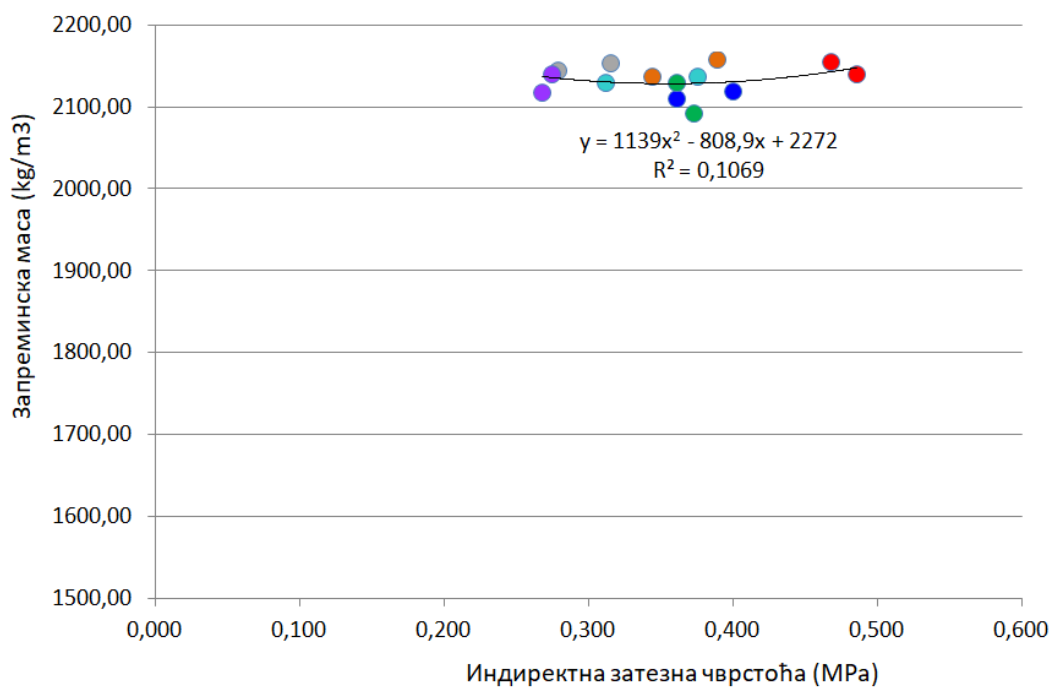
- Група 1 – узорци његовани 7 дана у сувим условима
- Група 2 – узорци његовани 28 дана у сувим условима
- Група 3 – узорци његовани 28 дана, али су били испитивани у водом засићеном стању
- Група 4 – узорци његовани 28 дана, али су били изложени циклусима дејства мрза

Примјењена је регресиона анализа уз претпоставку да постоји корелација између добијених података. Задатак регресионе анализе је да открије функционални облик – регресиони модел, коме се највише приближава квантитативно слагање варијација посматраних параметара [142]. Претпоставка је да постоји корелација између запреминске масе при испитивању и индиректне затезне чврстоће, индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности и да постоји корелација између запреминске масе при испитивању и динамичког модула еластичности. Усвајани су корелациони модели са највећом вриједношћу коефицијента регресије (R^2). Коефицијент регресије нам показује колико се добијени модел поклапа са измјереним вриједностима. Коефицијент регресије може да има вриједности од 0 до 1. Што је вриједност коефицијента регресије ближа вриједности 1 то модел боље описује измјерене вриједности и може се утврдити боља корелација. Ако би рецимо вриједност коефицијента регресије R^2 била 0,64 то значи да би 64% укупне варијације може објаснити моделом, а преосталих 36% се не може објаснити моделом.

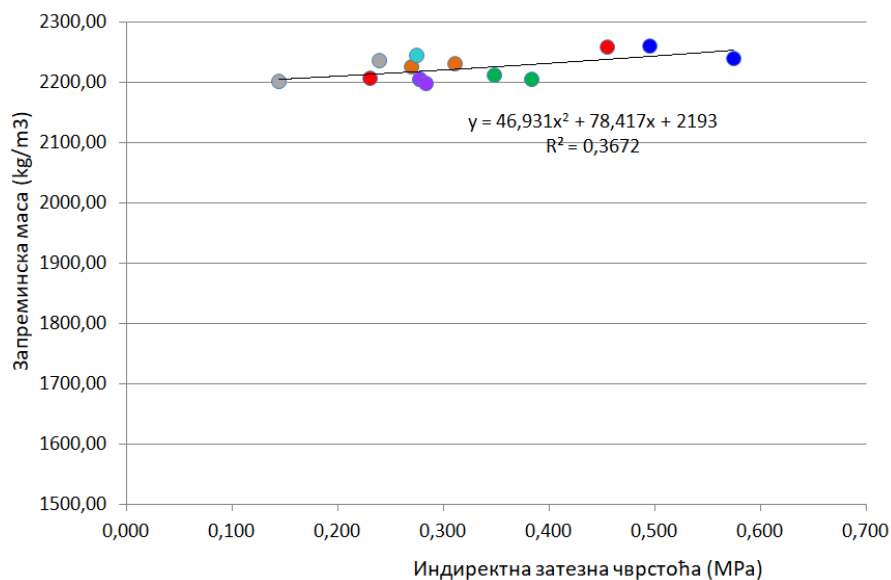
Сл. 102 приказује зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће за узорке његоване 7 дана у сувим условима и та зависност је описана квадратном функцијом. Вриједност коефицијента регресије је 0,2107 што указује на слабу корелацију између наведених својстава. На *Сл. 103* је приказана зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће за узорке његоване 28 дана у сувим условима и та зависност је описана квадратном функцијом, јер она има највећи коефицијент регресије. Вриједност коефицијента регресије је 0,1069 што указује на јако слабу корелацију између наведених својстава. *Сл. 104* приказује зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће за узорке његоване 28 дана, а испитивани су у водом засићеном стању и та зависност је описана линеарном функцијом. Вриједност коефицијента регресије је 0,3672 на основу чега можемо указује на слабу корелацију између наведених својстава.



Сл. 102. Зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће (након 7 дана у сувом стању)

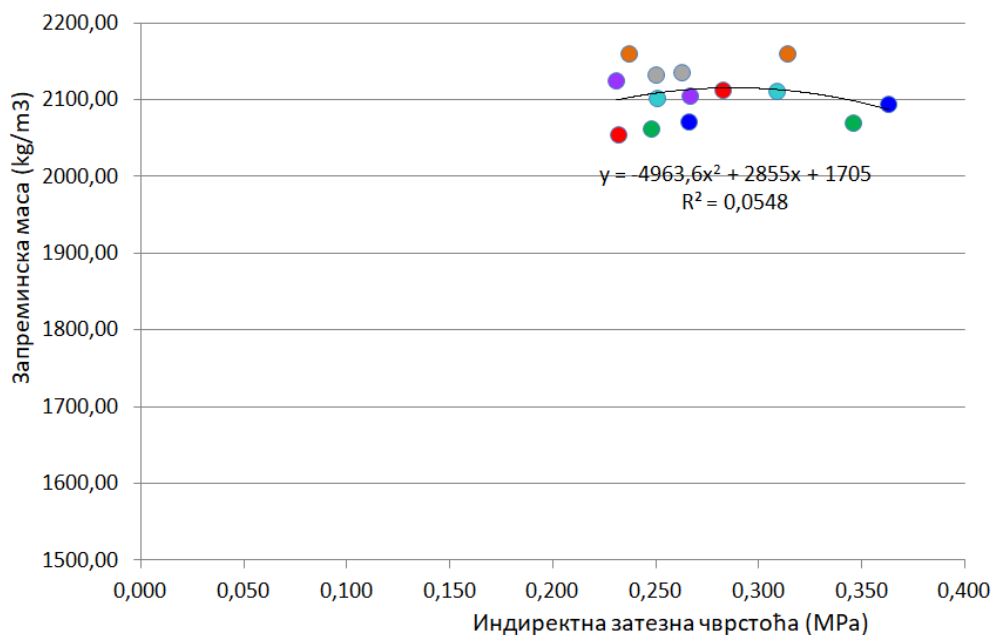


Сл. 103. Зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће (након 28 дана у сувом стању)



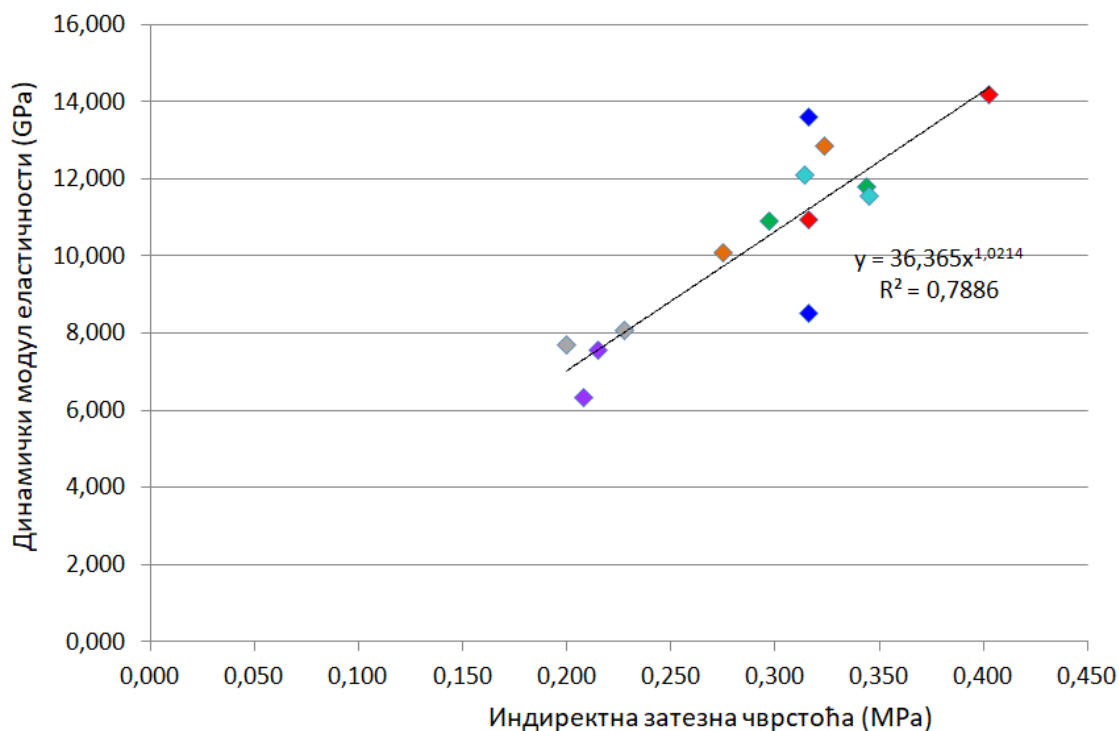
Сл. 104. Зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће (након 28 дана у водом засићеном стању)

На Сл. 105 је приказана зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће за узорке његоване 28 дана, а узорци су били изложени дејству циклуса мраза, и та зависност је описана квадратном функцијом, јер она има највећи коефицијент регресије. Вриједност коефицијента регресије је 0,0548 што указује на јако слабу корелацију између наведених својстава.

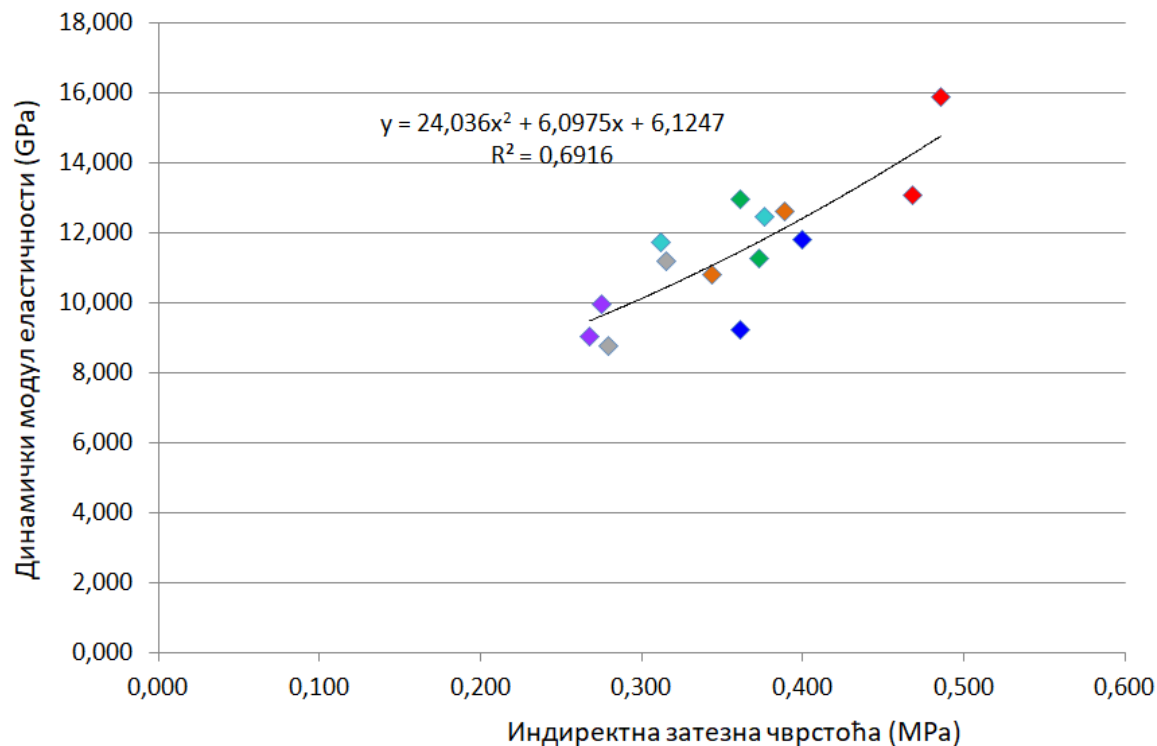


Сл. 105. Зависност између запреминске масе и индиректне затезне чврстоће (након 28 дана – узорци су изложени дејству мраза)

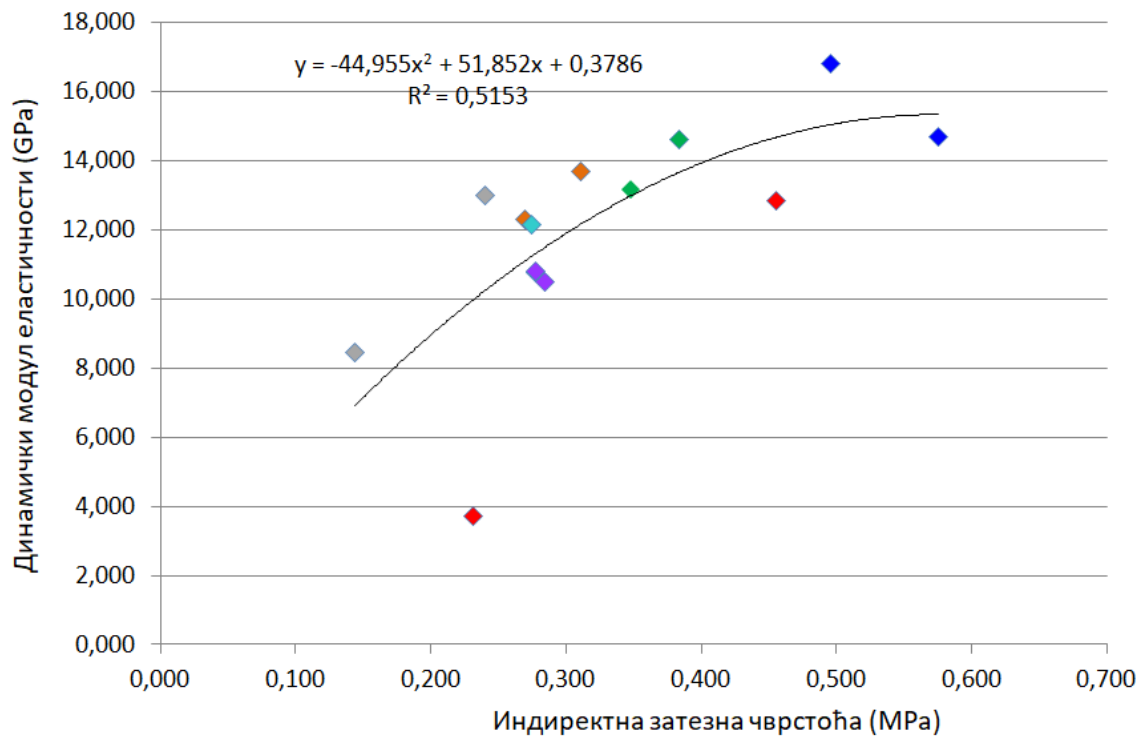
Функционална зависност између динамичког модула еластичности и индиректне затезне чврстоће за узорке његоване 7 дана у сувим условима је приказана на *Сл. 106*. Вриједност коефицијента регресије је 0,7886 за експоненцијалну функцију и та зависност се може дефинисати као врло добра. Функционална зависност између динамичког модула еластичности и индиректне затезне чврстоће за узорке његоване 28 дана у сувим условима је приказана на *Сл. 107*. Вриједност коефицијента регресије је 0,6916 за квадратну параболу и та зависност се може дефинисати као врло добра. *Сл. 108* приказује зависност између динамичког модула еластичности и индиректне затезне чврстоће за узорке његоване 28 дана, а испитивани су у водом засићеном стању, и та зависност је описана квадратном параболом. Вриједност коефицијента регресије је 0,5153 што указује на средње добру корелацију између наведених својстава. На *Сл. 109* је приказана зависност између динамичког модула еластичности и индиректне затезне чврстоће за узорке његоване 28 дана, а узорци су били изложени дејству циклуса мраза. Коефицијент регресије износи 0,1738 што указује на јако слабу корелацију.



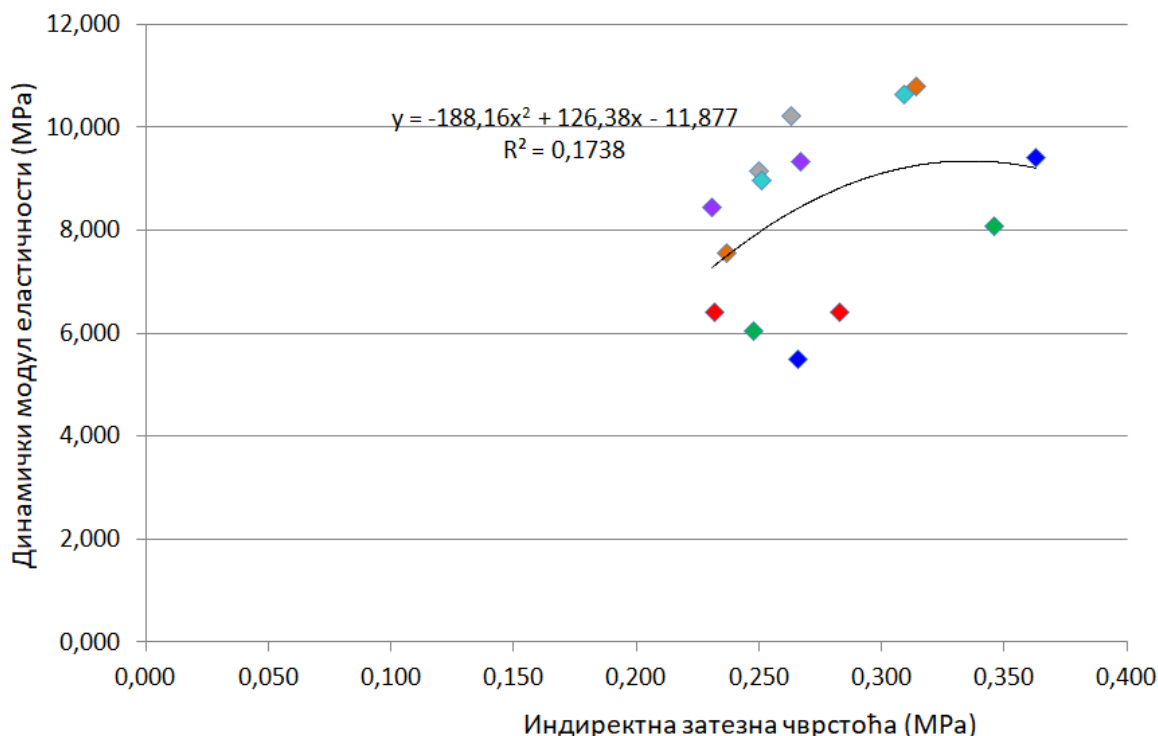
Сл. 106. Зависност између индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности (након 7 дана у сувом стању)



Сл. 107. Зависност између индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности (након 28 дана у сувом стању)

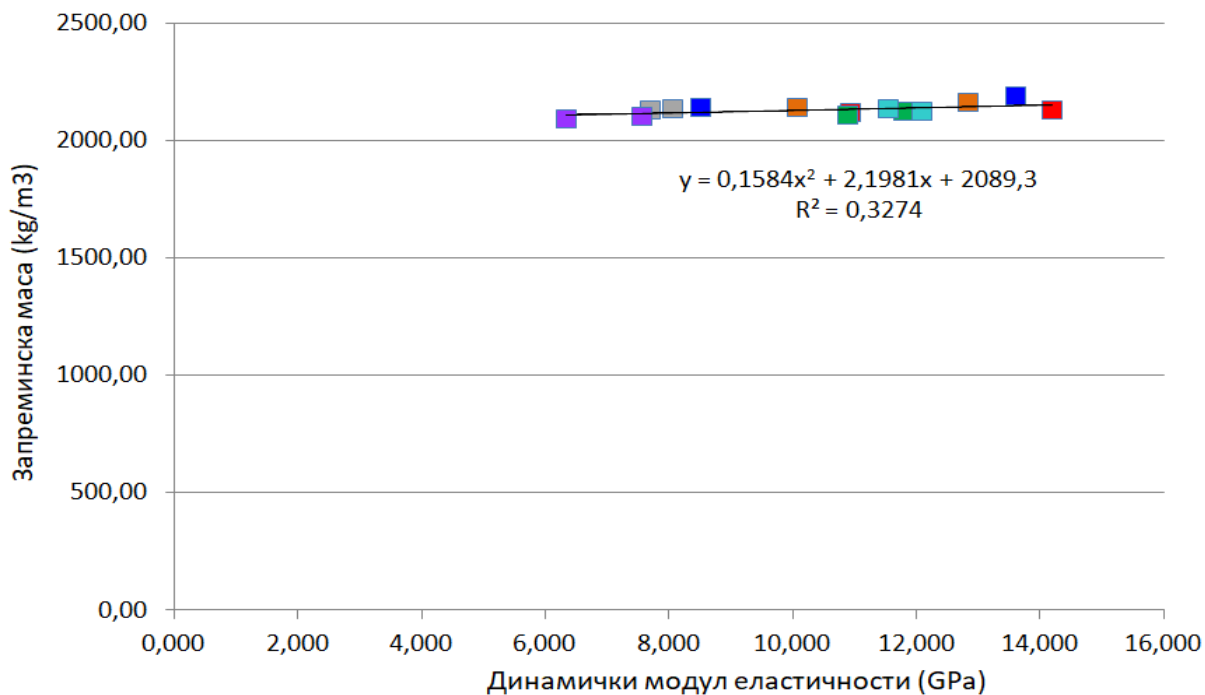


Сл. 108. Зависност између индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности (након 28 дана у водом засићеном стању)

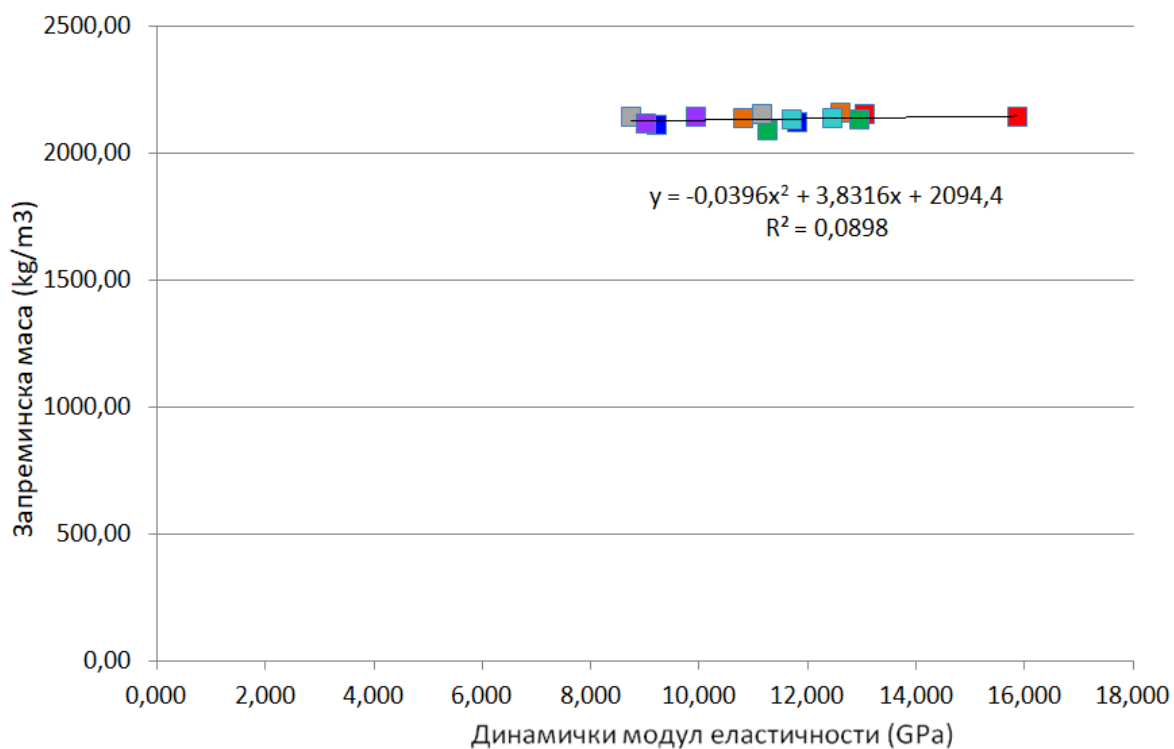


Сл. 109. Зависност између индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности (након 28 дана – узорци изложени дејству мраза)

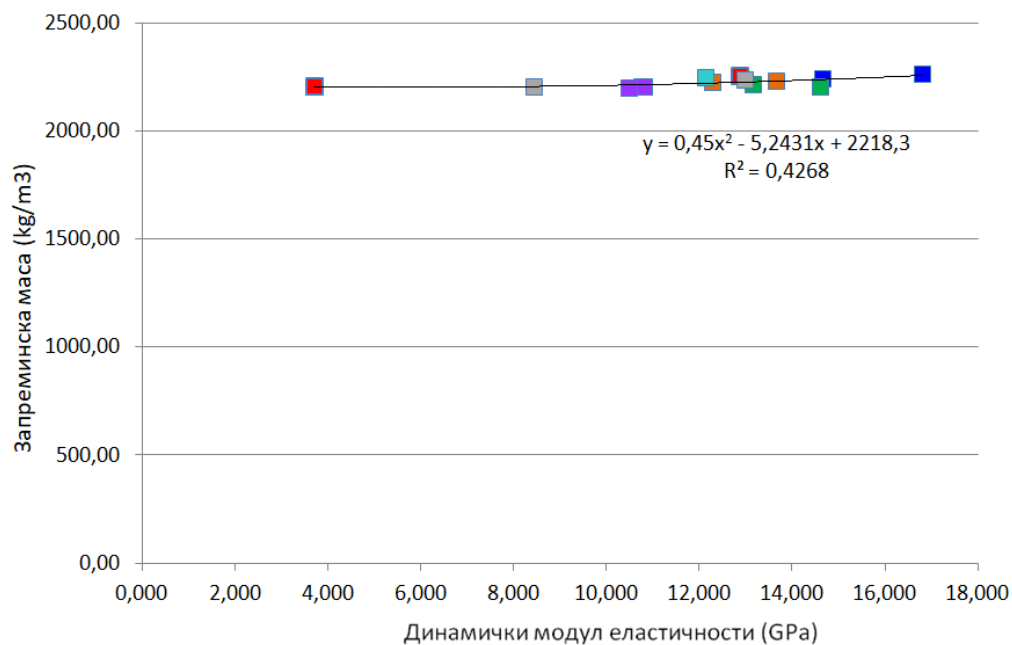
На Сл. 110 је приказана зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности, за узорке испитиване након 7 дана његовања у сувим условима. Функционална зависност је приказана квадратном параболом, а коефицијент регресије износи 0,3274 што се може дефинисати као лоша корелација. Сл. 111 приказује зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности, за узорке испитиване након 28 дана његовања у сувим условима. Функционална зависност је приказана квадратном параболом, а коефицијент регресије износи 0,0898 па се може рећи да је јако лоша корелација између ових својстава. Функционална зависност запреминске масе и динамичког модула еластичности, за узорке његоване 28 дана и испитиване у мокром стању, је приказана на Сл. 112. Функција је описана квадратном параболом, а коефицијент регресије је 0,426 па се може рећи да је то средње добра корелација. Сл. 113 приказује зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности за узорке његоване 28 дана, а били су изложени циклусима дејства мраза, и та зависност је описана експоненцијалном функцијом. Вриједност коефицијента регресије је 0,3616 што указује на лошу корелацију између наведених својстава.



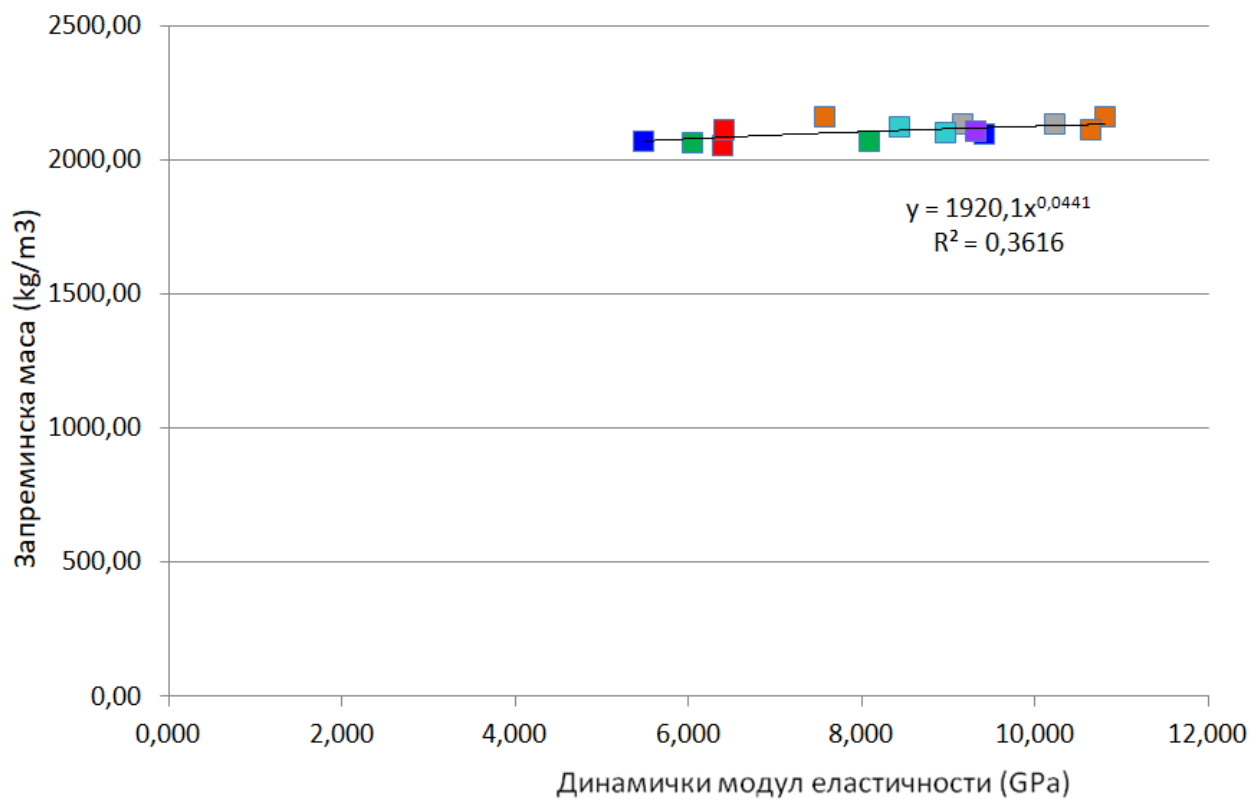
Сл. 110. Зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности (након 7 дана у сувом стању)



Сл. 111. Зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности (након 28 дана у сувом стању)



Сл. 112. Зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности (након 28 дана у водом засићеном стању)



Сл. 113. Зависност између запреминске масе и динамичког модула еластичности (након 28 дана – узорци изложени дејству мрза)

7.6. ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ИСПИТИВАНИХ МЈЕШАВИНА

7.6.1. ПОРЕЂЕЊЕ ФЛЕКСИБИЛНЕ И СТАБИЛИЗОВАНЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

Прије економске анализе мјешавина које су справљене у оквиру дисертације урађена је економска анализа једне стабилизоване коловозне конструкције и једне флексибилне коловозне конструкције. Анализа је урађена како би се приказала предност у цијени стабилованих коловозних конструкција у односу на флексибилне.

Прорачун коловозне конструкције је урађен за средње саобраћајно оптерећење и то $1,0 * 10^6$ прелаза стандардне осовине од 82 kN (Tm) и за калифорнијски индекс носивости (CBR) постељице од 5%. Прорачун коловозне конструкције је извршен према стандарду СРПС У.Ц4.012.

Прорачун флексибилне коловозне конструкције

1. Одређивање замјенских дебљина

Дебљина асфалтних слојева је одређена на основу саобраћајног оптерећења

$$\log d_{ac} = 0,219 * \log Tm - 0,265$$

$$d_{ac} = 11,19 \text{ cm}$$

Дебљина носивих слојева је одређена на основу саобраћајног оптерећења и носивости постељице:

$$d_{nc} = 42 \text{ cm}$$

2. Одређивање замјенских коефицијената појединих материјала

Асфалт бетон ($S_m = 8 \text{ kN}$) $a_{ab} = 0,42$

Битуменизирани носиви слој од дробљеног камена ($S_m = 6 \text{ kN}$) $a_{bnc} = 0,36$

Дробљени невезани камени агрегат 0/31,5 mm (CBR=80%) $a_{dk0/31,5} = 0,14$

Дробљени невезани камени агрегат 0/63 mm (CBR=30%) $a_{dk0/63} = 0,11$

3. Одређивање захтјеваног структурног броја

$$S_{зах.} = d_{ac} * a_{ac} + d_{nc} * a_{nc} = 11,19 * 0,38 + 42 * 0,09 = 8,03$$

4. Одређивање појединих дебљина замјенских слојева

$$d_{ac} * a_{ac} = d_{ab} * a_{ab} + d_{bnc} * a_{bnc}$$

Како имамо једну једначину, а двије непознате, на основу врсте саобраћајног оптерећења увајамо дебљину слоја асфалт бетона. За застор се усваја АБ 11 с (у складу са типом саобраћајног оптерећења) који има технолошку дебљину од 4,0 до 6,0 см.

Усваја се дебљина од 5,0 см.

$$\begin{aligned} d_{\text{БНС}} &= (11,19 * 0,38 - 5 * 0,42) / 0,36 \\ d_{\text{БНС}} &= 5,98 \text{ см} \end{aligned}$$

За доњи слој се усваја БНС 22 (у складу са типом саобраћајног оптерећења) који има технолошку дебљину од 6,0 до 10,0 см.

Усваја се дебљина од 6,0 см.

$$d_{\text{НС}} * a_{\text{НС}} = d_{\text{ДКО/31,5}} * a_{\text{ДКО/31,5}} + d_{\text{ДКО/63}} * a_{\text{ДКО/63}}$$

Претпоставља се дебљина слоја дробљеног каменог агрегата 0/31,5 mm (15 см).

$$\begin{aligned} 42 * 0,09 &= 15 * 0,14 + d_{\text{ДКО/63}} * 0,11 \\ d_{\text{ДКО/63}} &= 15,27 \text{ см} \end{aligned}$$

Усваја се дебљина од 20,0 см.

5. Одређивање пројектованог структурног броја

$$\begin{aligned} SN_{\text{прој.}} &= d_{\text{АБ11с}} * a_{\text{АБ11с}} + d_{\text{БНС22}} * a_{\text{БНС22}} + d_{\text{ДКО/31,5}} * a_{\text{ДКО/31,5}} + d_{\text{ДКО/63}} * a_{\text{ДКО/63}} \\ SN_{\text{прој.}} &= 5 * 0,42 + 6 * 0,36 + 15 * 0,14 + 20 * 0,11 \\ SN_{\text{прој.}} &= 8,56 \end{aligned}$$

Услов носивости ($SN_{\text{прој.}} = 8,56 \geq SN_{\text{зах.}} = 8,03$) је задовољен. Пројектована носивост је за 6,6% већа од захтјеване.

6. Скица усвојене коловозне конструкције

Слојеви коловозне конструкције	Коте дубина слојева (m)	Дебљина слоја (cm)	Назив слоја
	0.00-0.05	5	АБ 11 с
	0.05-0.11	6	БНС 22
	0.11-0.26	15	ДК 0/31,5 mm
	0.26-0.46	20	ДК 0/63 mm

ПОСТЕЉИЦА (CBR=5%)

Сл. 114. Пресјек усвојене флексибилне коловозне конструкције

Прорачун стабилизowane коловозне конструкције

1. Одређивање замјенских дебљина

Дебљина асфалтних слојева је одређена на основу саобраћајног оптерећења

$$\log d_{ac} = 0,219 * \log Tm - 0,357$$

$$d_{ac} = 9,06 \text{ cm}$$

Дебљина носивих слојева је одређена на основу саобраћајног оптерећења и носивости постељице

$$d_{nc} = 27 \text{ cm}$$

2. Одређивање замјенских коефицијената појединих материјала

Асфалт бетон ($S_m = 8 \text{ kN}$) $a_{аб} = 0,42$

Битуменизирани носиви слој од дробљеног камена ($S_m = 6 \text{ kN}$) $a_{бнс} = 0,36$

Стабилизовани слој ($\sigma_7 = 4 \text{ MN/m}^2$) $a_{сс} = 0,22$

Дробљени невезани камени агрегат 0/31,5 mm –камен из постојеће коловозне конструкције (CBR=80%) $a_{дк0/31} = 0,11$

3. Одређивање захтјеваног структурног броја

$$S_{нзах.} = d_{ac} * a_{ac} + d_{nc} * a_{nc} = 9,06 * 0,38 + 27 * 0,2 = 9,15$$

4. Одређивање појединих дебљина замјенских слојева

$$d_{ac} * a_{ac} = d_{аб} * a_{аб} + d_{бнс} * a_{бнс}$$

Како у случају једну једначину, а двије непознате, на основу врсте саобраћајног оптерећења увајамо дебљину слоја асфалт бетона. За застор се усваја АБ 11 с (у складу са типом саобраћајног оптерећења) који има технолошку дебљину од 4,0 до 6,0 cm.

Усваја се дебљина од 4,0 cm.

$$d_{бнс} = (9,06 * 0,38 - 4 * 0,42) / 0,36$$

$$d_{бнс} = 4,89 \text{ cm}$$

За доњи слој се усваја БНС 22 (у складу са типом саобраћајног оптерећења) који има технолошку дебљину од 6,0 до 10,0 cm.

Усваја се дебљина од 6,0 cm.

Претпоставља се дебљина слоја стабилизованог слоја (15 cm).

$$27 * 0,20 = d_{\text{дк0/31,5}} * 0,14 + 15 * 0,22$$

$$d_{\text{дк0/63}} = 15 \text{ cm}$$

Усваја се дебљина од 15 cm као дебљина постојећег камена која ће се посматрати у анализи.

5. Одређивање пројектованог структурног броја

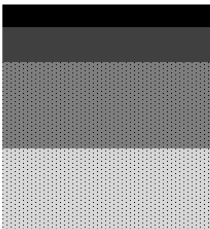
$$C_{H_{\text{прој.}}} = d_{\text{аб11с}} * a_{\text{аб11с}} + d_{\text{бнс22}} * a_{\text{бнс22}} + d_{\text{дк0/31,5}} * a_{\text{дк0/31,5}} + d_{\text{сс}} * a_{\text{сс}}$$

$$C_{H_{\text{прој.}}} = 4 * 0,42 + 6 * 0,36 + 15 * 0,14 + 15 * 0,22$$

$$C_{H_{\text{прој.}}} = 9,24$$

Услов носивости ($C_{H_{\text{прој.}}} = 9,24 \geq C_{H_{\text{зах.}}} = 9,15$) је задовољен. Пројектована носивост је за 1 % већа од захтјеване.

6. Скица усвојене коловозне конструкције

Слојеви коловозне конструкције	Коте дубина слојева (m)	Дебљина слоја (cm)	Назив слоја
	0.00-0.04	4	АБ 11 с
	0.04-0.10	6	БНС 22
	0.10-0.25	15	СТАБИЛИЗОВАНИ СЛОЈ
	0.25-0.40	15	ПОСТОЈЕЋИ ДК 0/31,5 mm

ПОСТЕЉИЦА (CBR=5%)

Сл. 115. Пресјек усвојене флексибилне коловозне конструкције

7.6.2. ПОРЕЂЕЊЕ ЦИЈЕНА ФЛЕКСИБИЛНЕ И СТАБИЛИЗОВАНЕ КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

Мора се напоменути да се пореди цијена само за израду коловозне конструкције. Анализира се цијена за километар пута ширине 6,5 m (Таб. 96, Таб. 97).

Таб. 96. Цијена флексибилне коловозне конструкције по километру (Извор цијена: тржишне цијене добијене из компанија које се баве изградњом и одржавањем путева)

Слој коловозне конструкције	Количина материјала / по km пута ширине 6,5 m [m ³]	Цијена материјала [РСД/m ³]	Укупна цијена материјала / по km пута ширине 6,5 m [РСД]
АБ 11 с	325	24.200	7.865.000
БНС 22	390	23.100	9.009.000
ДК 0/31,5 mm	975	4.500	4.387.500
ДК 0/63 mm	1300	4.500	5.850.000
Укупно			21.261.500

Таб. 97. Цијена стабилизване конструкције по километру (Извор цијена: тржишне цијене добијене из компанија које се баве изградњом и одржавањем путева)

Слој коловозне конструкције	Количина материјала / по km пута ширине 6,5 m [m ³]	Цијена материјала [РСД/m ³]	Укупна цијена материјала / по km пута ширине 6,5 m [РСД]
АБ 11 с	260	24.200	6.292.000
БНС 22	390	23.100	9.009.000
СТАБИЛИЗОВАНИ СЛОЈ	975	3.000	2.925.000*
ДК 0/31,5 mm ПОСТОЈЕЋИ	975	0	0*
Укупно			18.226.000

* користе се материјали из постојеће коловозне конструкције

На основу анализе у табелама се закључује да је јефтинија варијанта са стабиловањем коловозне конструкције ако се узме у обзир да се користе и поједини материјали из постојеће конструкције. Анализиране су само цијене материјала. Поређење је урађено као увод у анализу цијена мјешавина које су испитиване у докторској дисертацији и да би се показало зашто су уопште разматране стабилизације и хладне рециклаже као тема. У сљедећем дијелу ће бити анализиране цијене израде слоја са мјешавинама које су справљане у испитивањима у докторској дисертацији.

7.6.3. ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ХЛАДНО РЕЦИКЛИРАНИХ МЈЕШАВИНА

Састав мјешавина које су анализирани је приказан у *Таб. 98*.

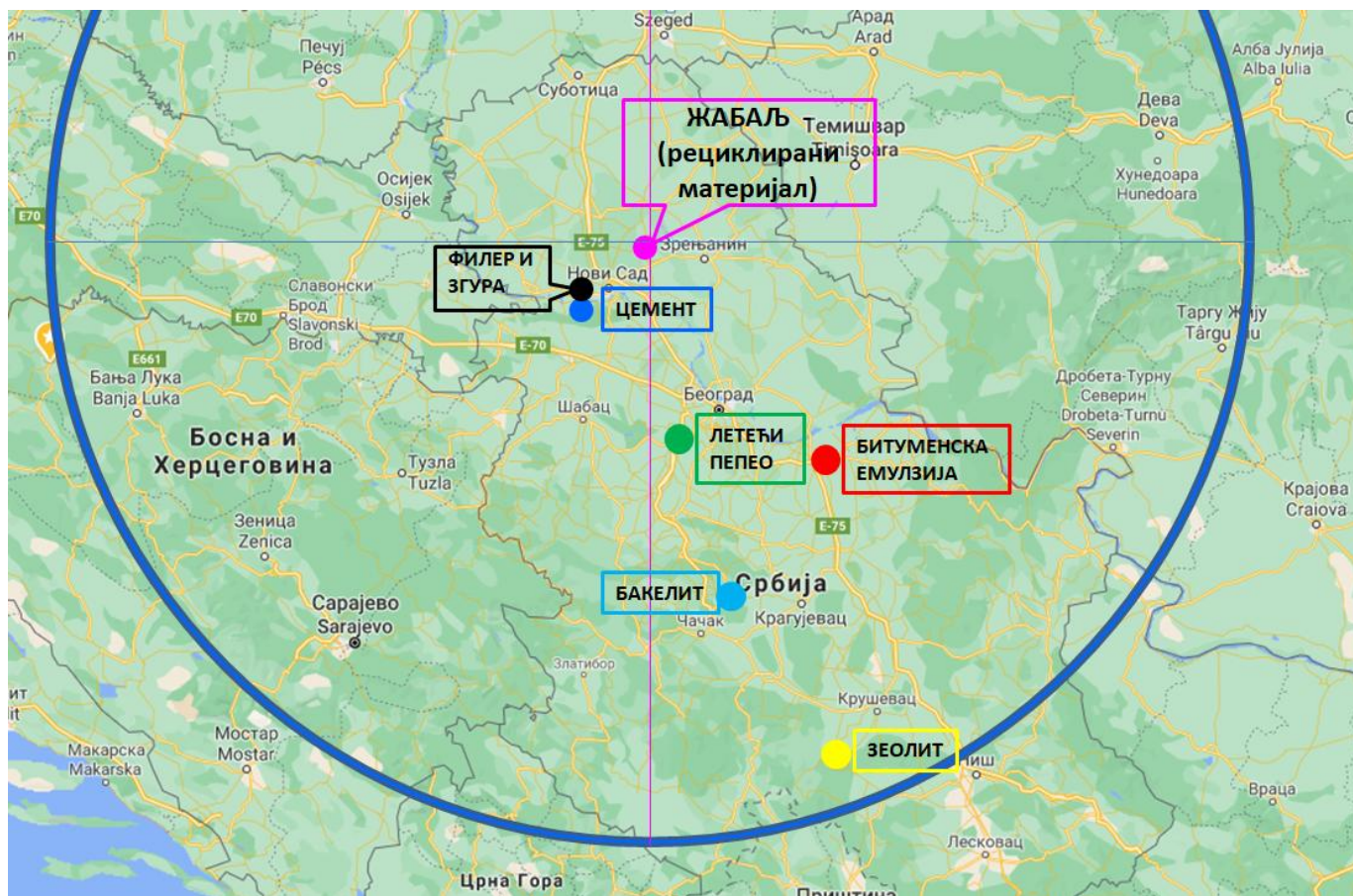
Таб. 98. Састав мјешавина које су испитиване

	Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије(%)	Додатак		Материјал који се стабилизује	
			Назив	Садржај (%)	Рециклирани асфалт и рециклирани камен (%)	Додатни филер (%)
M1	2	2	/	/	77,2	22,8
M2	2	3	/	/	77,2	22,8
M3	2	4	/	/	77,2	22,8
M4	1,6	2	Зеолит	0,4	77,2	22,8
M5	1,6	2	Летећи пепео	0,4	77,2	22,8
M6	1,6	2	Згура	0,4	77,2	22,8
M7	2	1,6	Бакелит	0,4	77,2	22,8

Поријекло материјала и удаљеност мјеста производње од улице Светог Николе у Жабљу су приказани у *Таб. 99* и *Сл. 116*.

Таб. 99. Поријекло материјала и удаљеност мјеста производње до Жабља

Материјал	Поријекло материјала		Растојање од мјеста производње материјала до Жабља [km]
Цемент	Фабрика цемента Лафарж	Беочин, Србија	45
Битуменска емулзија	Хаугард битуменске емулзије	Мала Крсна, Србија	95
Рециклирани материјали (асфалт и дробљени камен)	/	Жабаль, Србија	0
Згура	Карин комерц	Нови Сад, Србија	35
Филер	Карин комерц	Нови Сад, Србија	35
Бакелит	Металац посуђе	Горњи Милановац, Србија	200
Летећи пепео	ТЕНТ Б	Обреновац, Србија	125
Зеолит	Зеокоп	Брус, Србија	300



Сл. 116. Приказ Жабља и локација свих материјала са назнаком растојања од 300 километара (плавни круг)

За економску анализу испитиваних мјешавина усвојене су сљедеће претпоставке:

1. Разматра се потребна количина материјала за стабилизацију једног километра пута поступком хладне рециклаже на лицу мјеста.
2. Разматра се стабилизација постојеће конструкције у дебљини од 20 cm поступком хладне рециклаже.
3. Претпостављена је ширина коловоза 6,50 m.
4. За сваку анализирану мјешавину усвојене су средње запреминске масе како би се добиле тежине кубног метра мјешавине (Таб. 100).

Таб. 100. Количина материјала за један километар пута (различите мјешавине)

Мјешавина	Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Додатак		Запреминска маса [kg/m ³]	Количина материјала (мјешавине) за 1 километар пута
			Назив	Садржај (%)		
M1	2	2	/	/	2152,724	2798541,27
M2	2	3	/	/	2145,755	2789481,13
M3	2	4	/	/	2119,640	2755532,43
M4	1,6	2	Зеолит	0,4	2157,724	2805041,27
M5	1,6	2	Летећи пепео	0,4	2168,396	2818915,09
M6	1,6	2	Згура	0,4	2152,500	2798250,00
M7	2	1,6	Бакелит	0,4	2127,300	2765489,39

5. На основу тежинских односа (Таб. 101) у оквиру једног узорка (процентуално) усвојени су тежински односи у оквиру сваке мјешавине и добијене су количине материјала појединих материјала за мјешавине (Таб. 102).

Таб. 101. Процентуална заступљеност материјала у мјешавинама

Мјешавина	Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Додатак		Процентуална заступљеност цемента (%)	Процентуална заступљеност битуменске емулзије (%)	Вода (%)	Додатак	
			Назив	Садржај (%)				Рециклирани асфалт и рециклирани камен (%)	Додатни филер (%)
M1	2	2	/	0	1,854	1,891	3,546	71,556	21,153
M2	2	3	/	0	1,849	2,829	2,876	71,353	21,093
M3	2	4	/	0	1,844	3,761	2,210	71,152	21,033
M4	1,6	2	Зеолит	0,371	1,483	1,891	3,546	71,556	21,153
M5	1,6	2	Летећи пепео	0,368	1,473	1,878	4,243	71,039	21,000
M6	1,6	2	Згура	0,371	1,484	1,893	3,482	71,603	21,167
M7	2	1,6	Бакелит	0,378	1,855	1,511	3,482	71,606	21,167

Таб. 102. Количине појединих материјала за километар пута

Мјешавина	Количина цемента по километру пута (kg)	Количина битуменске емулзије по километру пута (kg)	Количина воде по километру пута (kg)	Додатак		Додатак	
				Назив	Количина додатка по километру пута (kg)	Количина рециклираног асфалта и камена по километру пута (kg)	Количина филера по километру пута (kg)
M1	51889,701	52927,495	99239,052	/	0,000	2002517,888	591967,138
M2	51575,397	78910,357	80225,530	/	0,000	1990388,342	588381,506
M3	50803,994	103640,148	60888,587	/	0,000	1960618,500	579581,201
M4	41608,177	53050,426	99469,549	Зеолит	10402,044	2007169,014	593342,064
M5	41511,712	52927,433	119615,999	Летећи пепео	10377,928	2002515,569	591966,453
M6	41534,933	52957,040	97440,954	Згура	10383,733	2003635,749	592297,590
M7	51312,558	41796,411	96303,409	Бакелит	10449,103	1980244,913	585382,993

6. Јединичне цијене материјала и транспорта истих су приказане у Таб. 103. Претпоставка је да анализа важи у радијусу од 300 километара од најудаљеније компаније.

Таб. 103. Цијене материјала и транспорта материјала (Извори цијена: Добијени су из компанија које су донирале материјале за израду докторске дисертације)

Материјал	Цијена материјала по тони [евро]	Цијена материјала по тони [РСД - српски динар]	Цијена транспорта материјала по тони [евро]	Цијена транспорта материјала по тони [РСД - српски динар]
Цемент	92,5	11100	3,6	432
Б. емулзија	416,6	50000	20,8	2500
Бакелит	0	0	20,8	2500
Згура	40	4800	2,5	300
Зеолит	333,3	40000	20,8	2500
Летећи пепео	2	240	36	4320
Вода	1	120	4,17	500
Филер	40	4800	2,5	300

По километру стабилизованог слоја (дебљине 20 cm) најскупља је мјешавина са 2 % цемента и 4% битуменске емулзије, док је најјефтинија мјешавина у којој је коришћен бакелит (Таб. 104).

Таб. 104. Цијена мјешавина за стабиловање једног километра слоја дебљине 20 cm

Мјешавина	Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Додатак		Укупно трошкови мјешавине по километру пута за стабиловани слој дебљине 20 cm [РСД -српски динар]
			Назив	Садржај (%)	
М1	2	2	/	/	6457646,106
М2	2	3	/	/	7788046,746
М3	2	4	/	/	9020594,466
М4	1,6	2	Зеолит	0,4	6794775,393
М5	1,6	2	Летећи пепео	0,4	6398021,27
М6	1,6	2	Згура	0,4	6393313,601
М7	2	1,6	Бакелит	0,4	5857332,129

7.6.4. ЦИЈЕНА ВЕЗИВА ЗА КВАДРАТНИ МЕТАР

Поред наведене анализе за 1 km хладно рециклираног пута прорачунато је и коштање везива за 1 m² пута. Потребна количина цемента, битуменске емулзије и додатка за m³ су дате у Таб. 105.

Таб. 105. Количине цемента, битуменске емулзије и додатка по кубном метру

Мјешавина	Додатак		Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Запреминска маса [kg/m ³]	Количина цемента [kg/m ³]	Количина емулзије [kg/m ³]	Количина додатка [kg/m ³]
	Назив	Садржај (%)						
М1	/	0	2	2	2219,080	44,382	44,382	0,000
М2	/	0	2	3	2206,415	44,128	66,192	0,000
М3	/	0	2	4	2174,092	43,482	86,964	0,000
М4	Зеолит	0,4	1,6	2	2223,037	35,569	44,461	8,892
М5	Летећи пепео	0,4	1,6	2	2247,376	35,958	44,948	8,990
М6	Згура	0,4	1,6	2	2229,335	35,669	44,587	8,917
М7	Бакелит	0,4	2	1,6	2193,343	43,867	35,093	8,773

Пошто је разматран случај слоја дебљине 20 cm, све количине су прилагођене тој дебљини, а за површину од једног m^2 (Таб. 106). Цијене цемента, битуменске емулзије, додатка као и укупна цијена везива за слој дебљине 20 cm и површине од једног m^2 су наведене у Таб. 106.

Таб. 106. Количине цемента, битуменске емулзије и додатка за $1 m^2$ и слој дебљине 20 cm

Мјешавина	Додатак		Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Количина цемента за $1 m^2$ и слој дебљине 20 cm [kg]	Количина емулзије за $1 m^2$ и слој дебљине 20 cm [kg]	Количина додатка за $1 m^2$ и слој дебљине 20 cm [kg]
	Назив	Садржај (%)					
M1	/	0	2	2	8,876	8,876	0,000
M2	/	0	2	3	8,826	13,238	0,000
M3	/	0	2	4	8,696	17,393	0,000
M4	Зеолит	0,4	1,6	2	7,114	8,892	1,778
M5	Летећи пепео	0,4	1,6	2	7,192	8,990	1,798
M6	Згура	0,4	1,6	2	7,134	8,917	1,783
M7	Бакелит	0,4	2	1,6	8,773	7,019	1,755

Таб. 107. Цијене цемента, битуменске емулзије, додатка и укупна цијена за $1 m^2$

Мјешавина	Додатак		Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Цијена цемента за $1 m^2$ и слој дебљине 20 cm [РСД]	Цијена емулзије за $1 m^2$ и слој дебљине 20 cm [РСД]	Цијена додатка за $1 m^2$ и слој дебљине 20 cm [РСД]	Укупно за $1 m^2$ и слој дебљине 20 cm [РСД]
	Назив	Садржај (%)						
M1	/	0	2	2	101,474	466,007	0,000	567,481
M2	/	0	2	3	100,895	695,021	0,000	795,916
M3	/	0	2	4	99,417	913,119	0,000	1012,536
M4	Зеолит	0,4	1,6	2	81,324	466,838	75,583	623,745
M5	Летећи пепео	0,4	1,6	2	82,214	471,949	8,198	562,362
M6	Згура	0,4	1,6	2	81,554	468,160	9,096	558,810
M7	Бакелит	0,4	2	1,6	100,297	368,482	4,387	473,166

Из Таб. 107 се види да је цијена везива за мјешавине са 2% цемента и 2% емулзије врло слична цијени везива мјешавина са додатком згуре и летећег пепела. Најјефтинија цијена везива је за мјешавину са бакелитом, а најскупља је, очекивано због цијене битуменске емулзије, мјешавина са 2% цемента и 4% битуменске емулзије.

7.7. АНАЛИЗА ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Примјеном отпадних материјала у хладним рециклажама коловозних конструкција смањују се количине материјала (камена у првом реду) које се користе у стандардним поступцима рециклаже. Тиме се даље утиче на смањену потребу за каменим агрегатом и смањује се потреба за експлоатацијом камена из рудника, што доводи до смањења емисије штетних гасова и прашине при добијању камена али и мањим ремећењем животне средине.

Како није било могуће прикупити све податке за све материјале, који су коришћени у истраживању, за анализу заштите животне средине су усвојене сљедеће претпоставке:

1. Анализирана је само емисија CO₂ и то за цемент и битуменску емулзију на основу њихове количинске разлике у мјешавинама.
2. За све отпадне материјале нису усвајане вриједности емисије CO₂, јер су то производи који су настали у другим производним процесима. Ти материјали заузимају одређене површине на којима се депонују.
3. Отпадни материјали заузимају одређене површине тако да се може говорити и о „позитивном“ ефекту на заштиту животне средине приликом њиховог коришћења. Избјегавање одлагања и третирања отпадних материјала доводи и до смањења трошкова.
4. Количине рециклираног материјала и филера су исте за све мјешавине па су изузете из прорачуна.
5. За транспорт материјала није извршена анализа, јер није могуће утврдити капацитете превозних средстава који су различити за све материјале.

Вриједности емисије CO₂ цемента и битуменске емулзије су дате у Таб. 108.

Таб. 108. Јединична емисија CO₂

Материјал	Емисија CO ₂ по тони материјала [тона]
Цемент	1,250 [143]
Битуменска емулзија	0,255 [144]

Анализом разлике количина цемента и битуменске емулзије између мјешавина и њиховим утицајем на емисију гасова може се закључити да мјешавине са летећим пепелом и згуром имају најнижу укупну емисију CO₂, док мјешавина са 2% цемента и 4%

битуменске емулзије емитује највише CO₂. Такође, у **Таб. 109** су приказане количине додатних материјала за километар пута. Количине употребљених материјала су преко 10 t по km пута, што су велике количине отпадних материјала.

Таб. 109. Количине емисије CO₂ цемента и битуменске емулзије за све мјешавине

Мјешавина	Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Додатак		Количина CO ₂ за цемент по километру пута (t)	Количина CO ₂ за битуменску емулзију по километру пута (t)	Укупна количина CO ₂ за цемент и битуменску емулзију по километру пута (t)	Употребљено додатног материјала по километру пута (t)
			Назив	Садржај (%)				
M1	2	2	/	/	64,862	13,532	78,394	0,000
M2	2	3	/	/	64,469	20,175	84,644	0,000
M3	2	4	/	/	63,505	26,498	90,003	0,000
M4	1,6	2	Зеолит	0,4	52,010	13,563	65,574	10,402
M5	1,6	2	Летећи пепео	0,4	51,890	13,532	65,422	10,378
M6	1,6	2	Згура	0,4	51,919	13,539	65,458	10,384
M7	2	1,6	Бакелит	0,4	64,141	10,686	74,827	10,449

7.8. ЗАВРШНА АНАЛИЗА МЈЕШАВИНА

Завршна анализа је извршена узимајући у обзир сва три критеријума:

- критеријум механичких својстава
- економски критеријум
- критеријум заштите животне средине

Мјешавине су рангиране на основу вишекритеријумског итеративног компромисног рангирања. Свих седам мјешавина је рангирано тако да су разматрана сва три критеријума како би се одредила мјешавина која има најбоља механичка својства а да притом има најмањи утицај на животну средину и да има најмање трошкове изградње. Циљеви и критеријуми су приказани у **Таб. 110**.

Таб. 110. Циљеви и критеријуми вишекритеријумске анализе

Циљ	Критеријум
1. Механичка својства (максимум)	K11- Индиректна затезна чврстоћа након 7 дана (суви узорци) K12- Индиректна затезна чврстоћа након 28 дана његовања (суви узорци) K13- Индиректна затезна чврстоћа након 28 дана (водом засићени узорци) K14- Индиректна затезна чврстоћа након 28 дана (узорци изложени дејству мрза) K15- Динамички модул еластичности након 7 дана (суви узорци) K16 - Динамички модул еластичности након 28 дана (суви узорци) K 17- Динамички модул еластичности након 28 дана (водом засићени узорци) K 18- Динамички модул еластичности након 28 дана (узорци изложени дејству мрза)
2. Трошкови прављења мјешавине (минимум)	K21- Трошкови изградње мјешавине за 1 m ² и дебљину слоја од 20 cm
3. Утицај на животну средину (минимум)	K31- Емисија CO ₂ за цемент и битуменску емулзију по километру пута (t)

Ако би разматрали заједно сва механичка својства, а затим додали и поредак по критеријумима цијене и утицају на животну средину, добили би да је најбоља мјешавина са додатком летећег пепела а одмах затим мјешавина са додатком згуре (Таб. 111). У овој анализи нису употебљене релативне тежине појединих критеријума. Уколико би употребили тежинске коефицијенте при чему свака од три групе критеријума има исти значај и задали стратегију одлучивања добили би да је најбоља мјешавина са додатком згуре а последице је мјешавина са додатком летећег пепела. Различитим стратегијама одлучивања добија се исти резултат, тј. најбоља је мјешавина са додатком згуре (Таб. 112). По свим анализама најлошија мјешавина је са 4% цемента.

Таб. 111. Вишекритеријумска анализа на основу сва три критеријума без релативних тежина

Мјешавина	Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Додатак		Мјесто на ранг листи на основу механичких својстава	Мјесто на ранг листи на основу цијене	Мјесто на ранг листи на основу емисије CO ₂	Мјесто на ранг листи на основу сва три критеријума заједно без релативних тежина
			Назив	Садржај (%)				
M1	2	2	/	/	5	4	5	4
M2	2	3	/	/	2	6	6	3
M3	2	4	/	/	4	7	7	5
M4	1,6	2	Зеолит	0,4	6	5	3	6
M5	1,6	2	Летећи пепео	0,4	1	3	1	1
M6	1,6	2	Згура	0,4	3	2	2	2
M7	2	1,6	Бакелит	0,4	7	1	4	7

Таб. 112. Рангирање мјешавина за први сет релативних тежина

Мјешавина	Садржај цемента (%)	Садржај битуменске емулзије (%)	Додатак		Ранг листа за први сет релативних тежина	
			Назив	Садржај (%)	v1=0,6 и v2=0,4	v1=0,9 и v2=0,1
M1	2	2	/	/	5	4
M2	2	3	/	/	6	6
M3	2	4	/	/	7	7
M4	1,6	2	Зеолит	0,4	3	3
M5	1,6	2	Летећи пепео	0,4	2	2
M6	1,6	2	Згура	0,4	1	1
M7	2	1,6	Бакелит	0,4	4	5

Уколико би сваки од критеријума вредновали са тежинским фактором од 0% до 100% (или у децималном запису од 0 до 1), могли би да добијемо различита становишта са којих би изабрали најбољу и најлошију мјешавину. При томе треба водити рачуна да су задовољени сљедећи услови:

$$f_{ms} + f_c + f_{eco2} = 1 (100\%)$$

гдје су : f_{mk} - тежински фактор критеријума механичких својстава

f_c - тежински фактор критеријума цијене

f_{eco2} - тежински фактор критеријума емисије CO₂

ПОГЛАВЉЕ 8

8. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА

Путеви, као инфраструктурни објекти, представљају богатство једне земље. Управо из тог разлога потребно је водити рачуна о њиховом одржавању и правилном управљању њима. Одржавање путева подразумијева реконструкцију, рехабилитацију или рециклаже постојећих путева. Поступак рециклаже подразумијева рециклирање материјала из постојећих коловозних конструкција са додатком нових материјала. Рециклаже могу бити хладне и топле, на основу температуре справљања мјешавине, а могу се подијелити и на рециклаже на лицу мјеста и у постројењу, на основу мјеста производње мјешавине. У оквиру докторске дисертације је разматрана хладна рециклажа на лицу мјеста, јер имају предност у односу на остале видове рециклирања из следећих важних разлога:

- штеде материјална средства,
- смањују загађења животне средине,
- смањују и потребу за одлагањем материјала, и
- скраћују вријеме радова на одржавању путева.

Рециклирање коловозних конструкција је почело да се примјењује седамдесетих година прошлог вијека.

До сада је пракса била да се приликом рециклирања постојећих путева употребљавају цемент, битуменска емулзија, пјенасти битумен и комбинација ових материјала. Како је битуменска емулзија скупа, а веће количине цемента могле би довести до превелике крутости коловозне конструкције, истраживања су имала за циљ да се примјене материјали који ће смањити количине битуменске емулзије и цемента, а да притом механичка својства коловозних конструкција остану у границама дозвољених. Истовремено, тежња је била да се употребе материјали који су нус-производи других индустрија и који се не могу више употребљавати за основну намјену, а да при том захтјевају додатне трошкове у вези са правилним одлагањем, третирањем а иамју и негативне еколошке посљедице. Од отпадних материјала у истраживањима су коришћени рециклирани асфалт и камен, летећи пепео, згура и бакелит, док је од осталих материјала употребљен зеолит. Истраживања су обухватила седам типова мјешавина са различитим садржајем цемента, битуменске емулзије, зеолита, летећег пепела, згуре и бакелита. Три основне мјешавине су биле са 2% цемента и са 2%, 3% и 4% битуменске емулзије, респективно. У наредне три мјешавине 20% садржаја цемента је замијењено зеолитом, летећим пепелом и згуром. У седмој мјешавини 20% битуменске емулзије је замијењено бакелитом.

Експериментални дио истраживања се може подијелити на два дијела. Први (нулти) дио је подразумијевао утврђивање оптималног садржаја флуида за сваки од различитих

типова мјешавина док су у другом, главном, дијелу истраживања утврђиване механичке карактеристике мјешавина.

Претпоставке које су усвојене ради анализе мјешавина су биле сљедеће:

1. Разматра се потребна количина материјала за стабилизацију једног километра пута поступком хладне рециклаже на лицу мјеста.
2. Разматра се стабилизација постојеће конструкције у дебљини од 20 cm поступком хладне рециклаже.
3. Претпостављена је ширина коловоза од 6,50 m.
4. За сваку анализирану мјешавину усвојене су средње запремиснке масе, како би се добиле тежине кубног метра мјешавине.
5. На основу тежинских односа у оквиру једног узорка (процентуално) усвојени су тежински односи у оквиру сваке мјешавине и добијене су количине материјала појединих материјала за мјешавине.
6. Претпоставка је да анализа за мјешавине важи у радијусу од 300 километара у односу на мјесто хладне рециклаже.

Испитивана је индиректна затезна чврстоћа након 7 и 28 дана за узорке његоване у сувим условима, индиректна затезна чврстоћа након 28 дана за узорке испитиване у водом засићеном стању и индиректна затезна чврстоћа након 28 дана за узорке који су били изложени циклусима замрзавања и одмрзавања. Важна напомена је да су механичке карактеристике анализиране у односу на дозвољене вредности према Виртген упутству (Wirtgen Cold Recycling Technology, Windhagen, Germany: Wirtgen GmbH, 2012).

Закључци, у вези са оптималним садржајем флуида су сљедећи:

- Мјешавине са 2% цемента и мјешавине са згуром, зеолитом и летећим пепелом имају приближно исте оптималне садржаје флуида.
- Мјешавине у којим је дио цемента замијењен летећим пепелом имају већу вриједност оптималног садржаја флуида.

Општи закључци, у вези са механичким својствима испитиваних мјешавина, су сљедећи:

- Повећањем садржаја битуменске емулзије, за узорке његоване у сувим условима, смањују се вриједности индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности.
- Највеће вриједности индиректне затезне чврстоће након 7 и 28 дана имају мјешавине са 2% цемента и 2% битуменске емулзије, док најмање вриједности ИЗЧ имају мјешавине са бакелитом. Највеће вриједности ИЗЧ, за узорке засићене

водом, имају мјешавине са 2% цемента и 3% битуменске емулзије, док најмање чврстоће имају мјешавине са зеолитом. Исте закључке изводимо и за узорке изложене циклусима дејства мраза.

- Повећањем садржаја битуменске емулзије, за узорке испитиване у водом засићеном стању и након циклуса дејства мраза, региструје се прво скок, а затим пад вриједности индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности.
- Мјешавине са зеолитом и бакелитом имају ниже вриједности индиректних затезних чврстоћа и динамичких модула еластичности у односу на остале мјешавине.
- Индиректне затезне чврстоће и динамички модули еластичности код узорака изложених дејству мраза су нижи у односу на узорке његоване у сувим условима.
- Индиректне затезне чврстоће и динамички модули еластичности код већине узорака испитиваних у водом засићеном стању су нижи у односу на исте механичке карактеристике за узорке његоване у сувим условима.
- Током времена, код свих мјешавина, постоји прираст индиректне затезне чврстоће и динамичког модула еластичности.
- Од свих испитиваних корелација најбоља функционална корелација се може успоставити између динамичког модула еластичности и индиректне затезне чврстоће.

Појединачни закључци у вези са механичким својстава су сљедећи:

- Иако нема конкретних захтјеваних вриједности у погледу механичких својстава, за мјешавине испитиване у докторској дисертацији, може се рећи да се већина испитиваних мјешавина може употријебити у процесу хладног рециклирања за највишу класу оптерећења, а самим тим и за ниже класе оптерећења. Према већини упутстава [67, 64] за мјешавине сличног састава (до 1% цемента) за највишу класу оптерећења захтјева се 0,225 МПа (ИЗЧ) за суво његоване узорке и 0,100 МПа за узорке испитиване у водом засићеном стању.
Мјешавине који су испитиване то задовољавају, али потребно је нагласити да је у испитиваним мјешавинама садржај цемента већи од 1%.
Мјешавине које задовољавају услове из тих критеријума су: мјешавина са 2% цемента и 2% битуменске емулзије, мјешавина са 2% цемента и 3% битуменске емулзије, мјешавина са 2% цемента и 4% битуменске емулзије, мјешавина са летећим пепелом и мјешавина са згуром.
- Мјешавина са зеолитом и мјешавина бакелитом, које имају мању чврстоћу послије 7 дана у односу на 0,225 МПа, не задовољавају критеријуме за највишу класу оптерећења, али би се могле примјенити за најниже класе оптерећења (мање од

милион прелаза стандардне осовине) за коју је услов да је вриједност ИЗЧ мања од 0,125 МПа.

Закључци, у вези са цијеном појединачних мјешавина за рециклажу једног километра слоја дебљине 20 cm, су:

- повећањем садржаја битуменске емулзије у мјешавини поскупљује се цијена мјешавине за рециклажу једног километра слоја.
- употреба отпадних материјала смањује цијену коштања мјешавине.
- најнижу цијену рециклаже имамо за мјешавину са бакелитом као додатком, али треба нагласити да та мјешавина не задовољава критеријуме за индиректну затезну чврстоћу за највишу класу оптерећења према критеријумима.
- највиша цијена рециклаже је за мјешавину са 2% цемента и 4% битуменске емулзије.

Посматрајући емисију CO₂ за количине цемента и емулзије у мјешавинама може се закључити:

- највећу емисију CO₂ имају мјешавине са цемента и битуменском емулзијом без додатака.
- повећањем садржаја битуменске емулзије повећава се и емисија CO₂.
- употреба отпадних материјала смањује укупну емисију CO₂.
- најнижу емисију CO₂, за количине цемента и битуменске емулзије за стабиловање слоја дужине једног километра, имају мјешавине са летећим пепелом и згуром.

На основу разматрања сва три критеријума заједно, са различитим факторима значаја критеријума, најквалитетније мјешавине, за већину комбинација тежинских фактора, су мјешавине са 2% цемента и 2% битуменске емулзије, мјешавине са згуром као отпадним материјалом и мјешавине са летећим пепелом као отпадним материјалом. Најмање квалитетне мјешавине, ако се разматрају сва три критеријума, су мјешавине са 2% цемента и 4% битуменске емулзије и мјешавине са зеолитом као отпадним материјалом.

8.1. ЗАКЉУЧЦИ О ХИПОТЕЗИ

Постављена хипотеза:

Употреба битуменске емулзије, цемента, отпадних материјала (згуре, летећег пепела, бакелита) и других материјала (зеолита) у рециклажама по хладном поступку довела би до смањења коштања рециклирања коловозних конструкција, смањења

утицаја на животну средину, а да притом механичка својства коловозних конструкција буду у границама дозвољених.

Коначни закључци о хипотези:

Употреба битуменске емулзије, цемента, отпадних материјала (згуре, летећег пепела) у рециклажама по хладном поступку на лицу мјеста довела би до смањења коштања рециклирања коловозних конструкција, смањења утицаја на животну средину, а механичке карактеристике су у границама дозвољених. Поређење је извршено у односу на стандардне мјешавине у којима се користе само цемент и битуменска емулзија.

Употреба зеолита, као замјена 20% цемента, са битуменском емулзијом у рециклажама по хладном поступку на лицу мјеста не би смањило коштање рециклирања коловозних конструкција, не би смањило утицај на животну средину, а механичка својства нису у границама дозвољених. Поређење је извршено у односу на стандардне мјешавине у којима се користе само цемент и битуменска емулзија.

Употреба бакелита, као замјена 20% битуменске емулзије, са цементом у рециклажама по хладном поступку на лицу мјеста би смањило коштање рециклирања коловозних конструкција, не би повећало заштиту животне средине, а механичке карактеристике нису у границама дозвољених. Поређење је извршено у односу на стандардне мјешавине у којима се користе само цемент и битуменска емулзија.

Општи закључак је да су мјешавине са згуром и мјешавине са летећим пепелом најбоље по анализираним критеријумима. Према критеријумима из техничких регулатива ове мјешавине се могу користити за највише класе оптерећења. Даљим испитивањима требало би утврдити који је оптимални садржај ових отпадних материјала у мјешавинама.

8.2. ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА

Како су током истраживања у оквиру ове докторске дисертације проценти замјене појединих материјала били једнаки (20%), како би били упоредиви, у даљем истраживањима ће се настојати сљедеће:

- Бакелит мијењати у количини мањој од 20% у односу на количину битуменске емулзије и варирати садржаја бакелита да би се утврдила оптимална количина бакелита;
- Згуру мијењати у различитим количинама, како би утврдили оптимални садржај згуре;
- Зеолит мијењати у различитим количинама (мање од 20% у односу на количину цемента);
- Смањивати количину цемента испод 1%;
- Смањивати количину битуменске емулзије на 1% и повећати количину других материјала;

- Коришћење 100% рециклираног материјала, да би се повећала количина искоришћености постојећих материјала;
- Коришћење различитих процентуалних односа рециклираних материјала и нових материјала;
- Додавање рејувенатора, како би се дјелимично повратила везивна својства битумена из рециклираних материјала;
- Његовање узорака по убрзаном поступку, тј. на већим температурама, како би се скратило вријеме истраживања и вријеме добијања резултата;
- Његовање узорака на различитим температурама, како би се утврдила зависност начина његовања узорака на вриједности индиректних затезних чврстоћа и директних модула еластичности;
- Његовање узорака на дужи временски период, иако је то веома ријетка пракса у области хладног рециклирања, како би се утврдили прирасти чврстоћа током времена.

ПОГЛАВЉЕ 9

9. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Swart, J.; de Backer, C.; Dorobantu, S.; Garcia-Garay, A.; Guidoux, Y.; Han, J.; Simonsen P.; Reeves, I.; Roos, H., „Recycling of existing flexible pavements,“ World road association - AIPCR (PIARC), 2001.
- [2] Ђ. Узелац, Коловозне конструкције, Нови Сад: Факултет техничких наука Нови Сад, 2015.
- [3] Д. Светел, Реолошке особине битумена, Београд: Институт за путеве, 2001.
- [4] Roberts, Freddy L.; Kandhal, Prithvi S.; Brown, Ray E.; Lee, Dah-Yinn; Kennedy, Thomas W., Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, Lanham, Maryland: National Asphalt Pavement Association Research and Education Foundation, 1996.
- [5] Hass, R.; Hudson, W.R.; Zaniewski, J.R., Modern Pavement Management, Florida: Krieger Publishing, 1994.
- [6] Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде, „Правилник о утврђивању плана вађења речних наноса за период од августа 2017. до августа 2019. године,“ Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде, Београд, 2017.
- [7] Asphalt Institute, „MS-19 Basic Asphalt Emulsion Manual,“ Asphalt Institute, Lexington, Kentucky, 2004.
- [8] J. Epps, NCHRP Synthesis of Highway Practice, Cold Recycled Bituminous Concrete Using Bituminous Materials, Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research, 1990.
- [9] Kandhal, P.; Mallick, R.B., „Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments,“ National Center for Asphalt Technology, Auburn, 1997.
- [10] Swiertz, D.; Johannes, P.; Tashman, L.; Bahia, H. , „Evaluation of laboratory coating and compaction procedures for cold mix asphalt,“ *Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions*, pp. 81-107, 2012.
- [11] Smiljanić, M.; Pap, I.; Tatić, U., „The Application of Cold Asphalt Recycling as a Factor of the Environmental Protection,“ у *4th INTERNATIONAL CONFERENCE BITUMINOUS MIXTURES AND PAVEMENTS*, Thessaloniki, 2007.
- [12] Jostein, M., „The Use of Cold Bitumen Stabilized Base Course Mixes in Norway,“ 2000.
- [13] British Petroleum, „BP Statistical Review of World Energy,“ British Petroleum, 2019.

- [14] [Na mreži]. Available: <https://tradingeconomics.com/commodity/bitumen>. [Poslednji pristup 12 5 2019].
- [15] Статистички завод Републике Србије, „Статистика животне средине (Створени и третирани отпад),“ Статистички завод Републике Србије, Београд, Србија, 2019.
- [16] J. Moser, „Proizvodnja i tehnologije asfalta s dodatkom recikliranog asfalta i niskotemperaturni asfalti,“ у *Asfaltni kolnici*, Opatija, 2015.
- [17] Prowell, B.D.; Hurley, G. C.; Crews, E., „Field performance of warm mix asphalt at the NCAT track test,“ у *Transportation Record Board, 86th Annual Meeting*, Washington DC, 2007.
- [18] Mollenhauer, K.; Ipavec, A.; Gaspar, L.; Marsac, P; Mirski; Batista, F; L Antunes, M.; Mc Nally, C.; Karlsson, R., „Best Practice guide for the dismantling of asphalt roads and use of recycled materials in asphalt layers,“ 2011.
- [19] Dunn, Leonard, BASIC ASPHALT RECYCLING MANUAL, Glen Ellyn: Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA), 2001.
- [20] Batista, F.; Valentin, J.; Čížková, Z.; Valentová, T.; Simnofske, D.; Mollenhauer, K.; Tabakovic, A.; McNally, C.; Engels, M., „Report on available test and mix design procedures for cold-recycled bitumen stabilised materials,“ CEDR, Brussels, 2014.
- [21] Asphalt Institute, „Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation, Manual Series No. 17,“ Asphalt Institute, College Park, MD, 1983.
- [22] „Asphalt in Pavement Maintenance MS 16,“ Asphalt Institute , Lexington.
- [23] Sršen, Mate; Majkić, Milan; Orkić, Marko, „Hladno recikliranje asfaltnih kolnika,“ *Građevinar*, т. 62, бр. 6, pp. 507-515, 2009.
- [24] Узелац, Ђорђе; Ђуран, Јованка; Ђого, Митар; Венцел, Мирослав; Јовановић, Милија; Јоцић, Миодраг; Ђорђевић, Ђорђе; Светел, Душан; Пап, Имре; Смиљанић, Слободан; Јоксимовић, Слободан, „Упутство и технички услови за дубоку рециклажу на лицу места по хладном поступку код рехабилитације коловозних конструкција,“ Републичка дирекција за путеве, Београд, Србија, 2002.
- [25] Muzaffar Khan, Kamran; Ali, Faizan; Sultan, Tahir; Ahmed, Shiraz; Ahmed, Afaq, „Experimental study to compare the effects of Gradation, Additives and Filler Materials on performance of CIR Mixes,“ *Life Science Journal*, т. 10, бр. 4, pp. 176-184, 2013.
- [26] Wirtgen GmbH, Wirtgen Cold Recycling Technology, Windhagen, Germany: Wirtgen GmbH, 2012.

- [27] Salomon, A.; Newcomb, D.E., „COLD IN-PLACE RECYCLING LITERATURE REVIEW AND PRELIMINARY MIXTURE DESIGN PROCEDURE,“ Minnesota Department of Transportation, St. Paul, 2000.
- [28] M. Delinac, Artist, *Rekonstrukcija kolničke konstrukcije postupkom hladnog recikliranja*. [Art]. GRAĐEVINSKI FAKULTET OSIJEK, SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU , 2015.
- [29] Davidson, J. K.; Croteau J.-M., „BEST PRACTICES IN COLD IN-PLACE RECYCLING,“ у *Annual Meeting Asphalt Emulsion Manufacturers Association*, Nashville, 2003.
- [30] „PAVEMENT RECYCLING; GUIDELINES FOR IN-PLACE RECYCLING WITH CEMENT, IN-PLACE RECYCLING WITH EMULSION OR FOAMED BITUMEN, HOT MIX RECYCLING IN PLANT,“ PIARC – WORLD ROAD ASSOCIATION, LA DEFENSE Cedex, 2003.
- [31] European Asphalt Pavement Association, „Asphalt the 100% recyclable construction product,“ European Asphalt Pavement Association, Brussels, 2014.
- [32] EAPA, „Asphalt in Figures,“ EUROPEAN ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION, Brussels, Belgium, 2017.
- [33] Mercado, R.; Fuentes Pumarejo, L., „Asphalt emulsions formulation: State-of-the-art and dependency of formulation on emulsions properties,“ *Construction and Building Materials*, т. 123, pp. 162-173, 2016.
- [34] Delmar R. Salomon , *Asphalt Emulsion Technology*, Washington, DC: Transportation Research Board , 2006.
- [35] П. Суботић, *Приручник за асфалт*, Београд: Институт за путеве, 1997.
- [36] *Правилник о квалитету цемента*, Београд: Службени гласник РС, 2014.
- [37] Ghobarkar, Habbib; Schäf, Oliver; Massiani, Yvan; Knauth, Philippe, *The Reconstruction of Natural Zeolites*, Dordecht: Springer Science+ Business Media, 2003.
- [38] Wozzuk, Agnieszka; Franus, Wojciech, „A Review of the Application of Zeolite Materials in Warm Mix Asphalt Technologies,“ *Applied Sciences*, т. 7, бр. 3, 2017.
- [39] Vasudevan, R.; Rajasekaran, S.; Samanta, S.; Saravanavel, S., „Utilization of waste plastics in construction of flexible pavements (Reuse of waste plastics-A path-Breaking initiative),“ *Global Plastics Environmental Conference*, 2005.
- [40] Сл. гласник РС, „Закон о управљању отпадом,“ Службени гласник РС, Београд, бр 88/2010.
- [41] Службени гласник РС, Уредба о техничким и другим захтевима за згруу, као грађевински

- производ намењен за употребу у изградњи, реконструкцији, санацији и одржавању насипа, засипа и постељица инфраструктурних објеката јавне намене, Београд: Службени гласник РС, 2018.
- [42] Пројекат за Републику Србију G2G09/SB/5/4 у оквиру кратког G2G програме, „Упутство за кориснике нуспроизвода и употребу секундарних сировина у изградњи путева,“ 2010.
- [43] Тадић, Г.; Глигорић, М.; Дошић, А.; Грујић, Р., „УПОТРЕБА ЕЛЕКТРОФИЛТЕРСКОГ ПЕПЕЛА У ИЗГРАДЊИ САОБРАЋАЈНИЦА,“ *Journal of Engineering & Processing Management*, т. 7, бр. 1, pp. 125-139, 2015.
- [44] Јовановић, И; Бугариновић, С.; Обрадовић. Љ., „Механичке карактеристике малтера који садржи летећи пепео третиран различитим физичким поступцима,“ *Рударски радови, Бор*, бр. 4, pp. 161-184, 2012.
- [45] 1. ACI Committee, „Cement and concrete terminology; Report nr 116R-00,“ American Concrete Institute (ACI), Detroit, Michigan, 2000.
- [46] Collings, D.C.; Jenkins, K.J, „Characteristics of materials stabilised with foamed bitumen,“ у *4th Euroasphalt & Eurobitume Congress*, Copenhagen, Denmark, 2008.
- [47] Lewis, AJN; Collings, DC, „COLD IN PLACE RECYCLING: A RELEVANT PROCESS FOR ROAD REHABILITATION AND UPGRADING,“ у *7th CONFERENCE ON ASPHALT PAVEMENTS FOR SOUTHERN AFRICA*, Sun City, 1999.
- [48] Chehelgo, K.; Abiero Gariy, Z.C.; Shitote, S.M., „Laboratory Mix Design of Cold Bitumen Emulsion Mixtures Incorporating Reclaimed Asphalt and Virgin Aggregates,“ *Buildings*, т. 8, бр. 177, 2018.
- [49] Miljković, M.; Randenberg, M, „Fracture behaviour of bitumen emulsion,“ *Construction and Building Materials*, т. 62, pp. 126-134, 2014.
- [50] Lu, C.T.; Kuo, M.F.; Shen, D.H., „Composition and reaction mechanism of cement-asphalt mastic,“ *Construction and Building Materials*, т. 23, pp. 2580-2585, 2009.
- [51] Hu, S.G.; Wang, T.; Wang, F.Z.; Liu, Z.C., „Adsorption behaviour between cement and asphalt emulsion in cement–asphalt mortar,“ *Advances in Cement Research*, т. 21, бр. 1, pp. 11-14, 2009.
- [52] Wirtgen, Binder with a proven track record in cold recycling. Foamed bitumen, Nashville: Wirtgen, 2019.
- [53] Iwański, M. ; Chomicz-Kowalska, A., „The effects of using foamed bitumen and bitumen emulsion in the cold recycling technology,“ у *Sustainability, Eco-efficiency, and Conservation in Transportation Infrastructure Asset Management*, London, 2014.

- [54] Brown, S. F.; Needham, D., „A Study of Cement Modified Bitumen Emulsion Mixtures,“ *Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 2000.
- [55] James, A. D. ; Needham, D.; Brown, S.F., „The benefits of using Ordinary Portland Cement in solvent free dense graded bituminous emulsion mixtures,“ у *International Symposium on Asphalt Technology*, Washington, 1996.
- [56] Mignini, C ; Cardone, F.; Graziani, A., „Experimental study of bitumen emulsion–cement mortars: mechanical behaviour and relation to mixtures,“ *Materials and Structures* , т. 51, бр. 149, 2018.
- [57] Oruc, S.; Celik, F.; Akpınar, M.V., „Effect of Cement on Emulsified Asphalt Mixtures,“ *Journal of Materials Engineering and Performance*, т. 16, бр. 5, pp. 578-583, 2007.
- [58] Al-Hdabi, A.; Nageim, H. A.; Ruddock, F.; Linda, S. , „Laboratory studies to investigate the properties of novel cold-rolled asphalt containing cement and waste bottom ash,“ *Road Materials and Pavement Design*, т. 15, бр. 1, 2014.
- [59] Baghini, M.S.; Ismaila, A.B.; Karimc, M.B.B.; Shokria, F.; Firoozi, A.A., „Effects on engineering properties of cement-treated road base with slow setting bitumen emulsion,“ *International Journal of Pavement Engineering*, т. 16, pp. 1-14, 2015.
- [60] Oruc, S.; Celik, F.; Aksoy, A., „Performance of cement modified dense graded cold-mix asphalt and establishing mathematical model,“ *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, т. 13, pp. 512-519, 2006.
- [61] Iwański, M., Chomicz-Kowalska, A., „Laboratory Study on Mechanical Parameters of Foamed Bitumen Mixtures in the Cold Recycling Technology,“ у *11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques*, 2013.
- [62] Jurjavčič, Primož; Cotič, Zvonko, „PRIROČNIK ZA TRAJNOSTNO OBNOVO VOZIŠČNIH KONSTRUKCIJ PO POSTOPKU HLADNE IN-SITU RECIKLAŽE,“ ReBirth – Promocija recikliranja industrijskih in gradbenih, Ljubljana, 2014.
- [63] „Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau – M KRC.,“ FGSV, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2005.
- [64] Asphalt Academy, Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials; A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials, Pretoria: Asphalt Academy, 2009.
- [65] Austroads, Review of Foamed Bitumen Stabilisation Mix Design Methods, Sydney: Austroads, 2012.

- [66] Road Surface Treatmens Association; Association of Directors of Environments, CODE OF PRACTICE FOR IN-SITU STRUCTURAL ROAD RECYCLING, Wolverhampton: RSTA, 2012.
- [67] Ramtech d.o.o., Tehnički uvjeti za izradu nosivih slojeva kolnika tehnologijom recikliranja po hladnom postupku, Zagreb: Hrvatske ceste, 2013.
- [68] Collings, D.; Hefer, A.; Jenkins, K.; Johns, F., TECHNICAL GUIDELINE: BITUMEN STABILISED MATERIALS A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials, Howard Place, South Africa: Southern African Bitumen Association (Sabita), 2020.
- [69] M. Miljković, Influence of Bitumen Emulsion and Reclaimed Asphalt on Mechanical and Pavement Design-related Performance of Asphalt Mixtures, Bochum: Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften; Ruhr Univerisität Bochum, 2014.
- [70] Miljković, Miomir; Radenberg, Martin, „Characterising the influence of bitumen emulsion on asphalt mixture performance,“ *Materials and Structures*, т. 48, бр. 7, pp. 2195-2210, 2015.
- [71] Miljković, M.; Poulikakos, L.; Piemontese, F.; Shakoorioskooie, M.; Lura, L., „Mechanical behaviour of bitumen emulsion-cement composites across the structural transition of the co-binder system,“ *Construction and Building Materials*, т. 215, бр. 10, pp. 217-232, 2019.
- [72] M. Miljković, „Effect of bitumen emulsion on mechanical performance of cold asphalt mixtures,“ *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, т. 12, бр. 2, pp. 195-205, 2015.
- [73] Р. Јаковљевић, Оптимизација састава носећег слоја коловозне конструкције на бази агрегата од хладно рециклираног асфалта са аспекта механичких карактеристика, Нови Сад: ФТН Нови Сад, 2016.
- [74] Kavussi, A.;Nejad, F.M.;Modarres, A., „LABORATORY FATIGUE MODELS FOR RECYCLED MIXES WITH POZZOLANIC CEMENT AND BITUMEN EMULSION,“ *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*, т. 17, бр. 1, pp. 98-107, 2011.
- [75] V. Lacković, „Hladno „in plant“ recikliranje korišteno pri obnovi državne ceste D205, dionica Dubrovčan-Gubaševo,“ у *Međunarodni seminar ASFALJNI KOLNICI 2016*, Opatija, 2016.
- [76] Dołycki, B.; Jaskuła, P., „Review and evaluation of cold recycling with bitumen emulsion and cement for rehabilitation of old pavements,“ *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, т. 6, бр. 4, pp. 311-323, 2019.
- [77] Dolzycki, B.; Jaczewski, M.; Szydłowski, C., „The long-term properties of mineral-cement-emulsion mixtures,“ *Construction and Building Materials*, т. 156, pp. 799-808, 2017.

- [78] Crispino, Maurozio; Brovelli, Claudio, „Bitumen emulsion and foam bitumen for cold recycled and bitumen stabilized materials: a comparison based on performances, costs and safety,“ y *8th International Conference on Managing Pavement Assets*, Santiago, 2011.
- [79] Recasens, R. Miró; Jiménez, F.E. Pérez; Aguilar, S. Castillo, „MIXED RECYCLING WITH EMULSION AND CEMENT OF PAVEMENTS DESIGN PROCEDURE AND IMPROVEMENTS ACHIEVED ASPHALT,“ *Materials and Structures*, 2000.
- [80] Raschia, S.; Chauhan, T.; Panwar, S.; Carter, A.; Graziani, A.; Perraton, D., „Effect of water and cement content on the mechanical properties of Cold Recycled Mixtures (CRM) with bitumen emulsion,“ y *ISAP 5th APE SYMPOSIUM*, PADUA, ITALY, 2019.
- [81] Jenkins, K.J.; Robroch, S.; Henderson, M.G.; Wilkinson, J.; Molenaar, A.A.A., „ADVANCED TESTING FOR COLD RECYCLING TREATMENT SELECTION ON N7 NEAR CAPE TOWN,“ y *Proceedings of the 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA'04)*, Sun City, South Africa, 2004.
- [82] K. J. Jenkins, Artist, *Mix design considerations for cold and half-warm bituminous mixes with emphasis of foamed bitumen*. [Art]. Stellenbosch University, 2000.
- [83] Xu, Jian; Huang, Songchang; Qin; Yongchun; Li, Feng, „The Impact of Cement Contents on the Properties of Asphalt Emulsion Stabilized Cold Recycling Mixtures,“ *International Journal of Pavement Research and Technology*, т. 4, бр. 1, pp. 48-55, 2011.
- [84] Dong, Wenlong; Charmot, Stephane, „Proposed Tests for Cold Recycling Balanced Mixture Design with Measured Impact of Varying Emulsion and Cement Contents,“ *Journal of Materials in Civil Engineering*, т. 31, бр. 2, 2018.
- [85] Bessa, Iuri S.; Almeida; R., Letícia; Vasconcelos, Kamilla L.; Bernucci, Liedi L. B., „DESIGN OF COLD RECYCLED MIXES WITH ASPHALT EMULSION AND PORTLAND CEMENT,“ *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2016.
- [86] Li, Yanan; Lyv, Yuchao; Fan, Liang; Zhang, Yuzhen, „Effects of Cement and Emulsified Asphalt on Properties of Mastics and 100% Cold Recycled Asphalt Mixtures,“ *Materials*, т. 12, бр. 5, p. 754, 2019.
- [87] Ma, Tao; Wang, Hao; Zhao, Yongli; Huang, Xiaoming; Pi, Yuhui, „Strength Mechanism and Influence Factors for Cold Recycled Asphalt Mixture,“ *Advances in Materials Science and Engineering*.
- [88] Softić, E.; Radičević, V.; Subotić, M.; Stević, Ž; Talić, Z; Pamučar, D., „Sustainability of the Optimum Pavement Model of Reclaimed Asphalt from a Used Pavement Structure,“ *Sustainability*, т. 12, бр. 5, p. 1912, 2020.

- [89] Baghini, M. S.; Ismail, A.; Kheradmand, B.; Hafezi, M. H.; Almansob, R. A., „Bitumen-cement Stabilized Layer in Pavement Construction Using Indirect Tensile Strength (ITS) Method,“ *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, т. 5, бр. 24, pp. 5652-5656, 2012.
- [90] Jian Ouyang; Baofeng Pan; Wen Xu; Lijun Hu, „Effect of Water Content on Volumetric and Mechanical Properties of Cement Bitumen Emulsion Mixture,“ *Journal of Materials in Civil Engineering*, т. 31, бр. 6, 2019.
- [91] Yang, W.; Ouyang, J.; Meng, Y.; Tang, T.; Chen, J., „Effect of Superplasticizer and Wetting Agent on Volumetric and Mechanical Properties of Cold Recycled Mixture with Asphalt Emulsion,“ *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020.
- [92] S. Du, „Interaction mechanism of cement and asphalt emulsion in asphalt emulsion mixtures,“ *Materials and Structures*, т. 47, бр. 7, 2014.
- [93] Flores, G.; Gallego, J.; Miranda, L.; Marcobal, J. R., „Cold asphalt mix with emulsion and 100% rap: Compaction energy and influence of emulsion and cement content,“ *Construction and Building Materials*, т. 250, 2020.
- [94] One, L.; Tjaronge, M. W.; Irmawaty, R.; Hustim, M., „Effect of portland composite cement and buton granular asphalt on indirect tensile strength of emulsified asphalt cold mix using limestone aggregate,“ у *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Bali, Indonesia, 2019.
- [95] OJUM, C. K., THE DESIGN AND OPTIMISATION OF COLD ASPHALT EMULSION MIXTURES, Nottingham: The University of Nottingham, 2015.
- [96] Pérez, I.P.; Medina, L.; Del Val, M. Á., „Mechanical properties and behaviour of fin situ materials which are stabilised with bitumen emulsion,“ *Road Materials and Pavement Design*, т. 14, бр. 2, pp. 221-238, 2013.
- [97] Taherkhani, H.; Firoozei, F.; Bazaz, J.B., „Evaluation of the Mechanical Properties of the cement treated Cold-in-Place Recycled Asphalt Mixtures,“ *International Journal of Transportation Engineering*, т. 3, бр. 4, 2016.
- [98] ĐOKOVIĆ, K.; TOŠOVIĆ, S.; JANKOVIĆ, K.; ŠUŠIĆ, N., „Physical-Mechanical Properties of Cement Stabilized RAP/Crushed Stone Aggregate Mixtures,“ *Tehnički vjesnik*, т. 26, бр. 2, pp. 385-390, 2019.
- [99] Pi, Yu.; Li, Y.; Pi, Yi.; Huang, Z.; Li, Z., „Strength and Micro-Mechanism Analysis of Cement-Emulsified Asphalt Cold Recycled Mixture,“ *Pi, Yu.; Li, Y.; Pi, Yi.; Huang, Z.; Li, Z.*, т. 13, бр. 128, p. Materials, 2020.

- [100] Rutherford, T.; Wang, Z.; Shu, X.; Huang, B.; Clarke, D., „Laboratory investigation into mechanical properties of cement emulsified asphalt mortar,” *Construction and Building Materials*, т. 65, pp. 76-83, 2014.
- [101] Du, Y.; Kong, L.; Wei, T., „Laboratory Investigation into Early-Age Strength Improvement of Cold Recycled Asphalt Mixture Containing Asphalt Emulsion and Cement,” *Advances in Civil Engineering*, т. 2019, 2019.
- [102] Tan, Y.; Ouyang, J.; Lv, J.; Li, Y., „Effect of emulsifier on cement hydration in cement asphalt mortar,” *Construction and Building Materials*, т. 47, pp. 159-164, 2013.
- [103] Fang, X.; Garcia-Hernandez, A.; Lura, P., „Overview on cold cement bitumen emulsion asphalt,” *RILEM Technical Letters*, т. 1(2016), 2016.
- [104] Fang, X., A Fundamental research on cold mix asphalt modified with cementitious materials, Zurich: ETH Zurich, 2016.
- [105] Yang, Ya.; Yang, Ye; Qian, B., „Performance and Microstructure of Cold Recycled Mixes Using Asphalt Emulsion with Different Contents of Cement,” *Materials*, т. 12, бр. 16, p. 2548, 2019.
- [106] Chen, T.; Luan, Y.; Ma, T.; Zhu, J.; Huang, X.; Ma, S., „Mechanical and microstructural characteristics of different interfaces in cold recycled mixture containing cement and asphalt emulsion,” *Journal of Cleaner Production*, т. 258, 2020.
- [107] Zajíček, J., „Technical specifications „TP 208 –Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena,” Ministry of Transportation of the Czech Republic, Prag, 2009.
- [108] „Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras,” Ministerio del Fomento Spain, Madrid, 2001.
- [109] Leek, C.; Jameson, Geoff., „Review of Foamed Bitumen Stabilisation Mix Design Methods,” Austroads, Sydney, 2011.
- [110] Tabaković, A.; McNally, C.; Fallon, E., „Specification Development for Cold In-Situ Recycling of Asphalt,” *Journal of Construction and Building Materials*, т. 102, бр. 1, pp. 318-328, 2016.
- [111] Nassar, A. I.; Thom, N.; Parry, T., „Examining the effects of contributory factors on curing of cold bitumen emulsion mixtures,” *4th International Chinese European Workshop on functional pavement design*, Delft, 2016.
- [112] Nassar, A. I.; Thom, N.; Parry, T., „Optimizing the mix design of cold bitumen emulsion mixtures using,” *Construction and Building Materials*, т. 104, pp. 216-229, 2016.

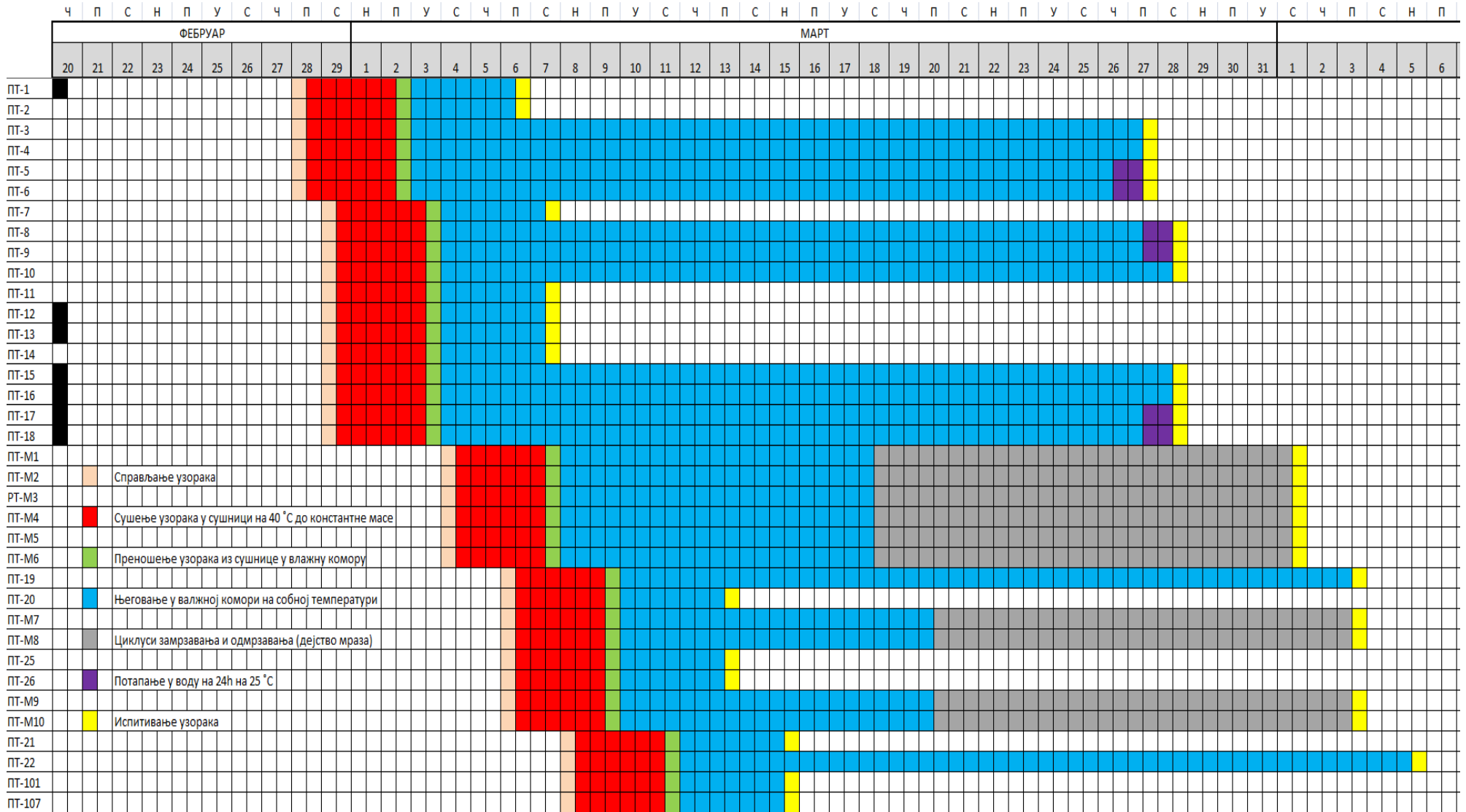
- [113] Bocci, M.; Grilli, A.; Cardone, F.; Graziani, A., „A study on the mechanical behaviour of cement-bitumen treated materials,“ *Construction and Building Materials*, т. 25, pp. 773-778, 2011.
- [114] Cardone, F.; Grilli, A.; Bocci, M.; Graziani, A., „Curing and temperature sensitivity of cement-bitumen treated materials,“ *International Journal of Pavement Engineering*, т. 16, бр. 10, 2015.
- [115] Serfass, J.P.; Poirier, J.E.; Henrat, J.P; Carbonneau, X., „INFLUENCE OF CURING ON COLD MIX MECHANICAL PERFORMANCE,“ *Materials and Structures*, т. 37, pp. 365-368, 2004.
- [116] Пројектовање и грађење путева: МЕРЕЊА ДЕФЛЕКСИЈА ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗА; СРПС У.Е8.016., Београд: ИСС, 1981.
- [117] Пројектовање и грађење путева: ОДРЕЂИВАЊЕ МЕРОДАВНЕ ВРЕДНОСТИ ДЕФЛЕКСИЈЕ ФЛЕКСИБИЛНИХ КОЛОВОЗА; СРПС У.Е8.018., Београд: ИСС, 1981.
- [118] ПРИРУЧНИК ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПУТЕВА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ: КОНСТРУКТИВНИ ЕЛЕМЕНТИ ПУТА: КОЛОВОЗНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ, Београд: Јавно предузеће "Путеви Србије", 2011.
- [119] Испитивање геометријских својстава агрегата - Део 10: Оцена ситних честица - Гранулометријски састав каменог брашна (просејавање струјањем ваздуха), Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2009.
- [120] Камени агрегат - Одређивање гранулометријског састава методом сувог сејања, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 1982.
- [121] Ватростални материјла - Методе за испитивање хемијског састава - Испитивањ силика-производа, кварцита и кварцног песка, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 1987.
- [122] Методе испитивања цемента - Део 7: Методе узимања и припреме узоака цемента, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2010.
- [123] Методе испитивања цемента - Део 1: Одређивање чврстоће, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2017.
- [124] Методе испитивања цемента- Део 2: Хемијске анализе цемента, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2015.
- [125] Методе испитивања цемента- Одређивање времена везивања и сталности запремине, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 1995.
- [126] Методе испитивања- Део 6: Одређивање финоће млива, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2019.

- [127] Методе испитивања цемента - Део 10: Одређивања садржаја водрастворљивог хрома у цементу, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2017.
- [128] Методе испитивања цемента- Део 4:Квалитативно одређивање састојака, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2009.
- [129] Цементи. Методе испитивања физичких особина цемента, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 1982.
- [130] Milović, T.; Malešev, M.; Radeka, M.; Radonjanin, V.; Šupić, S., „EFFECT OF ZEOLITE AS SCM ON REPAIR MORTARS BOND STRENGTH AFTER FREEZE-THAW CYCLING,“ у *iNDiS 2018*, Novi Sad, 2018.
- [131] „Зеолит - камен живота,“ Зеокоп, [На мжрежи]. Available: <http://zeokop.co.rs/hemijiska-svojstva-zeolita/>. [Последњи приступ Мај 2020].
- [132] Неметалне минералне сировине — Пуцолански материјали — Састојци за производњу цемента — Класификација, технички услови и методе испитивања, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2001.
- [133] Шешлија, М., АНАЛИЗА ПРИМЕНЕ ОТПАДНИХ И РЕЦИКЛИРАНИХ МАТЕРИЈАЛА ЗА ИЗРАДУ ПОРОЗНОГ БЕТОНСКОГ КОЛОВОЗА, Нови Сад: Факултет техничких наука, 2018.
- [134] Испитивање природног камена - Одређивање запреминске масе са порама и шупљинама, запреминске масе без пора и шупљина и коефицијента запреминске масе и порозности, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 1980.
- [135] Одређивање специфичне површине портланд-цемента, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 1964.
- [136] Млевена гранулисана згура из високих пећи за употребу у бетону, малтеру и инјекционој маси- Део 1: Дефиниције, спецификације и критеријуми усаглашености, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2010.
- [137] Wirtgen Group, Wirtgen Road Construction Manual: Internal Training Brochure for Sales Managers and Service Engineers, Windhagen: Wirtgen Group, 2002.
- [138] СРПС ЕН 12697-3; Асфалтне мешавине - Методе испитивања - Део 3: Одређивање индиректне затезне чврстоће асфалтних узорака, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2019.
- [139] СРПС ЕН 12697-12: Асфалтне мешавине - Методе испитивања - Део 12: Одређивање осетљивости асфалтних узорака на воду, Београд: Институт за стандардизацију Србије, 2018.

- [140] Ђоковић, К.; Тошовић, С.; Јанковић, К; Стојановић, М., „Одређивање мофула еластичности цементом стабилованих мешавина за потребе пројектовања коловозних конструкције,“ у *ДИМК*, 2017.
- [141] СРПС ЕН 13286-41: Невезане и хидрауличким везивом везане мешавине - Део 41: Метода испитивања за одређивање чврстоће при притиску мешавина везаних хидрауличким везивом, Београд: Институт за стандардизацију Србије , 2012.
- [142] Мутавцић, Б; Николић Ђорић, Е., Статистика, Нови Сад: Пољопривредни факултет Нови Сад, 2018.
- [143] [На мрежи]. Available: <http://rammedearthconsulting.com/rammed-earth-cement-co2.htm>.
[Последњи приступ 15 Октобар 2020].
- [144] Blomberg, T.; Barnes , J.; Bernard, F.; Dewez, P.;Le Clerc, S.;Pfitzmann, M.; Porot, L.; Southern, M.; Taylor, R.; , „LIFE CYCLE INVENTORY: BITUMEN,“ Eurobitume , Brussels, Belgium, 2012.

**ПРИЛОГ 1: КАЛЕНДАР СА ДАТУМИМА СПРАВЉАЊА, ЊЕГОВАЊА И
ИСПИТИВАЊА УЗОРАКА**

ПРИМЕНА ОТПАДНИХ И РЕЦИКЛИРАНИХ МАТЕРИЈАЛА ЗА ИЗРАДУ СТАБИЛИЗОВАНИХ СЛОЈЕВА КОЛОВОЗНИХ КОНСТРУКЦИЈА



ПРИЛОГ 2: ЗАПРЕМИНСКЕ МАСЕ УЗОРАКА НАКОН ВАЂЕЊА ИЗ КАЛУПА

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Датум справљања	Ознака тијела	Маса после вађења из калупа [g]	Запремина калупа [cm ³]	Запреминска маса узорка после вађења из калупа [kg/m ³]
2%	2%		28.02.2020.	ПТ-2	4705,3	2120	2219,48
			28.02.2020.	ПТ-3	4727,4		2229,91
			28.02.2020.	ПТ-4	4691,9		2213,16
			28.02.2020.	ПТ-5	4762,3		2246,37
			28.02.2020.	ПТ-6	4755,9		2243,35
			08.03.2020.	ПТ-101	4652,2		2194,43
			04.03.2020.	ПТ-М1	4669,0		2202,36
			04.03.2020.	ПТ-М2	4671,6		2203,58

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Датум справљања	Ознака тијела	Маса после вађења из калупа [g]	Запремина калупа [cm ³]	Запреминска маса узорка после вађења из калупа [kg/m ³]
2%	3%		29.02.2020.	ПТ-7	4637,4	2120	2187,45
			29.02.2020.	ПТ-8	4700		2216,98
			29.02.2020.	ПТ-9	4762,1		2246,27
			29.02.2020.	ПТ-10	4722,3		2227,50
			29.02.2020.	ПТ-11	4716,8		2224,91
			08.03.2020.	ПТ-112	4614,3		2176,56
			04.03.2020.	ПТ-М3	4636,2		2186,89
			04.03.2020.	ПТ-М4	4631,7		2184,76

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Датум справљања	Ознака тијела	Маса после вађења из калупа [g]	Запремина калупа [cm ³]	Запреминска маса узорка после вађења из калупа [kg/m ³]
2%	4%		29.02.2020.	ПТ-14	4612,8	2120	2175,8
			08.03.2020.	ПТ-114	4630,8		2184,3
			09.03.2020.	ПТ-115	4625,0		2181,6
			09.03.2020.	ПТ-116	4581,6		2161,1
			14.03.2020.	ПТ-117	4653,3		2195,0
			14.03.2020.	ПТ-118	4649,4		2193,1
			04.03.2020.	ПТ-М5	4562,8		2152,3
			04.03.2020.	ПТ-М6	4556,9		2149,5

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Датум справљања	Ознака тијела	Маса после вађења из калупа [g]	Запремина калупа [cm ³]	Запреминска маса узорка после вађења из калупа [kg/m ³]
1,6%	2%	зеолит 0,4%	06.03.2020.	ПТ-19	4748,0	2120	2239,62
		зеолит 0,4%	06.03.2020.	ПТ-20	4733,6		2232,83
		зеолит 0,4%	08.03.2020.	ПТ-21	4705,5		2219,58
		зеолит 0,4%	08.03.2020.	ПТ-22	4697,5		2215,80
		зеолит 0,4%	14.03.2020.	ПТ-23	4723,9		2228,25
		зеолит 0,4%	14.03.2020.	ПТ-24	4616,9		2177,78
		зеолит 0,4%	06.03.2020.	ПТ-М7	4738,3		2235,05
		зеолит 0,4%	06.03.2020.	ПТ-М8	4739,0		2235,38

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Датум справљања	Ознака тијела	Маса после вађења из калупа [g]	Запремина калупа [cm ³]	Запреминска маса узорка после вађења из калупа [kg/m ³]
1,6%	2%	л. пепео 0,4%	06.03.2020.	ПТ-25	4775,8	2120	2252,74
		л. пепео 0,4%	06.03.2020.	ПТ-26	4772,8		2251,32
		л. пепео 0,4%	09.03.2020.	ПТ-27	4753,1		2242,03
		л. пепео 0,4%	09.03.2020.	ПТ-28	4733,7		2232,88
		л. пепео 0,4%	14.03.2020.	ПТ-29	4764,8		2247,55
		л. пепео 0,4%	14.03.2020.	ПТ-30	4722,1		2227,41
		л. пепео 0,4%	06.03.2020.	ПТ-М9	4793,2		2260,94
		л. пепео 0,4%	06.03.2020.	ПТ-М10	4800,0		2264,15

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Датум справљања	Ознака тијела	Маса после вађења из калупа [g]	Запремина калупа [cm ³]	Запреминска маса узорка после вађења из калупа [kg/m ³]
1,6%	2%	згура 0,4%	19.03.2020.	ПТ-31	4774	2120	2251,89
		згура 0,4%	19.03.2020.	ПТ-32	4733,9		2232,97
		згура 0,4%	19.03.2020.	ПТ-33	4741,6		2236,60
		згура 0,4%	19.03.2020.	ПТ-34	4721,9		2227,31
		згура 0,4%	22.03.2020.	ПТ-35	4660,9		2198,54
		згура 0,4%	22.03.2020.	ПТ-36	4666,3		2201,08
		згура 0,4%	19.03.2020.	ПТ- М11	4763,1		2246,75
		згура 0,4%	19.03.2020.	ПТ- М12	4747,8		2239,53

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Датум справљања	Ознака тијела	Маса после вађења из калупа [g]	Запремина калупа [cm ³]	Запреминска маса узорка после вађења из калупа [kg/m ³]
2%	1,6%	бакелит 0,4%	20.03.2020.	ПТ-37	4668,2	2120	2201,98
		бакелит 0,4%	20.03.2020.	ПТ-38	4653,9		2195,24
		бакелит 0,4%	20.03.2020.	ПТ-39	4624,6		2181,42
		бакелит 0,4%	20.03.2020.	ПТ-40	4665,6		2200,75
		бакелит 0,4%	20.03.2020.	ПТ-41	4665,3		2200,61
		бакелит 0,4%	22.03.2020.	ПТ-42	4602,5		2170,99
		бакелит 0,4%	20.03.2020.	ПТ-М13	4678,2		2206,70
		бакелит 0,4%	20.03.2020.	ПТ-М14	4640,8		2189,06

ПРИЛОГ 3: ЗАПРЕМИНСКЕ МАСЕ НАКОН ВАЂЕЊА ИЗ СУШНИЦЕ

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса послије вађења из сушнице [g]	Запреминска маса узорка послије вађења из сушнице [kg/m ³]	Средња вриједност запреминске масе послије вађења из сушнице [kg/m ³]	Дозвољени гранични опсег запреминских маса [kg/m ³]
2%	2%		ПТ-2	4569,1	2155,24	2152,72	од
			ПТ-3	4592,1	2166,08		2098,905955
			ПТ-4	4566,2	2153,87		
			ПТ-5	4608,1	2173,63		
			ПТ-6	4597,2	2168,49		
			ПТ-101	4521,1	2132,59		
			ПТ-М1	4525,2	2134,53		
			ПТ-М2	4531,2	2137,36		2206,542158

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса послије вађења из сушнице [g]	Запреминска маса узорка послије вађења из сушнице [kg/m ³]	Средња вриједност запреминске масе послије вађења из сушнице [kg/m ³]	Дозвољени гранични опсег запреминских маса [kg/m ³]
2%	3%		ПТ-7	4504,5	2124,76	2145,75	од
			ПТ-8	4571,1	2156,18		2092,110849
			ПТ-9	4635,1	2186,37		
			ПТ-10	4586,9	2163,63		
			ПТ-11	4584,1	2162,31		
			ПТ-112	4495,3	2120,42		
			ПТ-М3	4512,4	2128,49		
			ПТ-М4	4502,6	2123,87		2199,398585

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса после вађења из сушнице [g]	Запреминска маса узорка после вађења из сушнице [kg/m ³]	Средња вриједност запреминске масе после вађења из сушнице [kg/m ³]	Дозвољени гранични опсег запреминских маса [kg/m ³]
2%	4%		ПТ-14	4506,1	2125,52	2119,64	од
			ПТ-114	4515,5	2129,95		2066,649322
			ПТ-115	4511,3	2127,97		
			ПТ-116	4462,8	2105,09		
			ПТ-117	4538,8	2140,94		
			ПТ-118	4540	2141,51		
			ПТ-М5	4439,2	2093,96		
			ПТ-М6	4435,4	2092,17		

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса после вађења из сушнице [g]	Запреминска маса узорка после вађења из сушнице [kg/m ³]	Средња вриједност запреминске масе после вађења из сушнице [kg/m ³]	Дозвољени гранични опсег запреминских маса [kg/m ³]
1,6%	2%	зеолит 0,4%	ПТ-19	4607,3	2173,25	2157,72	од
		зеолит 0,4%	ПТ-20	4596,1	2167,97		2103,780955
		зеолит 0,4%	ПТ-21	4567,7	2154,58		
		зеолит 0,4%	ПТ-22	4564,4	2153,02		
		зеолит 0,4%	ПТ-23	4586,9	2163,63		
		зеолит 0,4%	ПТ-24	4470	2108,49		
		зеолит 0,4%	ПТ-М7	4604,4	2171,89		
		зеолит 0,4%	ПТ-М8	4598,2	2168,96		

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса после вађења из сушнице [g]	Запреминска маса узорка после вађења из сушнице [kg/m ³]	Средња вриједност запреминске масе после вађења из сушнице [kg/m ³]	Дозвољени гранични опсег запреминских маса [kg/m ³]
1,6%	2%	л. пепео 0,4%	ПТ-25	4608,1	2173,63	2168,40	од
		л. пепео 0,4%	ПТ-26	4613	2175,94		2114,186321
		л. пепео 0,4%	ПТ-27	4587,6	2163,96		
		л. пепео 0,4%	ПТ-28	4562,9	2152,31		
		л. пепео 0,4%	ПТ-29	4606,9	2173,07		
		л. пепео 0,4%	ПТ-30	4558	2150,00		
		л. пепео 0,4%	ПТ-М9	4613,3	2176,08		
		л. пепео 0,4%	ПТ-М10	4626,2	2182,17		2222,606132

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса после вађења из сушнице [g]	Запреминска маса узорка после вађења из сушнице [kg/m ³]	Средња вриједност запреминске масе после вађења из сушнице [kg/m ³]	Дозвољени гранични опсег запреминских маса [kg/m ³]
1,6%	2%	згура 0,4%	ПТ-31	4606	2172,64	2152,50	од
		згура 0,4%	ПТ-32	4568	2154,72		2098,6875
		згура 0,4%	ПТ-33	4576,9	2158,92		
		згура 0,4%	ПТ-34	4548,4	2145,47		
		згура 0,4%	ПТ-35	4517	2130,66		
		згура 0,4%	ПТ-36	4513,5	2129,01		
		згура 0,4%	ПТ- М11	4594,9	2167,41		
		згура 0,4%	ПТ- М12	4581,7	2161,18		2206,3125

Цемент [%]	Битуменска емулзија [%]	Додатак и садржај [%]	Ознака тијела	Маса после вађења из сушнице [g]	Запреминска маса узорка после вађења из сушнице [kg/m ³]	Средња вриједност запреминске масе после вађења из сушнице [kg/m ³]	Дозвољени гранични опсег запреминских маса [kg/m ³]
2%	1,6%	бакелит 0,4%	ПТ-37	4519,5	2131,84	2127,30	од
		бакелит 0,4%	ПТ-38	4507,5	2126,18		2074,11704
		бакелит 0,4%	ПТ-39	4487	2116,51		
		бакелит 0,4%	ПТ-40	4512,5	2128,54		
		бакелит 0,4%	ПТ-41	4531	2137,26		
		бакелит 0,4%	ПТ-42	4469	2108,02		
		бакелит 0,4%	ПТ-М13	4543,5	2143,16		
		бакелит 0,4%	ПТ-М14	4509	2126,89		

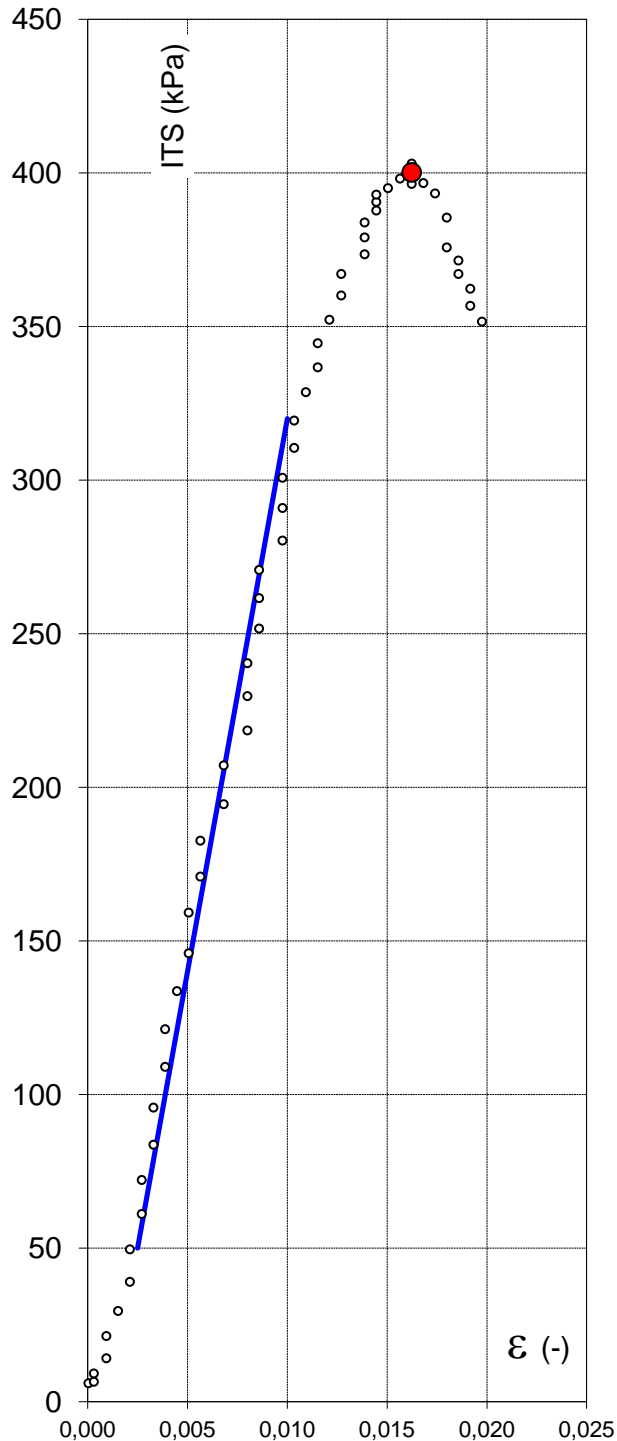
**ПРИЛОГ 4 : ДИЈАГРАМИ ОПТЕРЕЋЕЊЕ-ДЕФОРМАЦИЈА ДОБИЈЕНИ
ИСПИТИВАЊЕМ УЗОРАКА**

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 2

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4566,7$ (mm)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,131$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **400,1** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,016$ (%)

Јунгов модул:

E = **36000,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

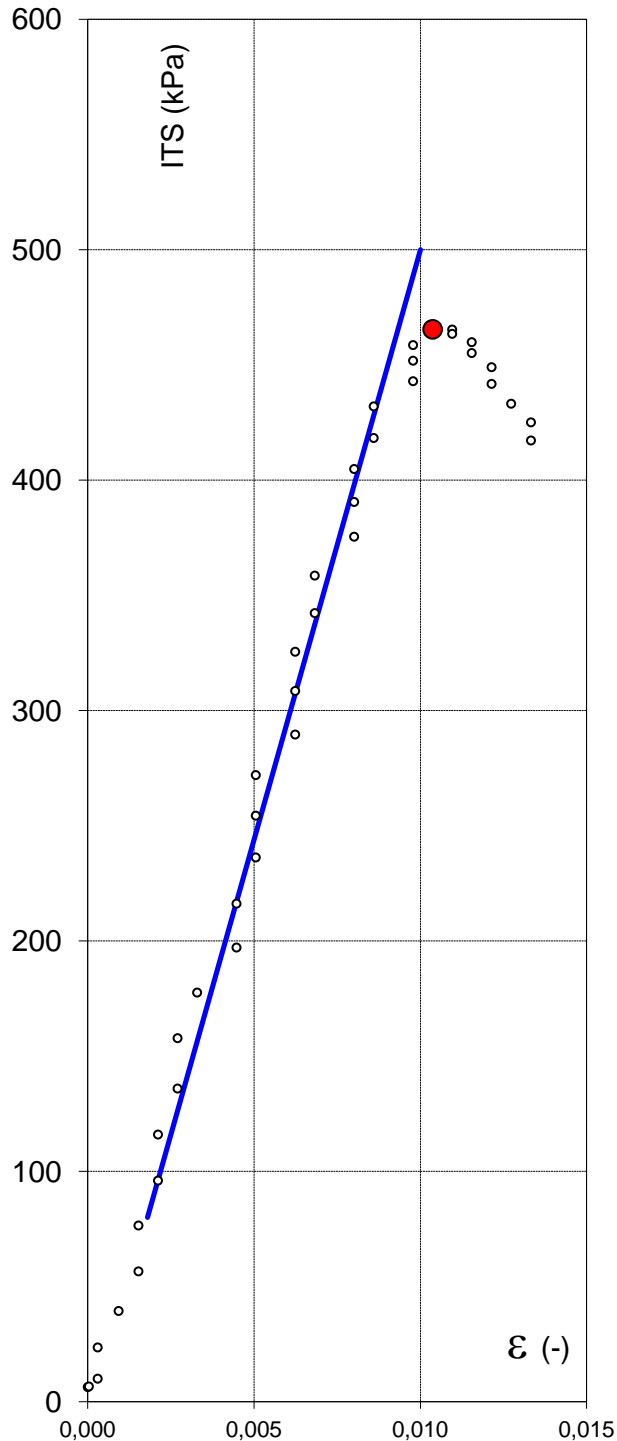
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 3

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

$R = 150$ (mm)

Висина узорка:

$H = 120,75$ (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4599,3$ (g)

Влажност узорка:

$w = 6,5$ (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,155$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 465,4 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,010$ (%)

Јунгов модул:

$E = 51219,5$ kPa

Брзина деформације:

$v = 50,8$ mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

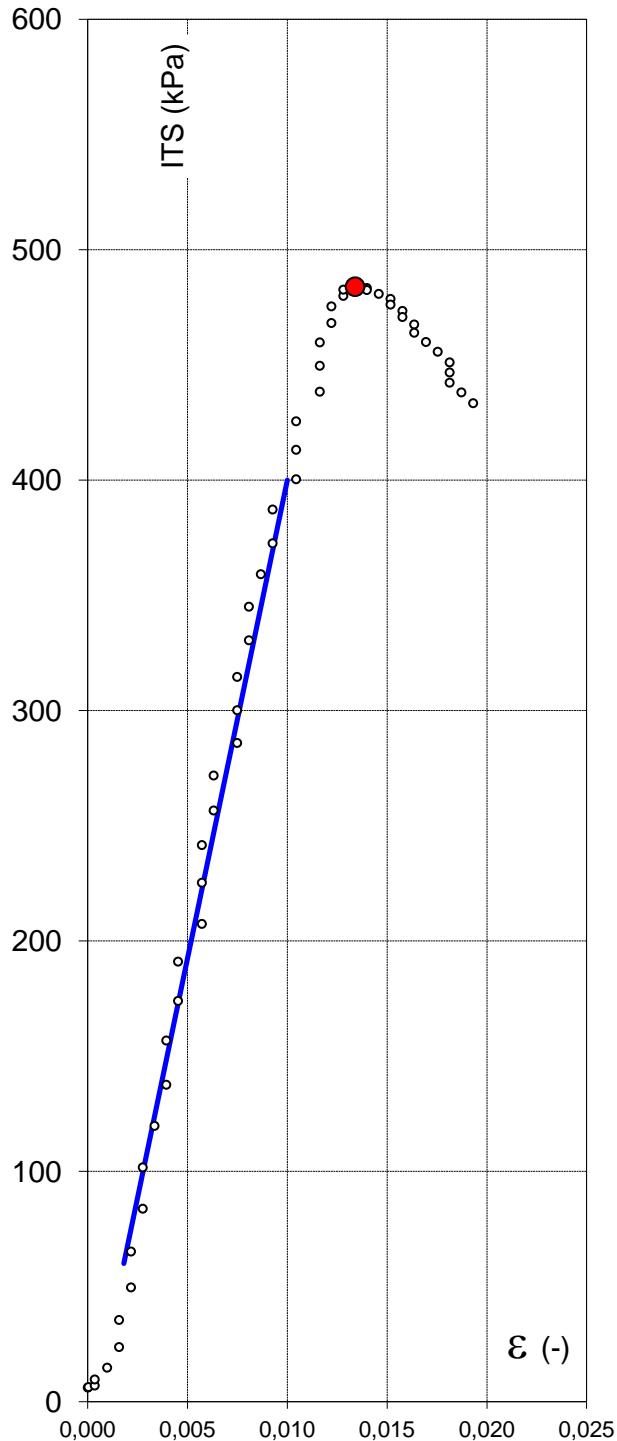
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 4

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120,5** (mm)

Маса узорка:

m_0 = 4558,1 (g)

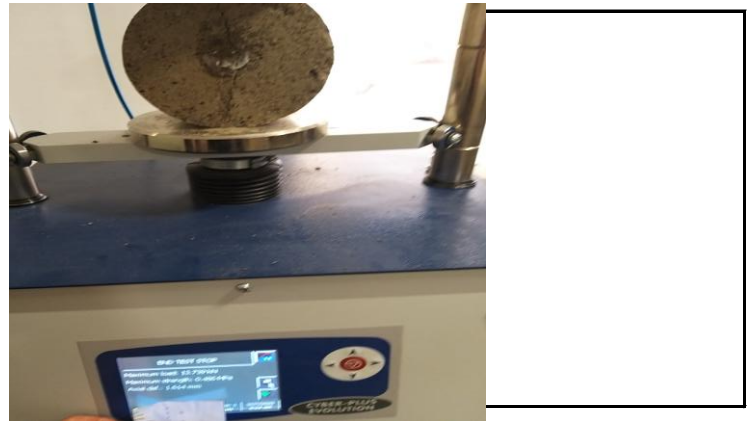
Влажност узорка:

w = 6,5 (%)

Запреминска маса:

ρ = 2,141 (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 483,9 kPa

деформација:

ϵ = 0,013 (%)

Јунгов модул:

E = 41463,4 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

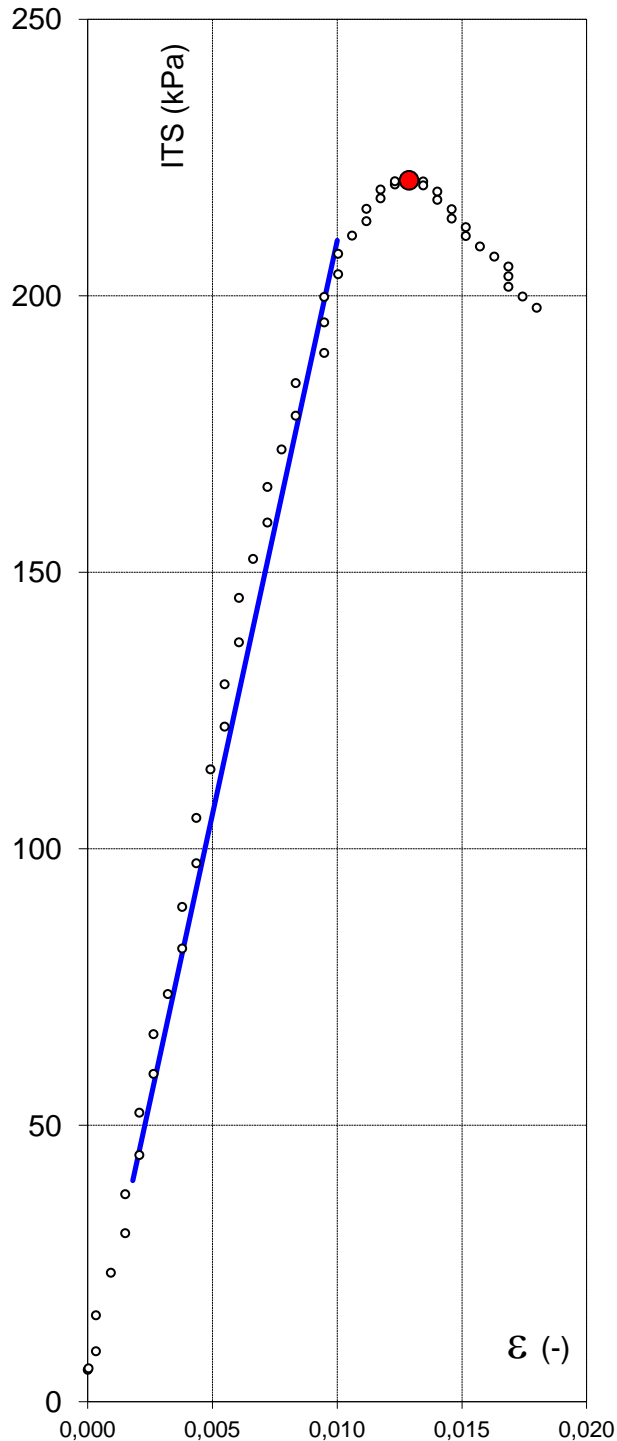
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 5

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **125,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4886,8$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,208$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **220,9** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,013$ (%)

Јунгов модул:

E = **20731,7** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

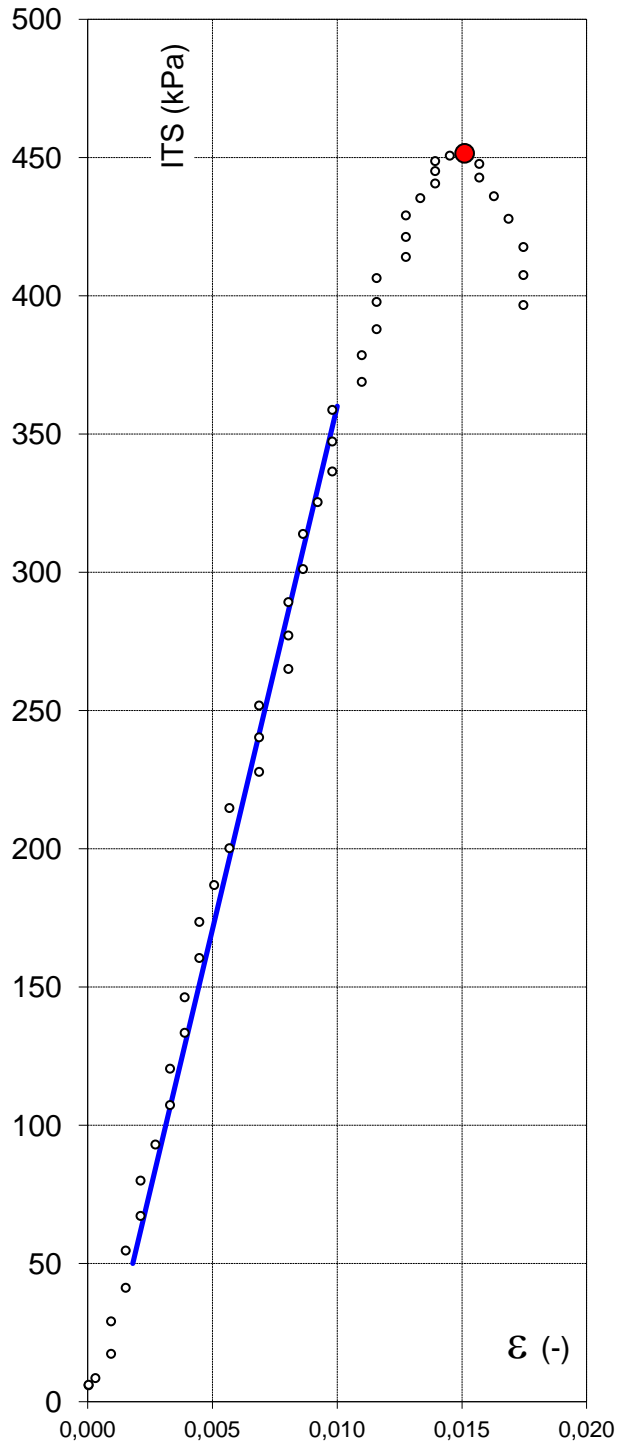
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 6

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121** (mm)

Маса узорка:

m_0 = **4829,8** (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

ρ = **2,259** (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **451,5** kPa

деформација:

ϵ = **0,015** (%)

Јунгов модул:

E = **37804,9** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

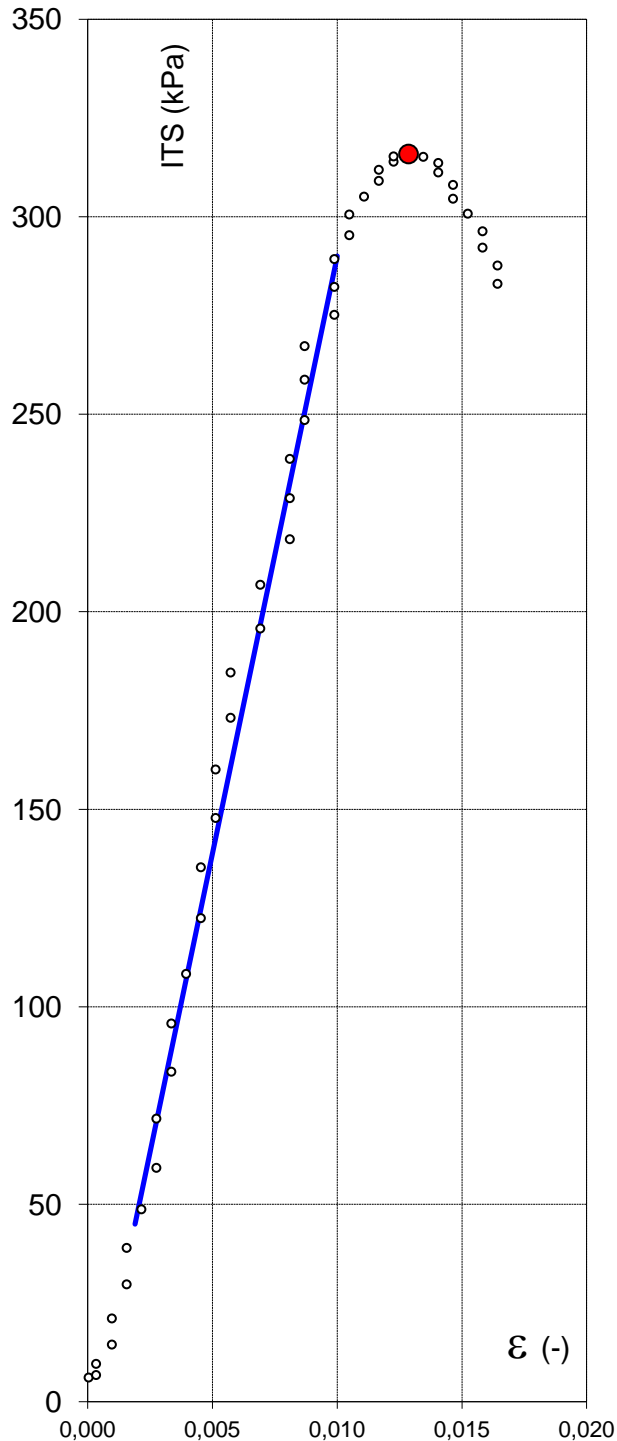
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 7

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4636,7$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,187$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **315,9** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,013$ (%)

Јунгов модул:

E = **30246,9** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

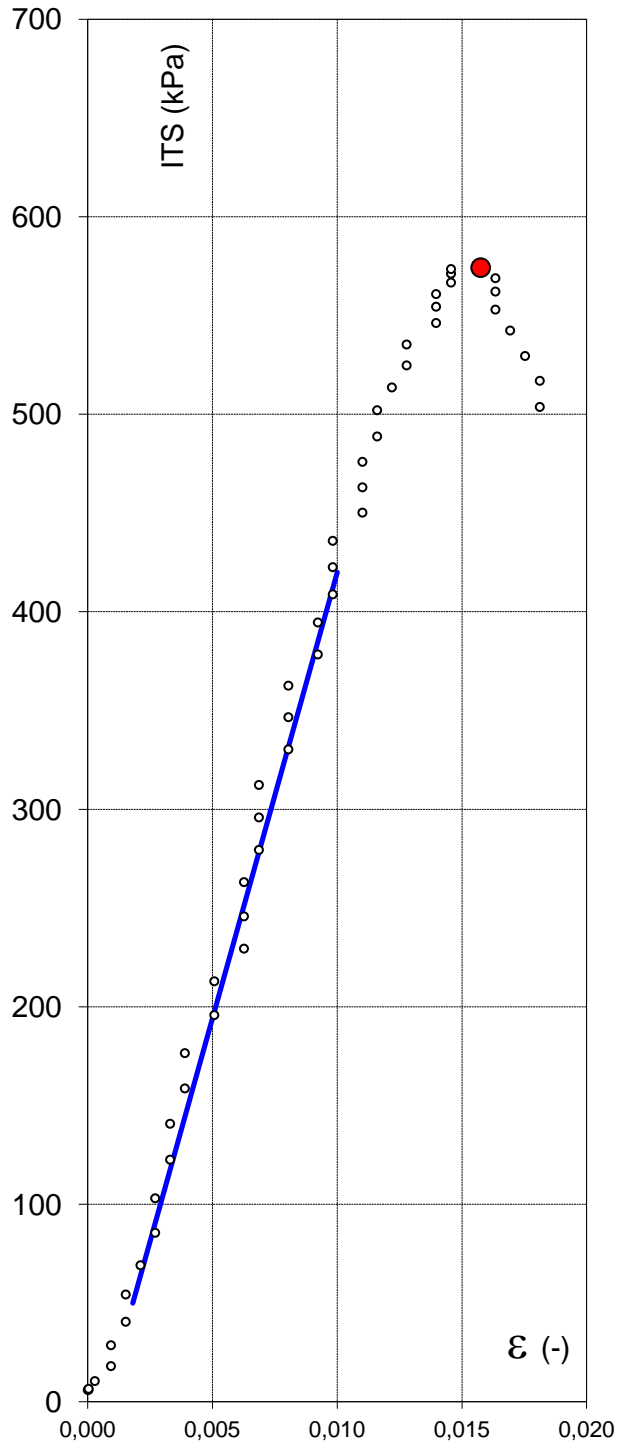
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 8

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4761,5$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,241$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **574,2** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,016$ (%)

Јунгов модул:

E = **45122,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

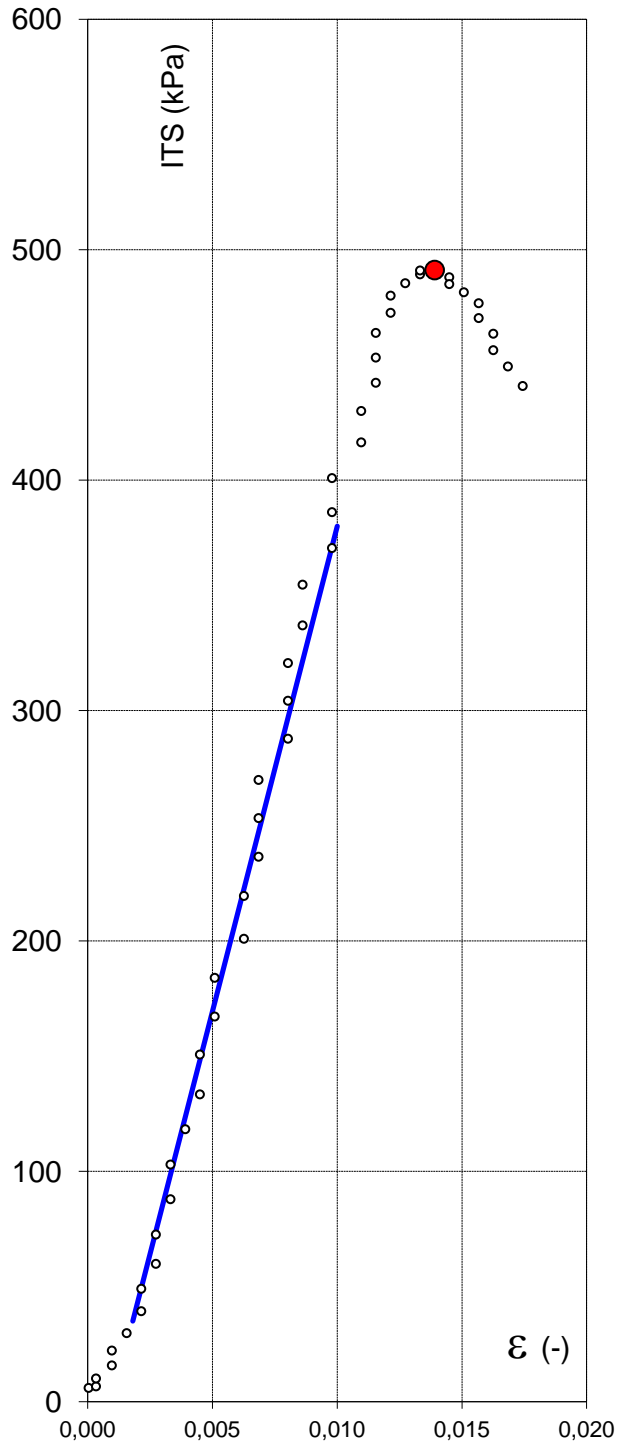
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 9

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4845,5$ (g)

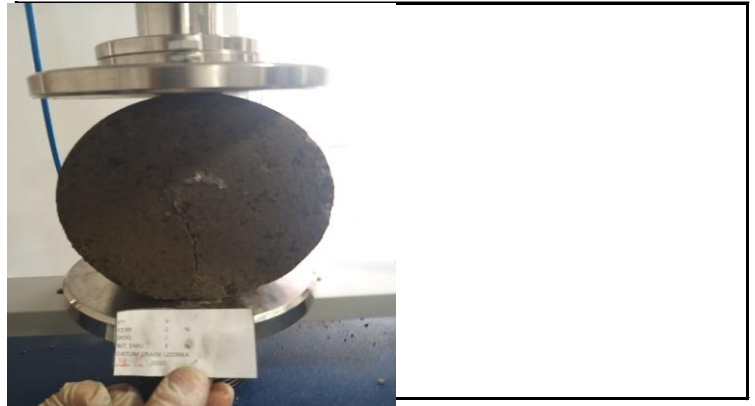
Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,261$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **491,1** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,014$ (%)

Јунгов модул:

E = **42073,2** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

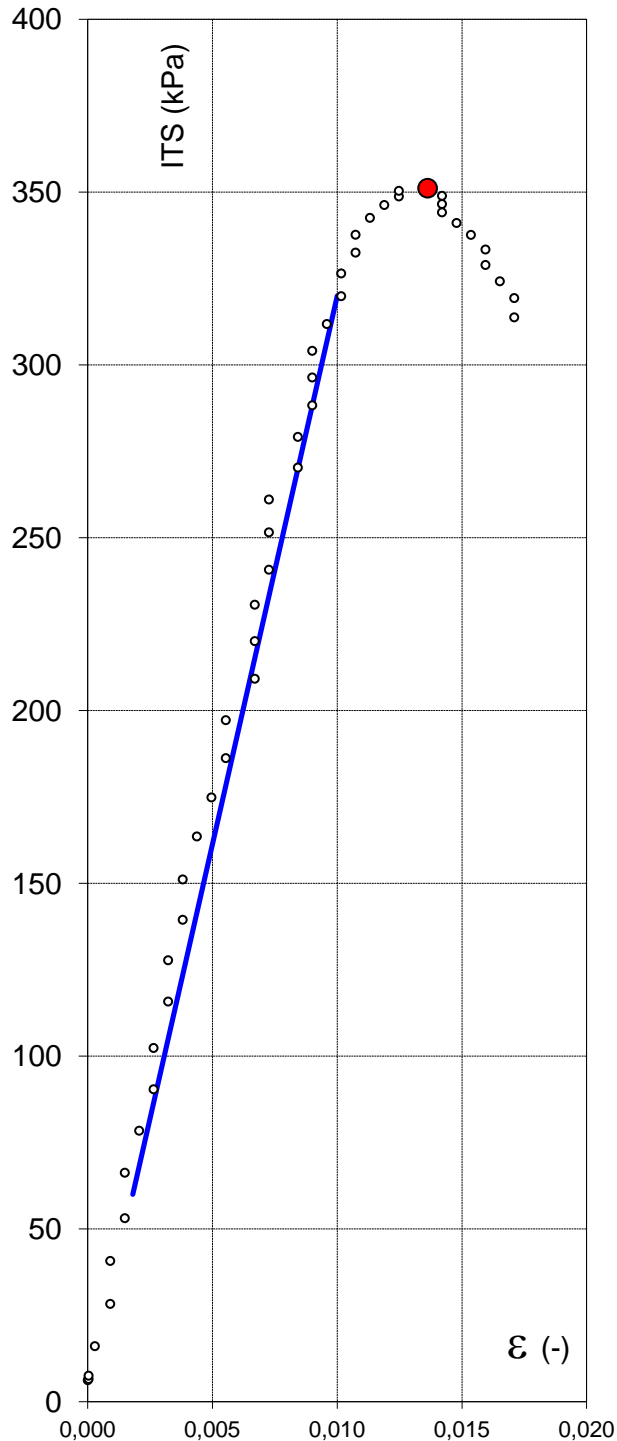
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 10

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **123,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4596,3$ (g)

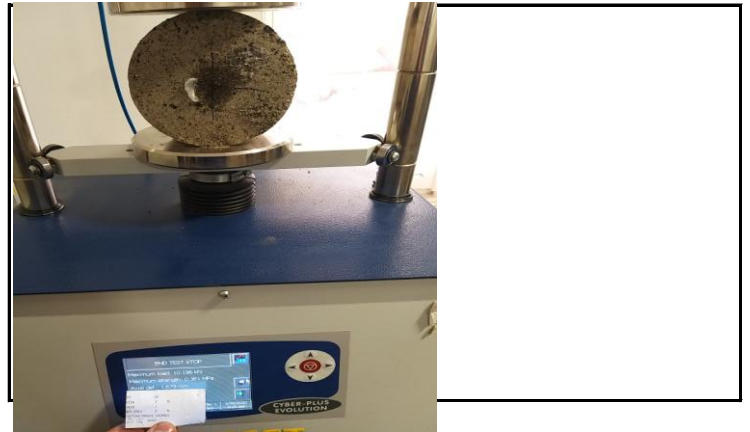
Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,110$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **351,1** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,014$ (%)

Јунгов модул:

E = **31707,3** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

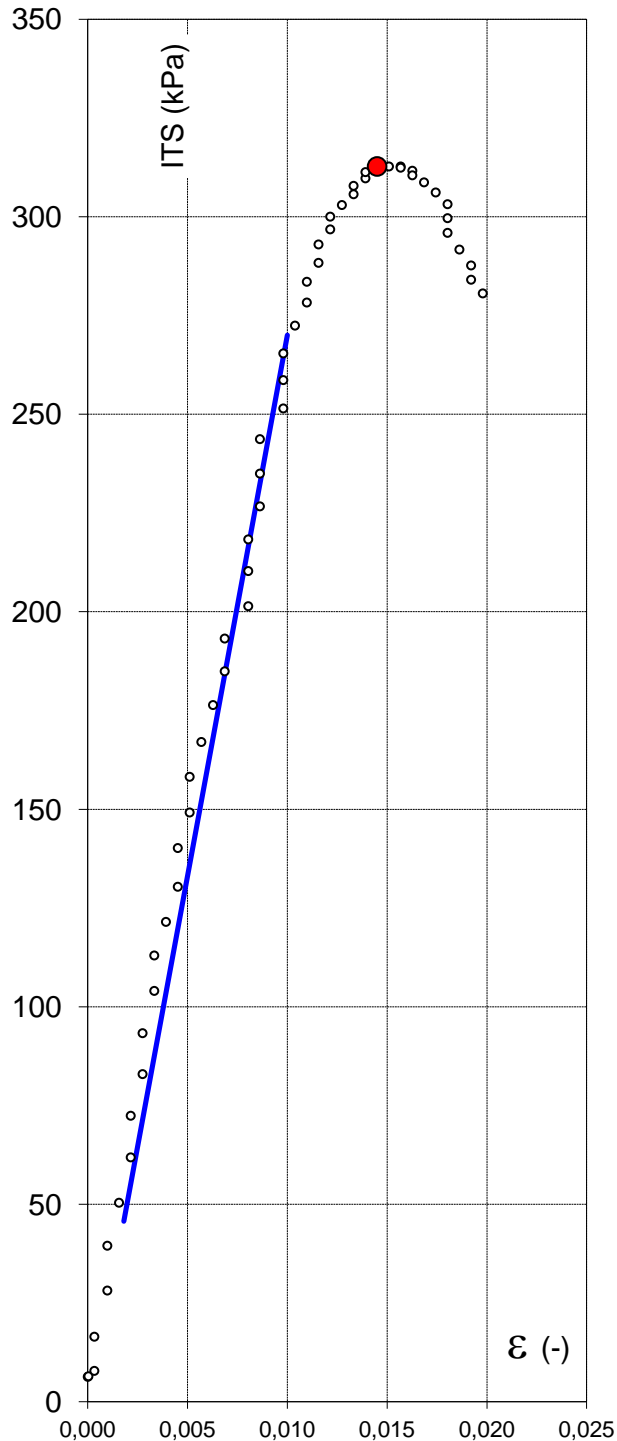
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: **МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ**

Узорак: **ПТ 11**

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4587,1$ (g)

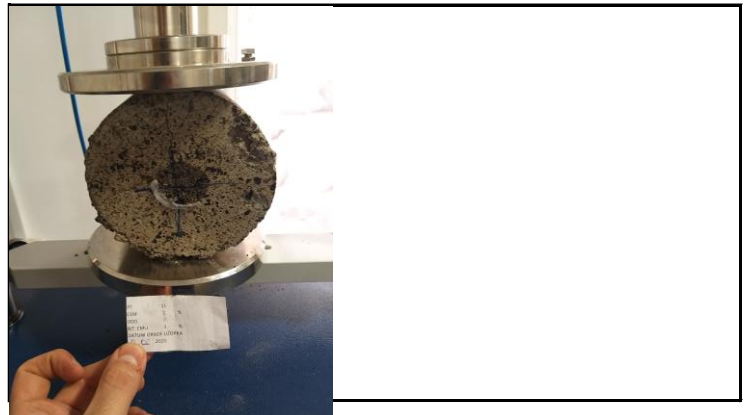
Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,141$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **312,7** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,014$ (%)

Јунгов модул:

E = **27353,7** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

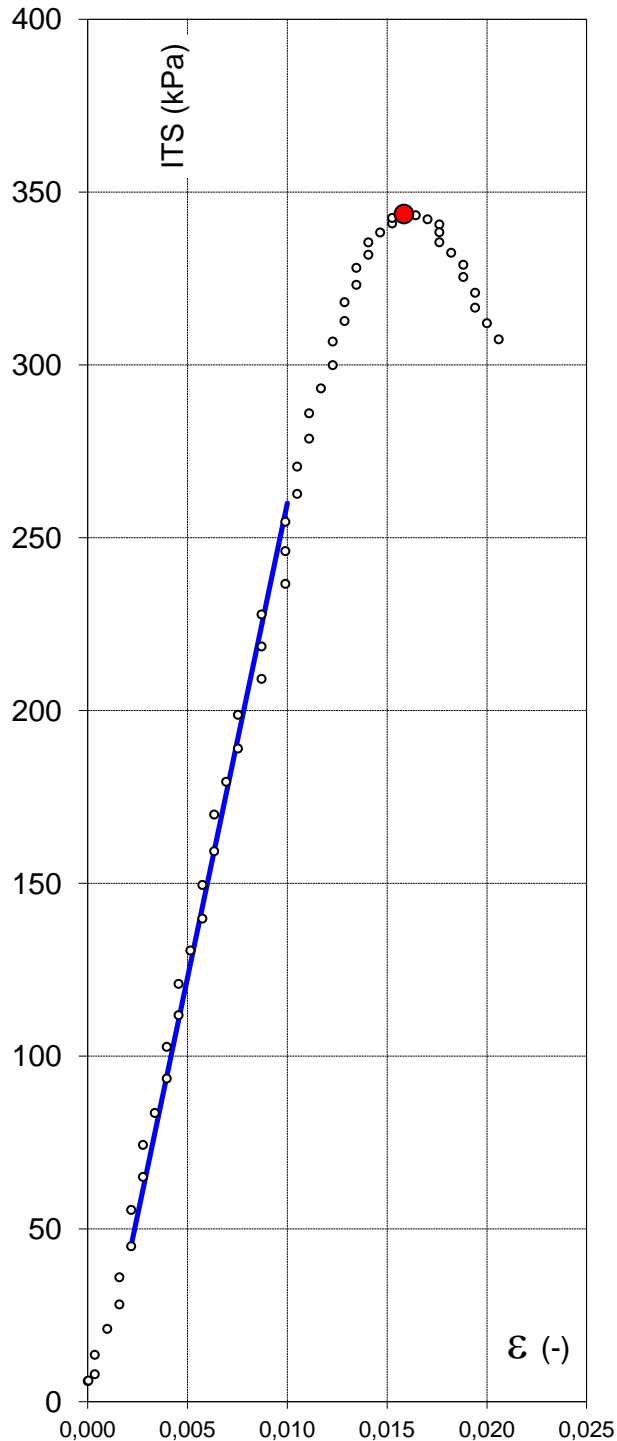
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: **МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ**

Узорак: **ПТ 14**

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4506,1$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,125$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **343,6** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,016$ (%)

Јунгов модул:

E = **27474,4** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

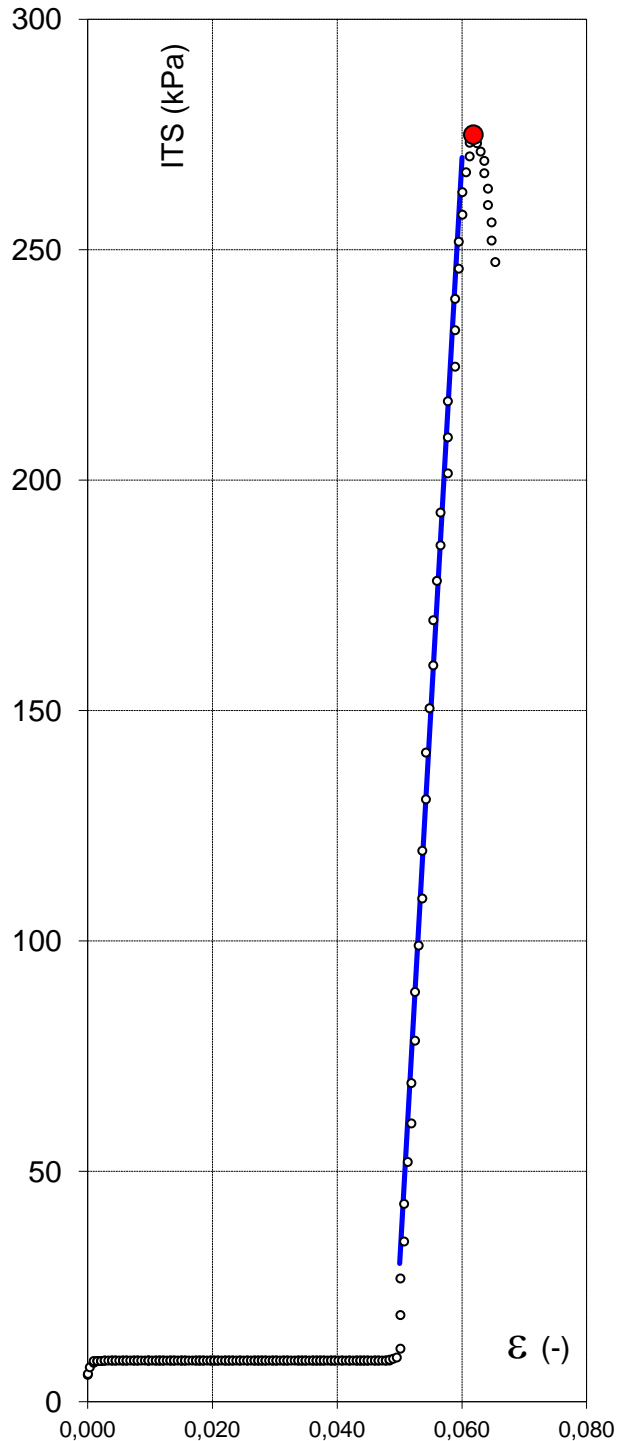
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 19

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,75** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4613,4$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,144$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **274,9** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,062$ (%)

Јунгов модул:

E = **24000,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

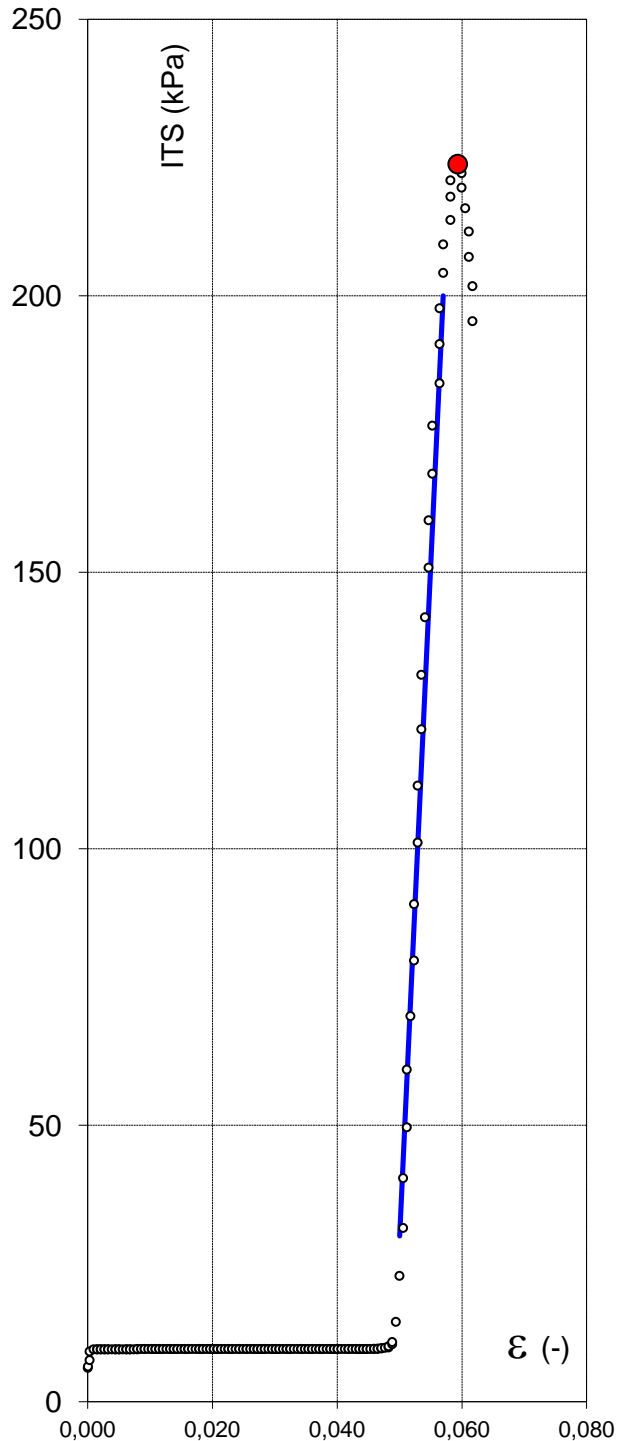
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 20

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

$R = 150$ (mm)

Висина узорка:

$H = 122$ (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4599,1$ (g)

Влажност узорка:

$w = 6,5$ (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,133$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS = 223,8 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,059$ (%)

Јунгов модул:

$E = 24285,7$ kPa

Брзина деформације:

$v = 50,8$ mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

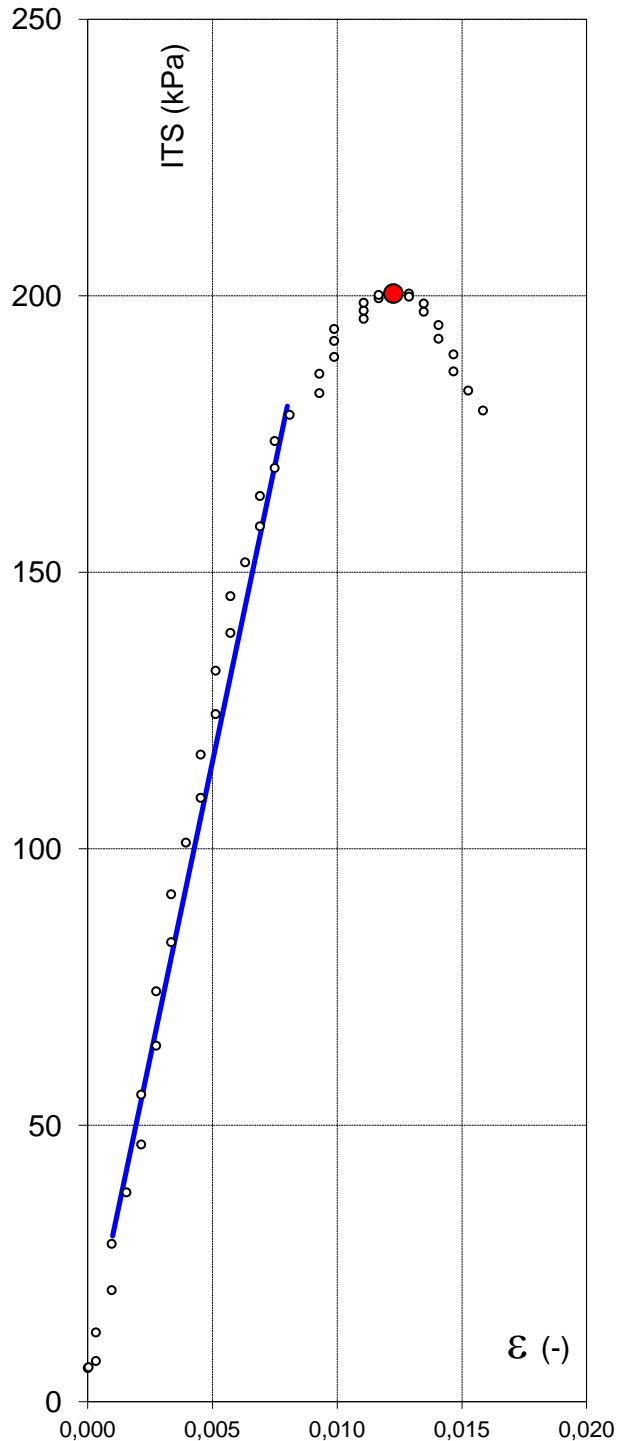
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 21

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= 150 (mm)

Висина узорка:

H= 120 (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4518,5$ (mm)

Влажност узорка:

w = 6,5 (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,131$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 200,4 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,012$ (%)

Јунгов модул:

E = 21428,6 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

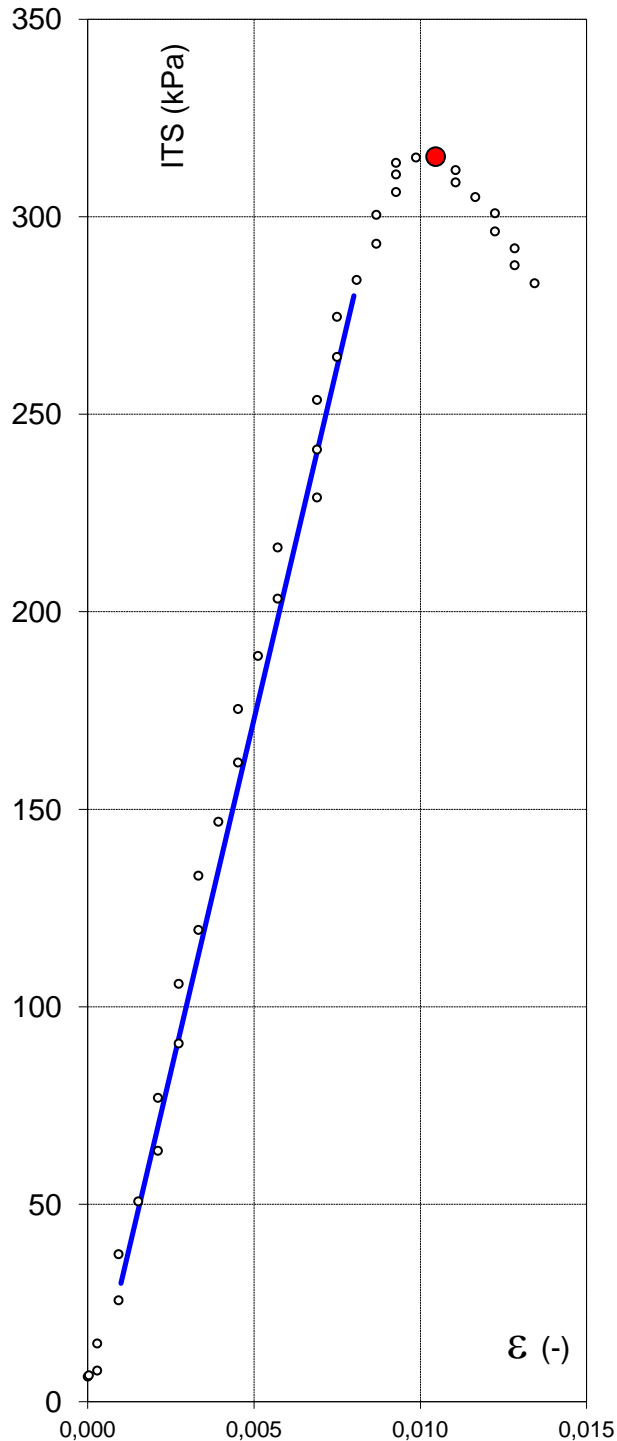
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 22

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4565,3$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,153$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **315,2** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,010$ (%)

Јунгов модул:

E = **35714,3** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

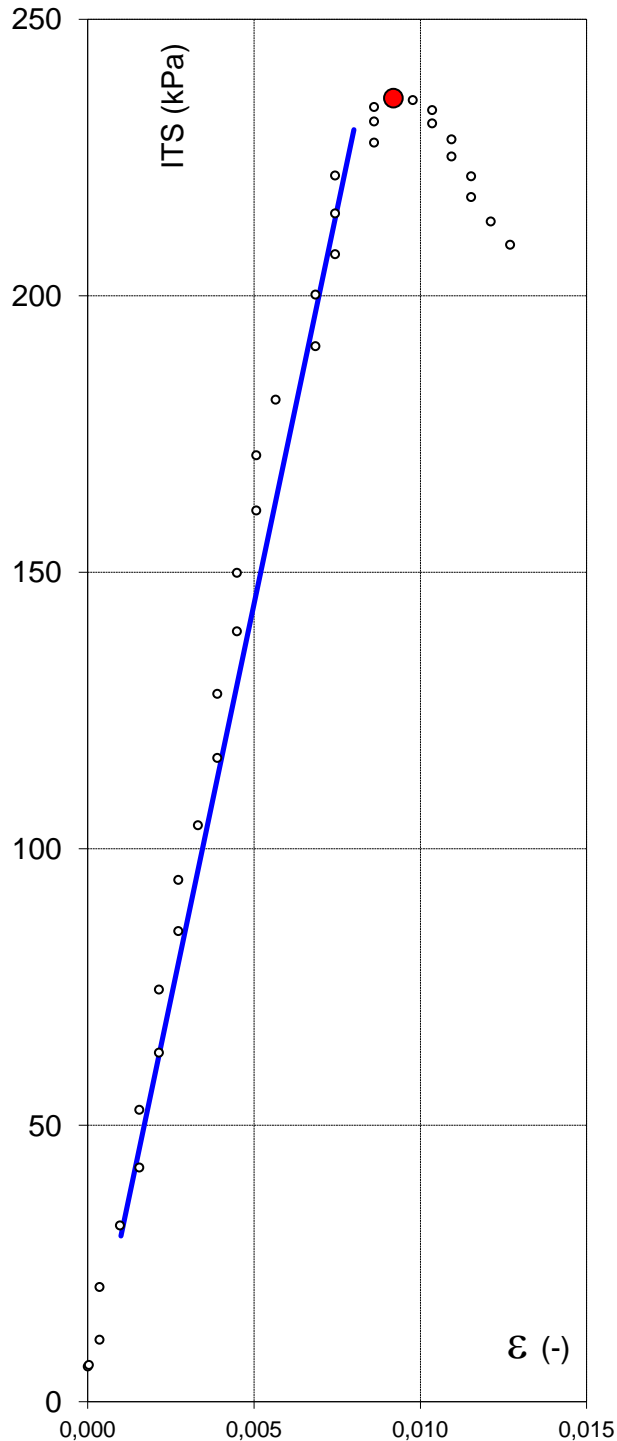
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 23

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

$R = 150$ (mm)

Висина узорка:

$H = 122$ (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4821,7$ (g)

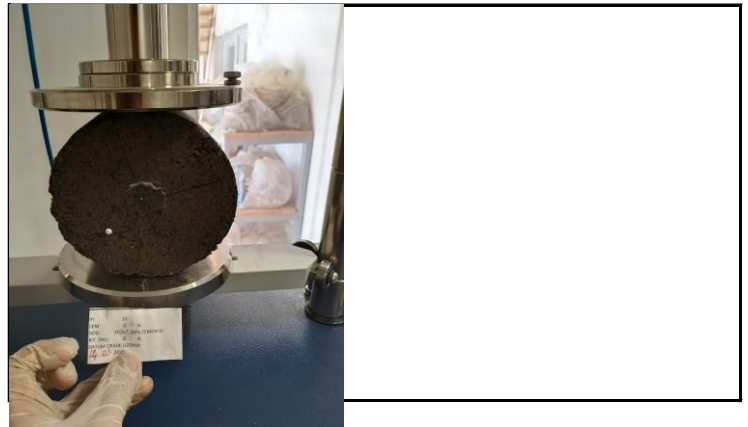
Влажност узорка:

$w = 6,5$ (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,236$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS = 235,7 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,009$ (%)

Јунгов модул:

$E = 28571,4$ kPa

Брзина деформације:

$v = 50,8$ mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

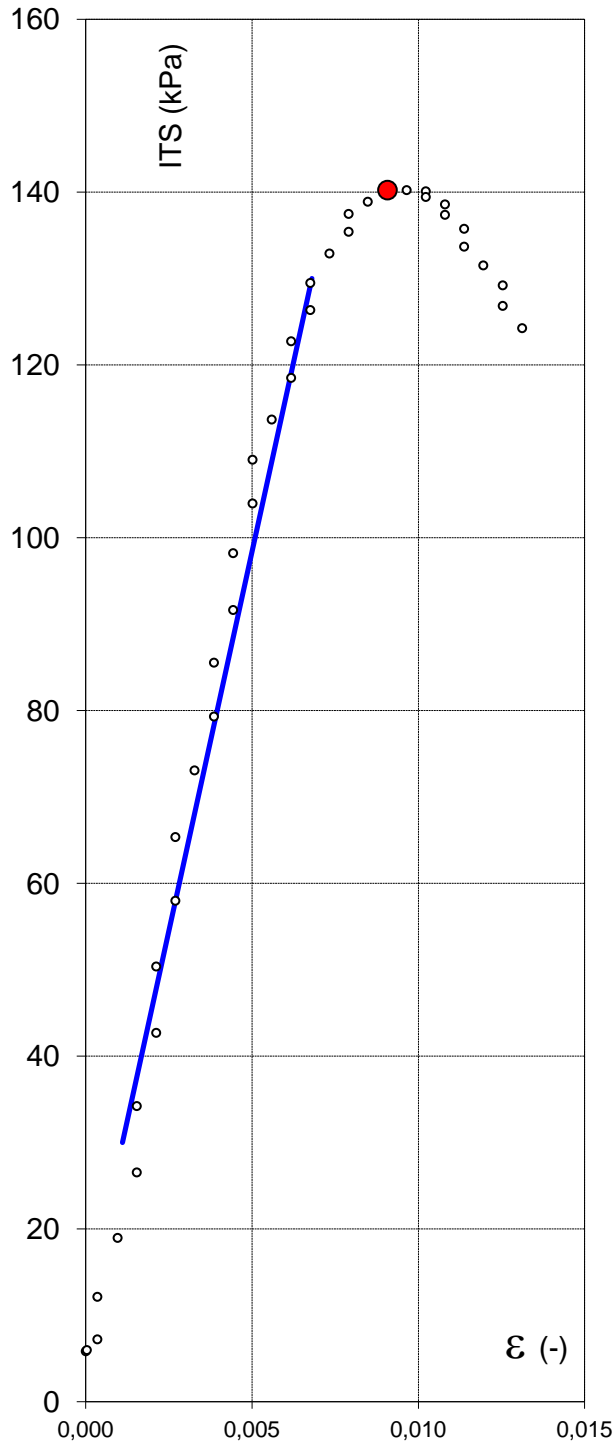
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: **МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ**

Узорак: **ПТ 24**

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,75** (mm)

Маса узорка:

m_0 = **4738,7** (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

ρ = **2,176** (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **140,2** kPa

деформација:

ϵ = **0,009** (%)

Јунгов модул:

E = **17543,9** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

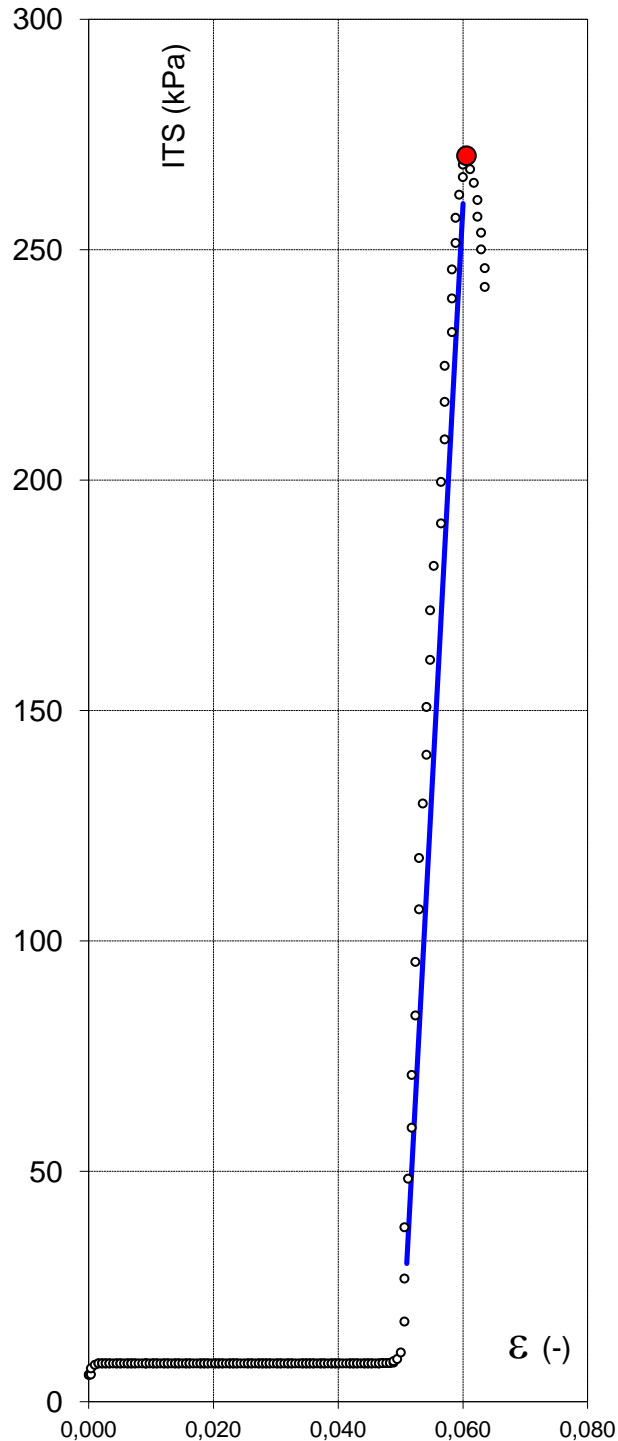
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 25

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **122** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4613,1$ (g)

Влажност узорка:

w = **7,6** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,140$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **270,4** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,061$ (%)

Јунгов модул:

E = **25555,6** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

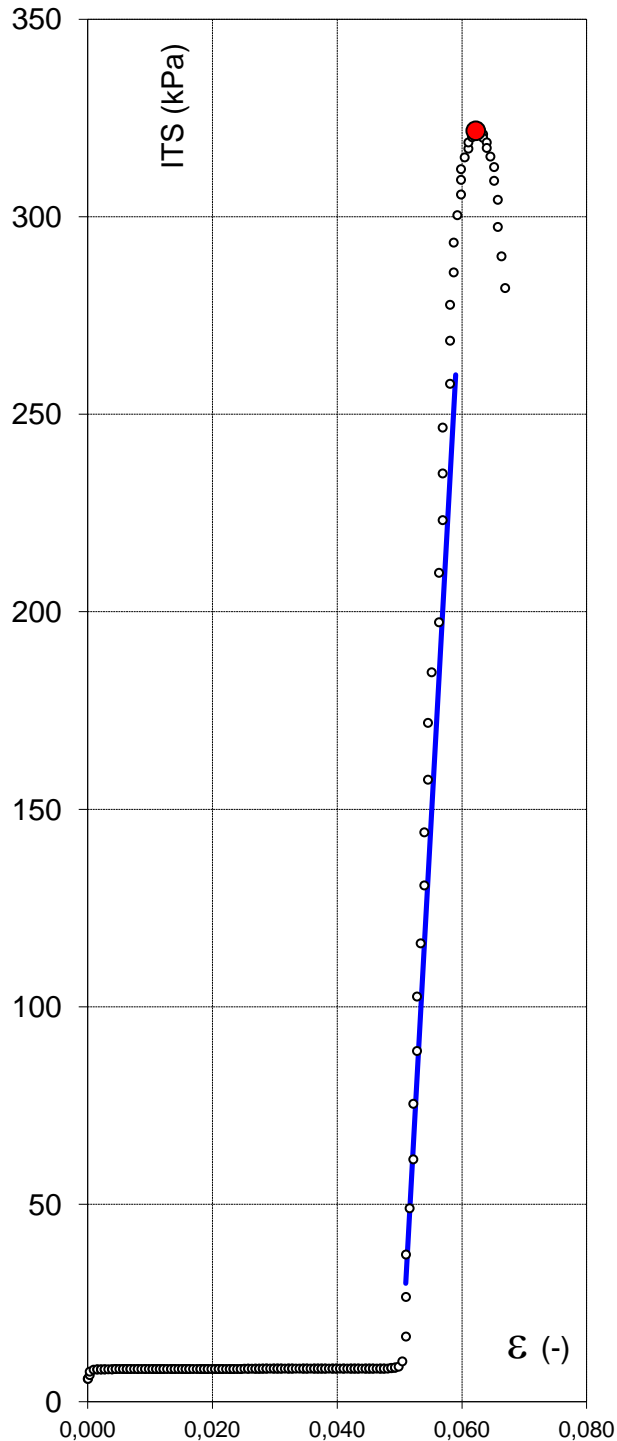
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 26

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

$R = 150$ (mm)

Висина узорка:

$H = 121$ (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4618,1$ (g)

Влажност узорка:

$w = 7,6$ (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,160$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS = 321,7 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,062$ (%)

Јунгов модул:

$E = 28750,0$ kPa

Брзина деформације:

$v = 50,8$ mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

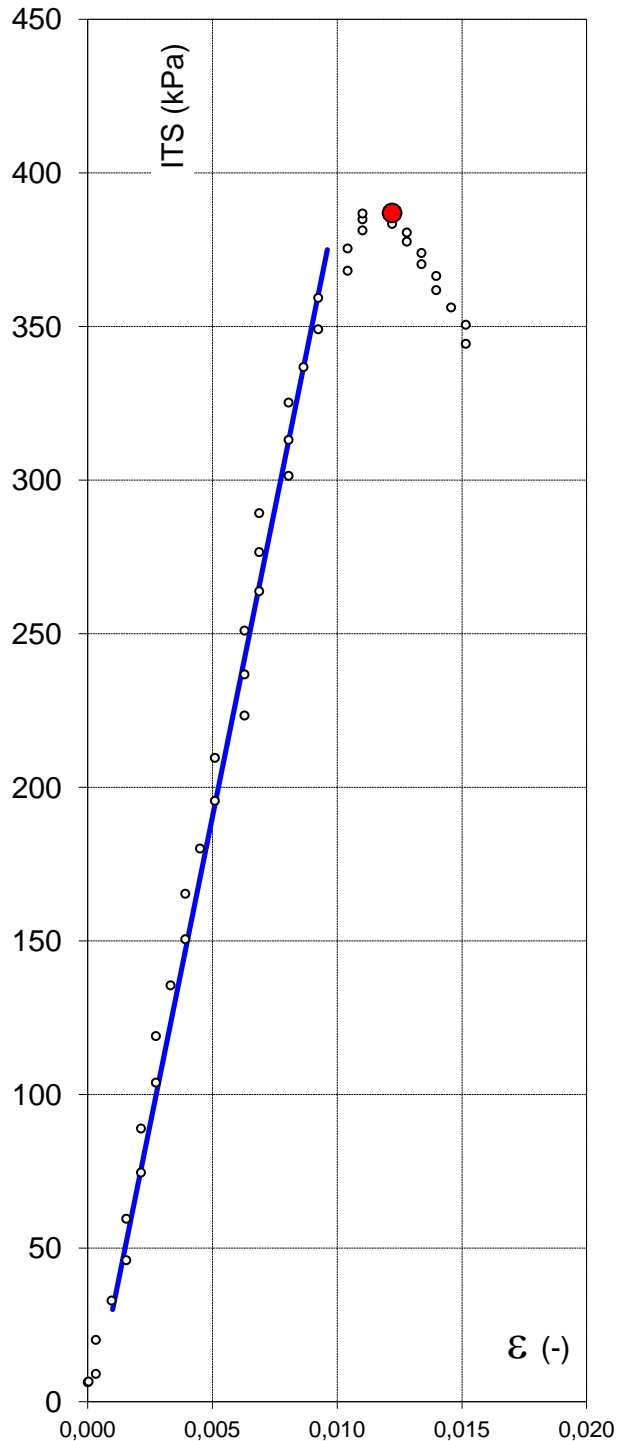
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 27

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120,5** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4593,6$ (g)

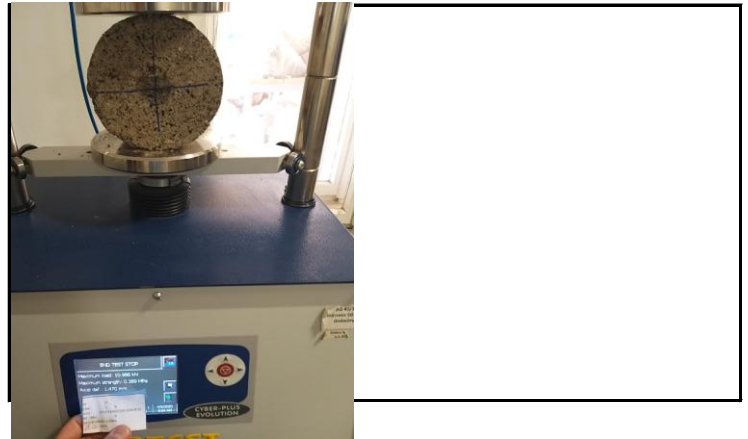
Влажност узорка:

w = **7,6** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,157$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индиректна затезна чврстоћа :

ITS= **386,9** kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,012$ (%)

Јунгов модул:

E = **40116,3** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

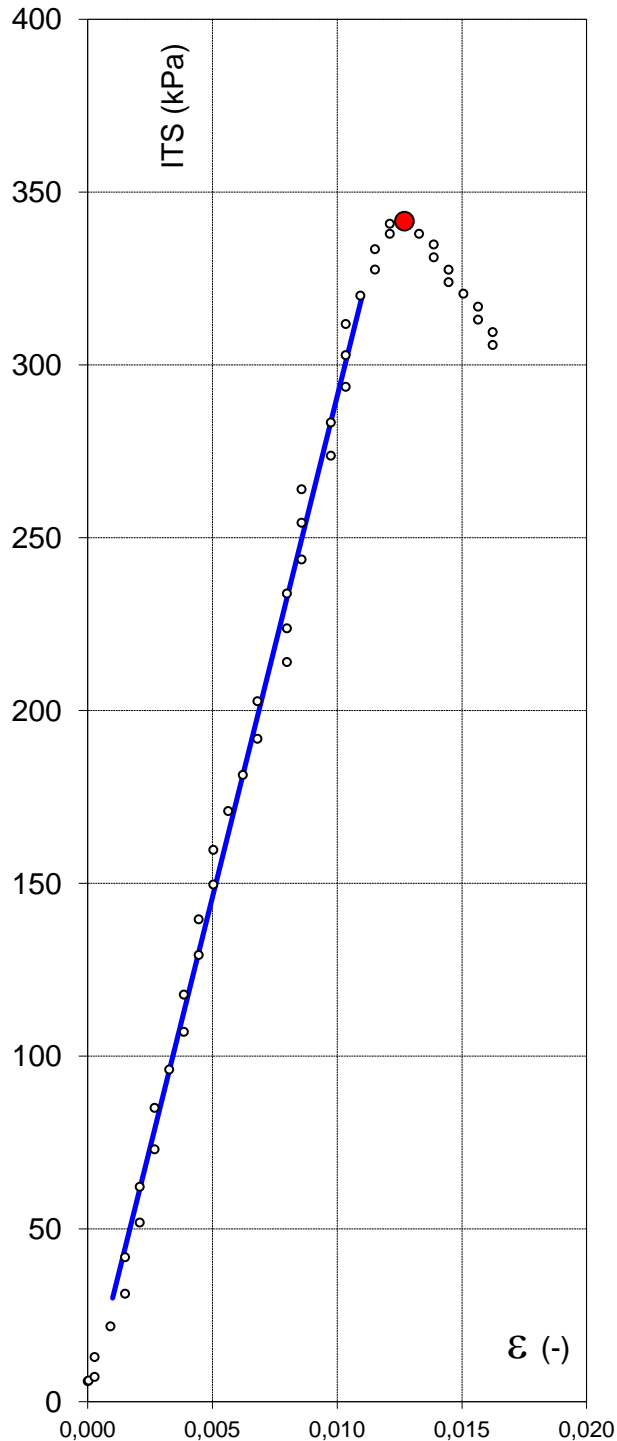
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 28

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4570,6$ (g)

Влажност узорка:

w = **7,6** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,138$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **341,6** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,013$ (%)

Јунгов модул:

E = **29000,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

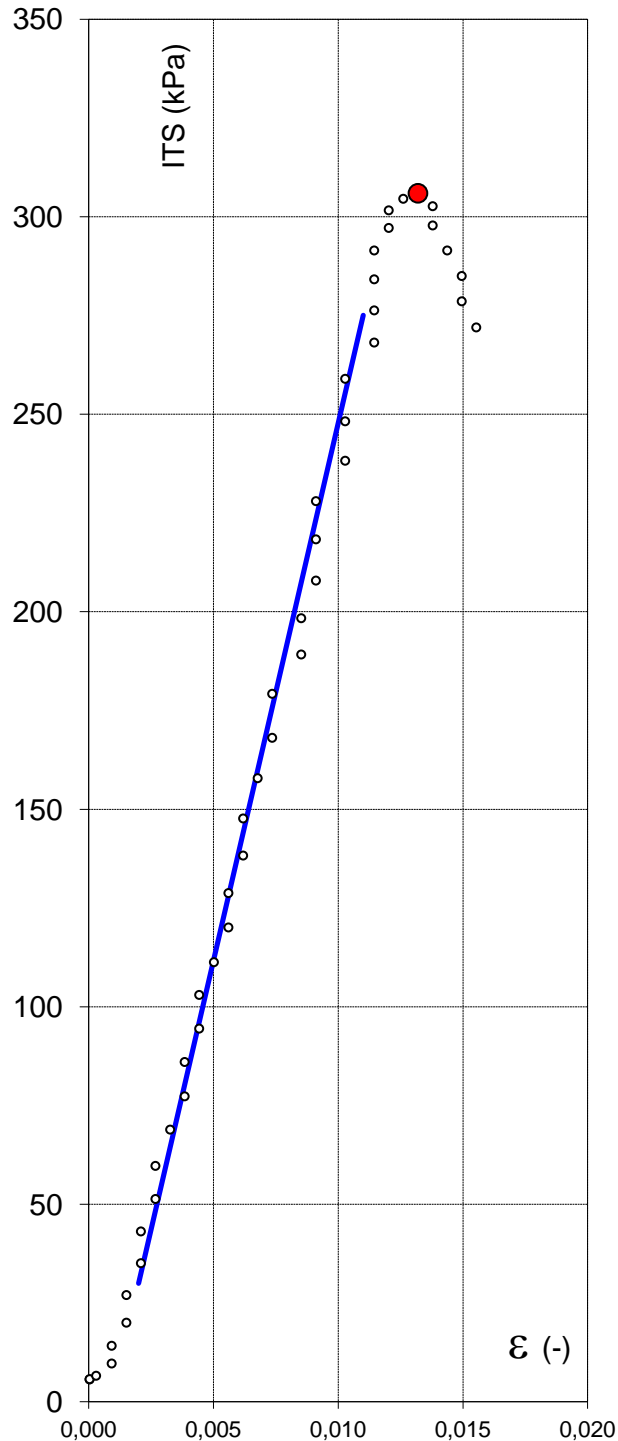
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 29

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **122** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4810,8$ (g)

Влажност узорка:

w = **7,6** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,231$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индиректна затезна чврстоћа :

ITS= **305,9** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,013$ (%)

Јунгов модул:

E = **27222,2** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

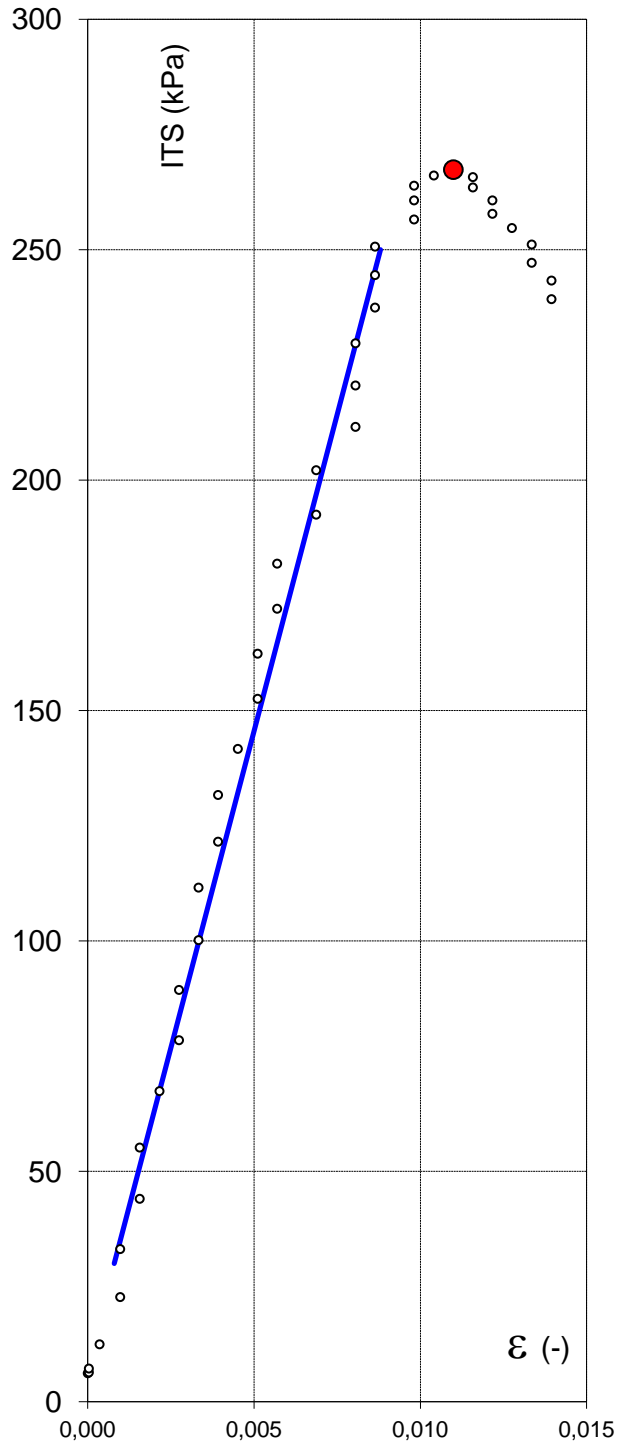
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 30

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4759,3$ (g)

Влажност узорка:

w = **7,6** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,226$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **267,3** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,011$ (%)

Јунгов модул:

E = **27500,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

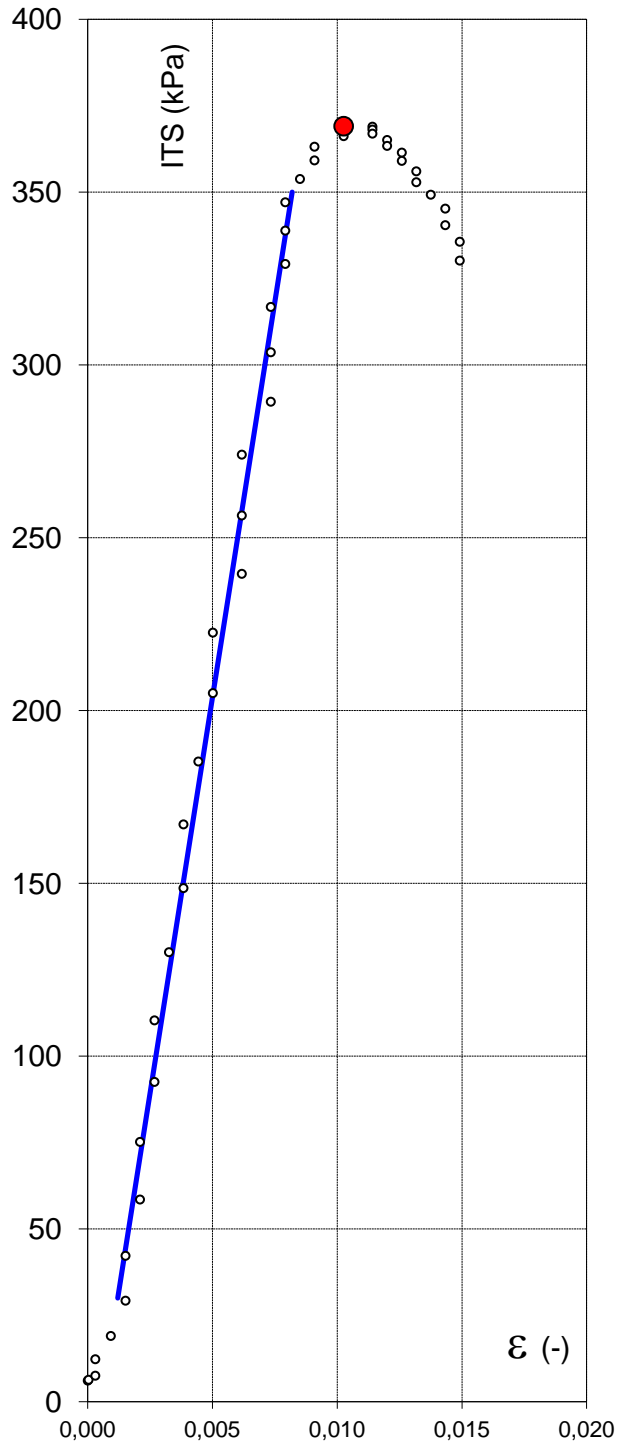
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 31

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **122,25** (mm)

Маса узорка:

m_0 = 4615,2 (g)

Влажност узорка:

w = 6,4 (%)

Запреминска маса:

ρ = 2,136 (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 369,0 kPa

деформација:

ϵ = 0,010 (%)

Јунгов модул:

E = 45714,3 kPa

Брзина деформације:

v = mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

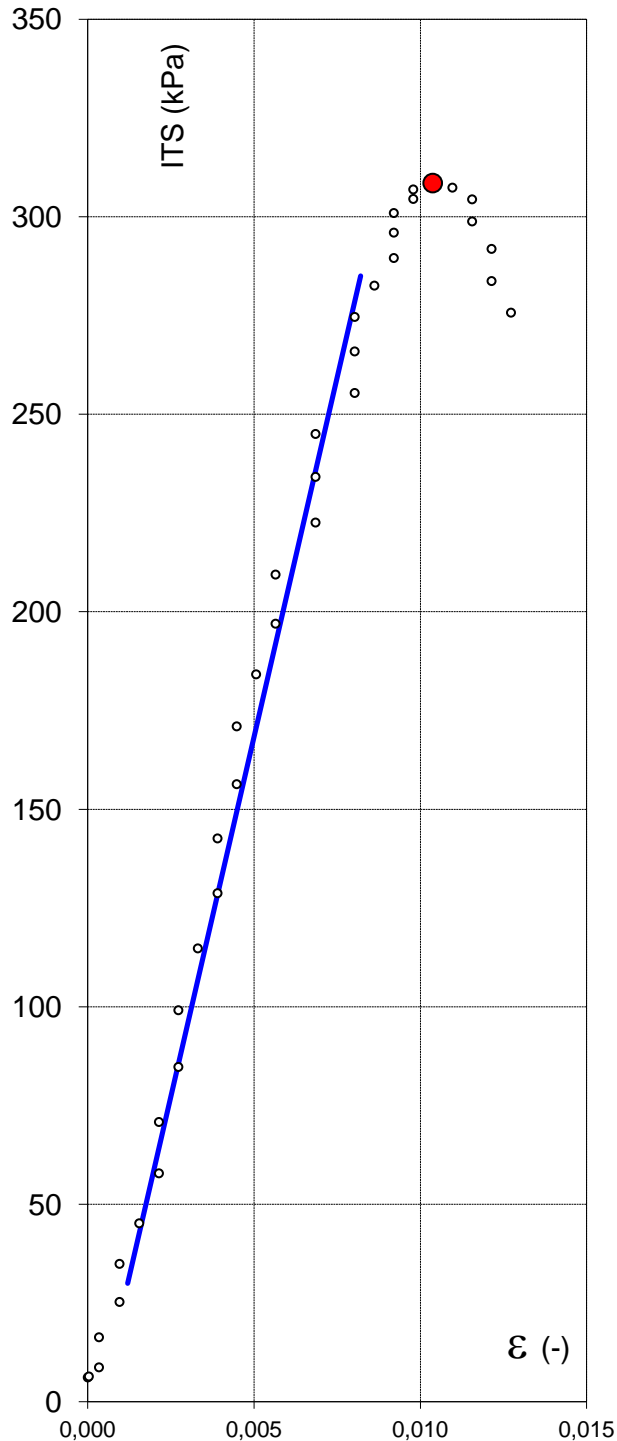
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 32

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,5** (mm)

Маса узорка:

m_0 = 4573,5 (g)

Влажност узорка:

w = 6,4 (%)

Запреминска маса:

ρ = 2,130 (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 308,5 kPa

деформација:

ϵ = 0,010 (%)

Јунгов модул:

E = 36428,6 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

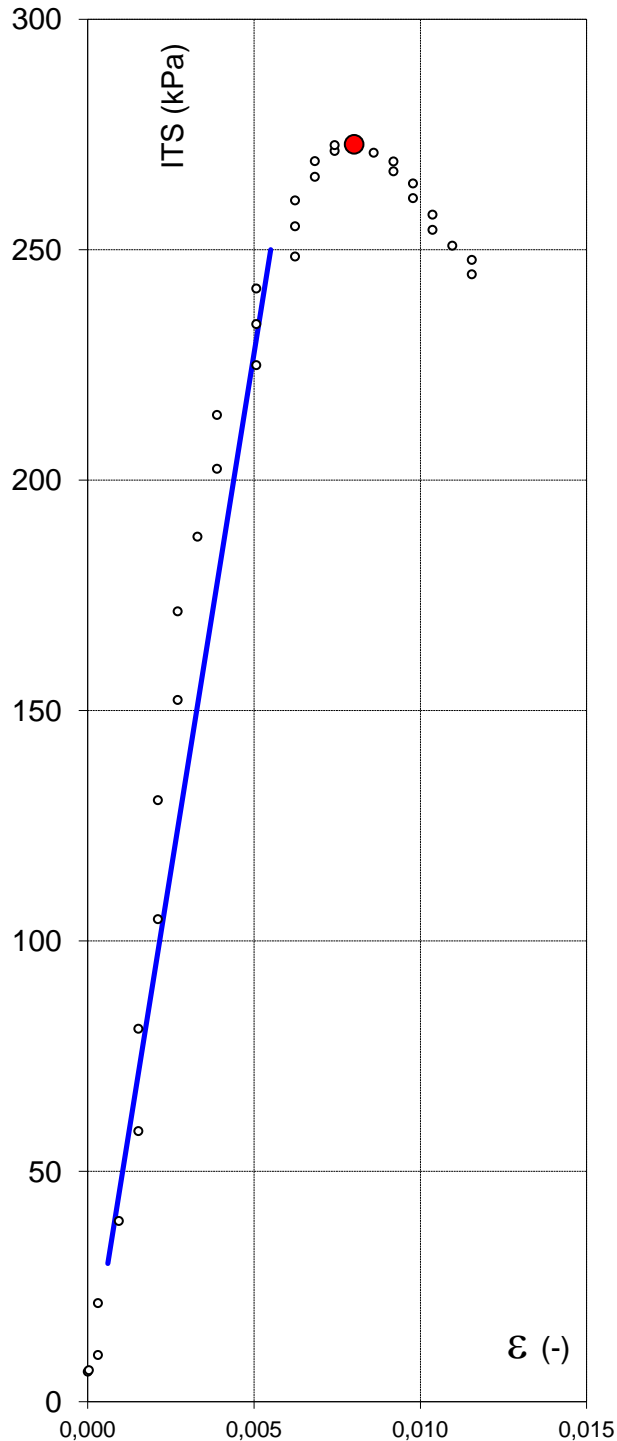
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 33

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4800,1$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,245$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **272,9** kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,008$ (%)

Јунгов модул:

E = **44898,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

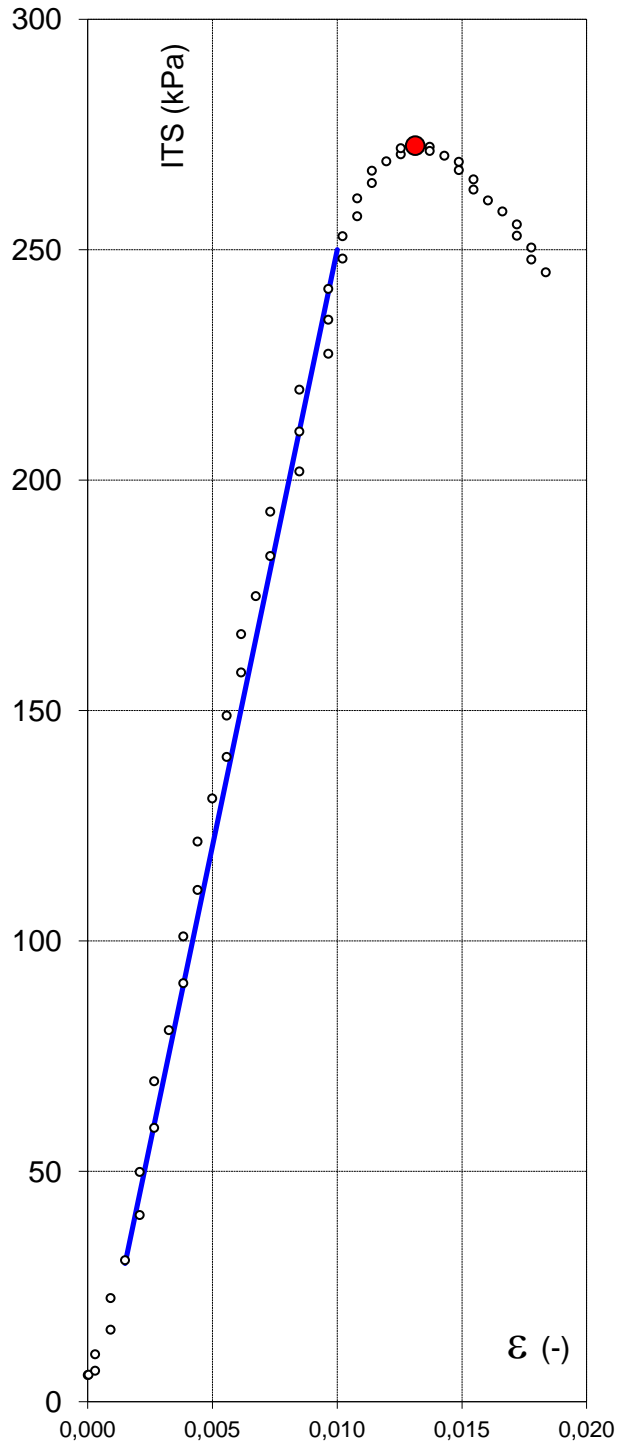
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: **МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ**

Узорак: **ПТ 34**

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **122,5** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4773,5$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,205$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **272,6** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,013$ (%)

Јунгов модул:

E = **25882,4** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

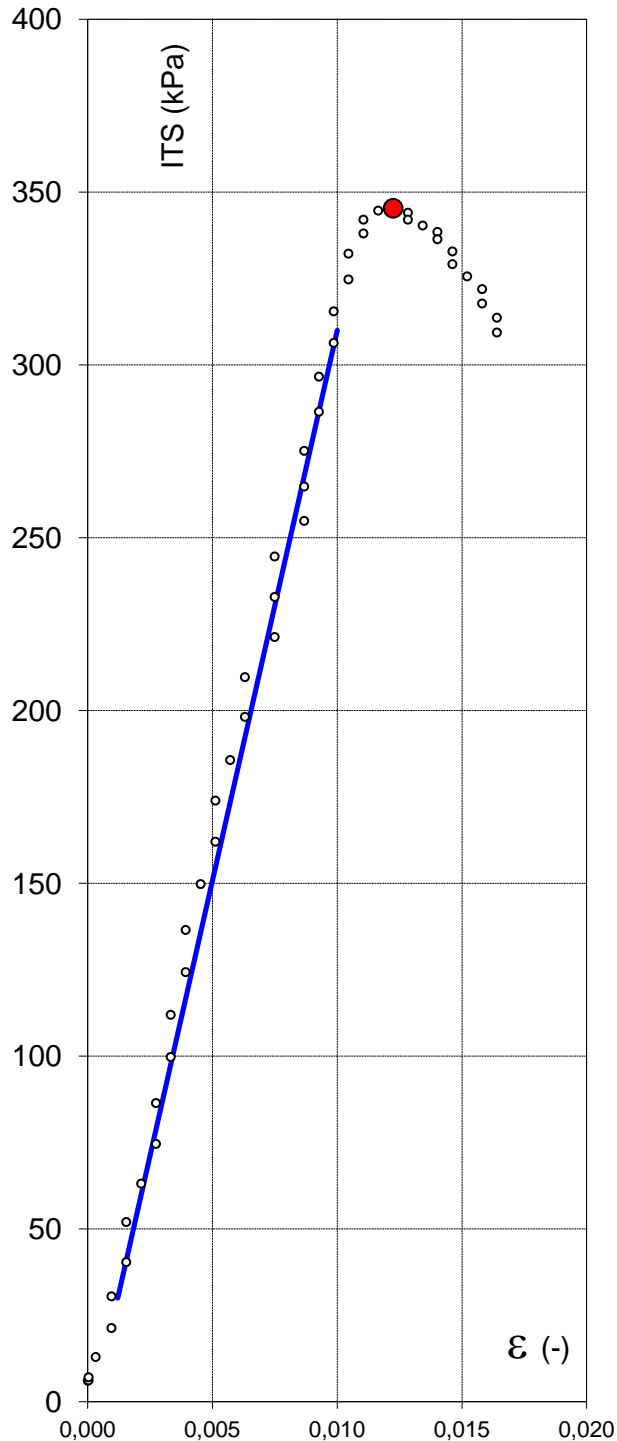
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: **МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ**

Узорак: **ПТ 35**

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4523,5$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,133$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **345,3** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,012$ (%)

Јунгов модул:

E = **31818,2** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

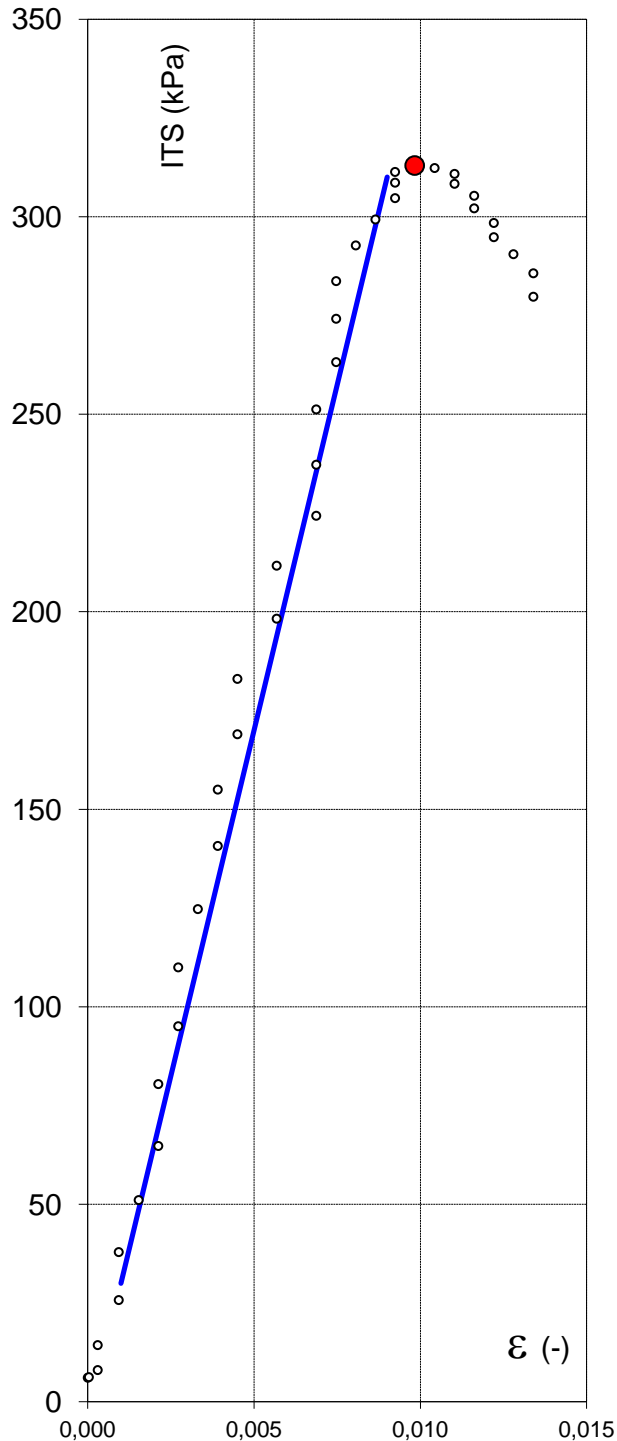
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 36

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= 150 (mm)

Висина узорка:

H= 120,25 (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4515,1$ (g)

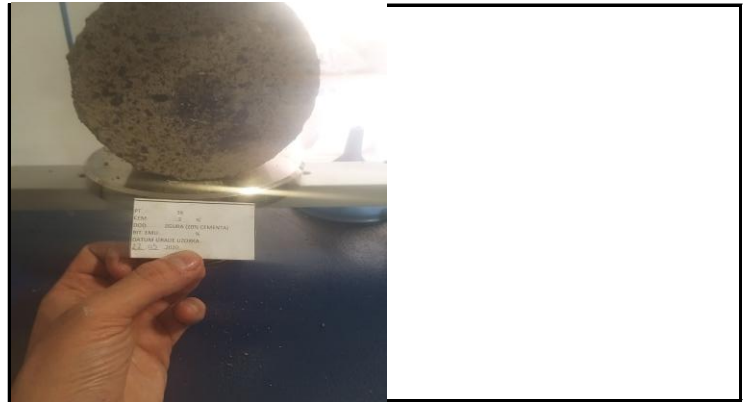
Влажност узорка:

w = 6,4 (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,125$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 313,0 kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,010$ (%)

Јунгов модул:

E = 35000,0 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

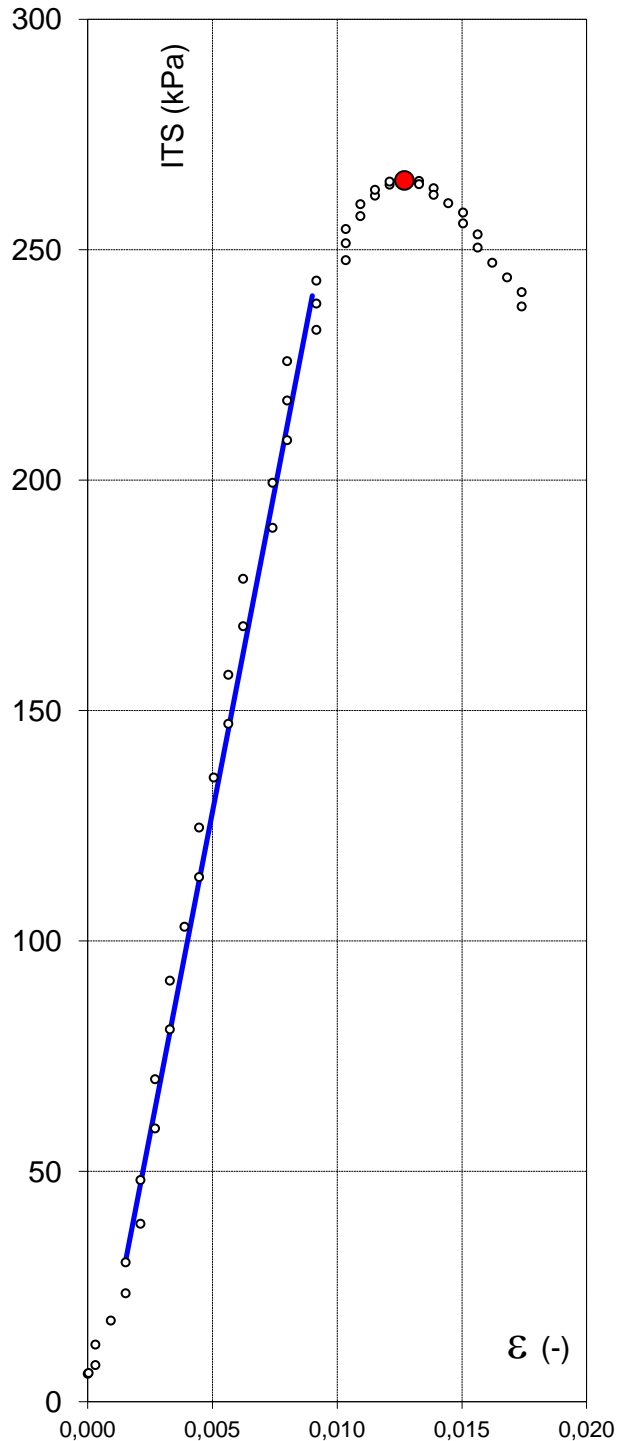
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 37

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= 150 (mm)

Висина узорка:

H= 121,25 (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4535,7$ (g)

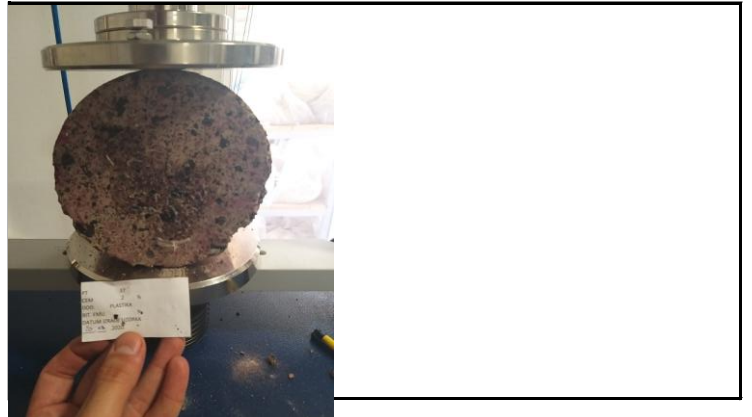
Влажност узорка:

w = 6,4 (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,117$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 265,0 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,013$ (%)

Јунгов модул:

E = 28000,0 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

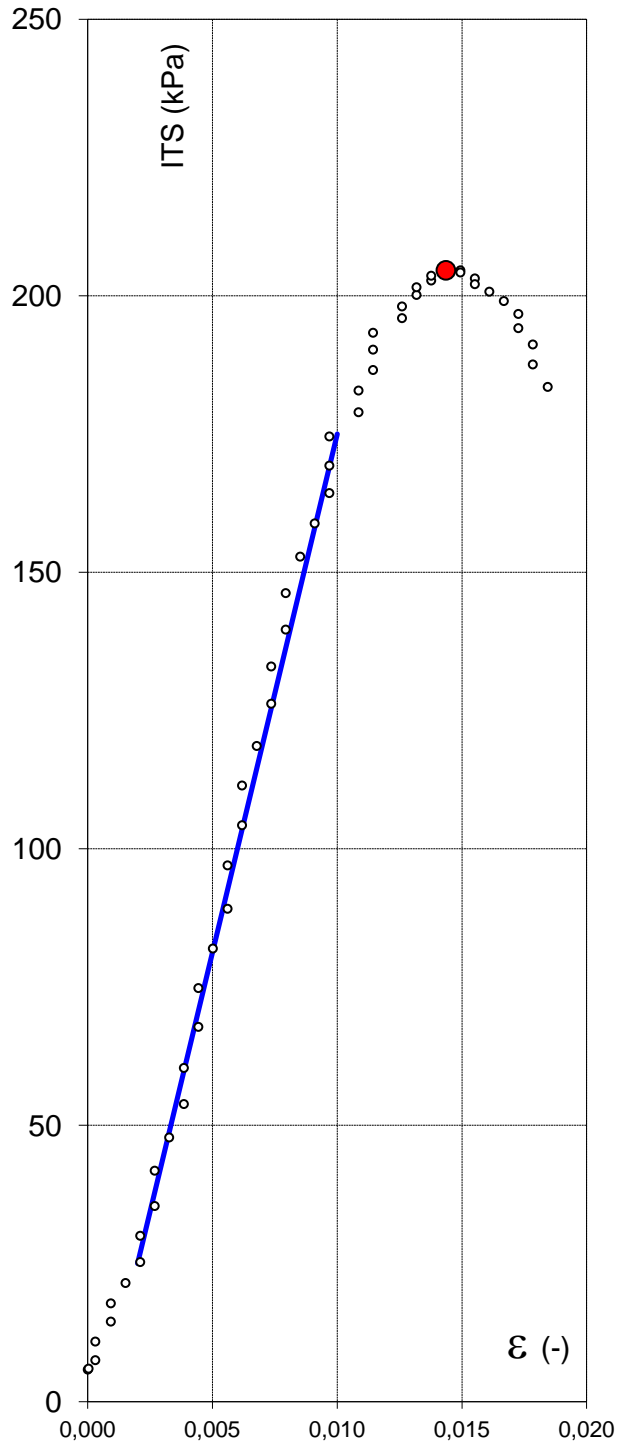
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 38

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **122,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4521,6$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,093$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **204,6** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,014$ (%)

Јунгов модул:

E = **18750,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

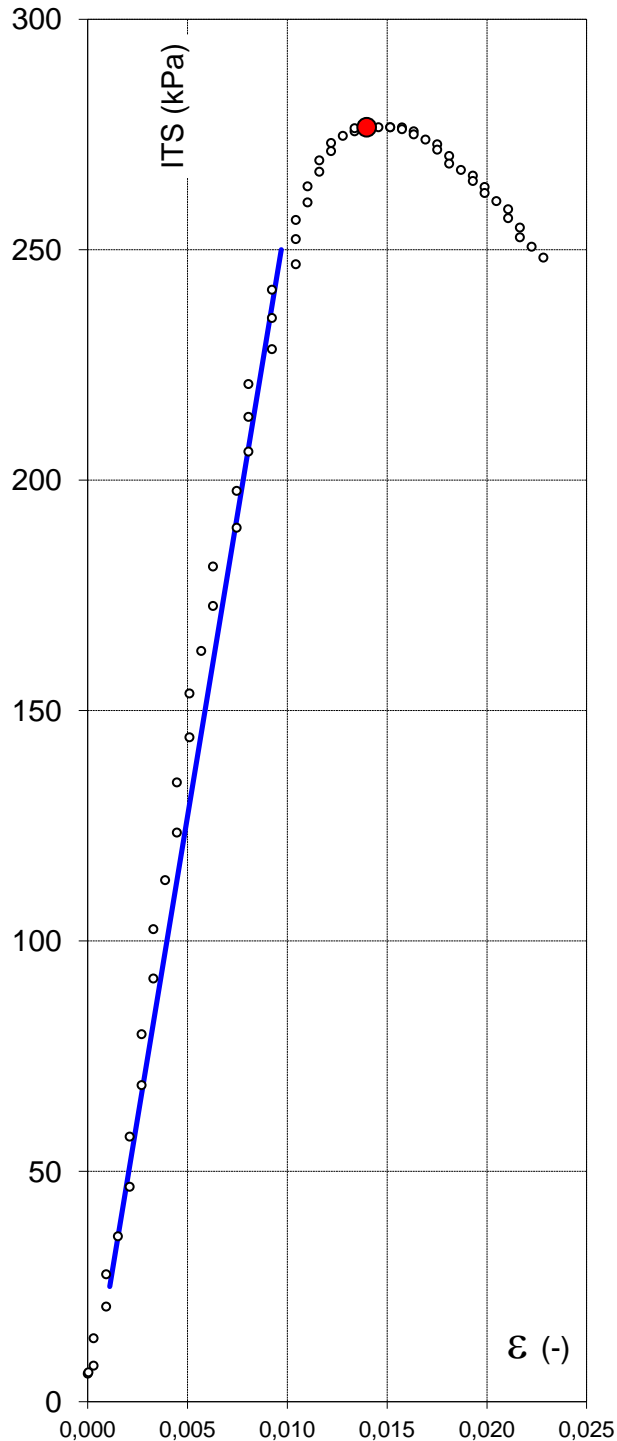
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 39

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120,5** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4697,7$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,206$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **276,6** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,014$ (%)

Јунгов модул:

E = **26162,8** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

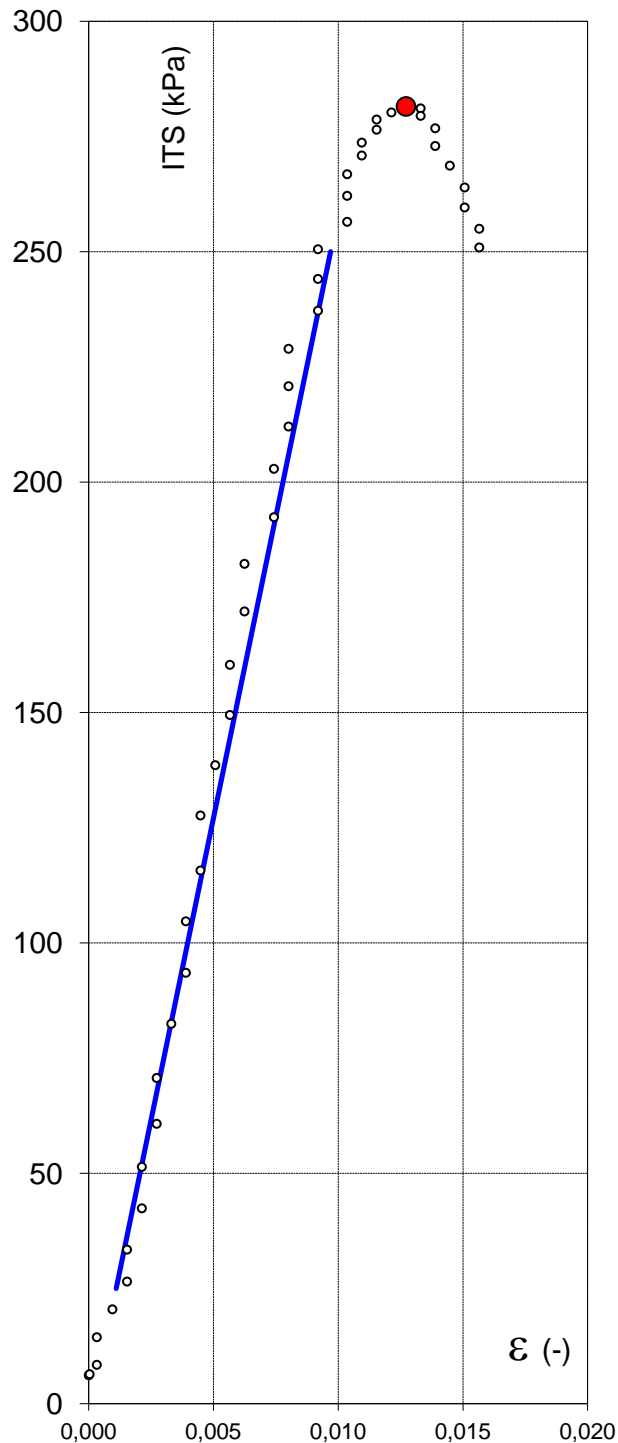
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 40

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4713,2$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,200$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **281,5** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,013$ (%)

Јунгов модул:

E = **26162,8** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

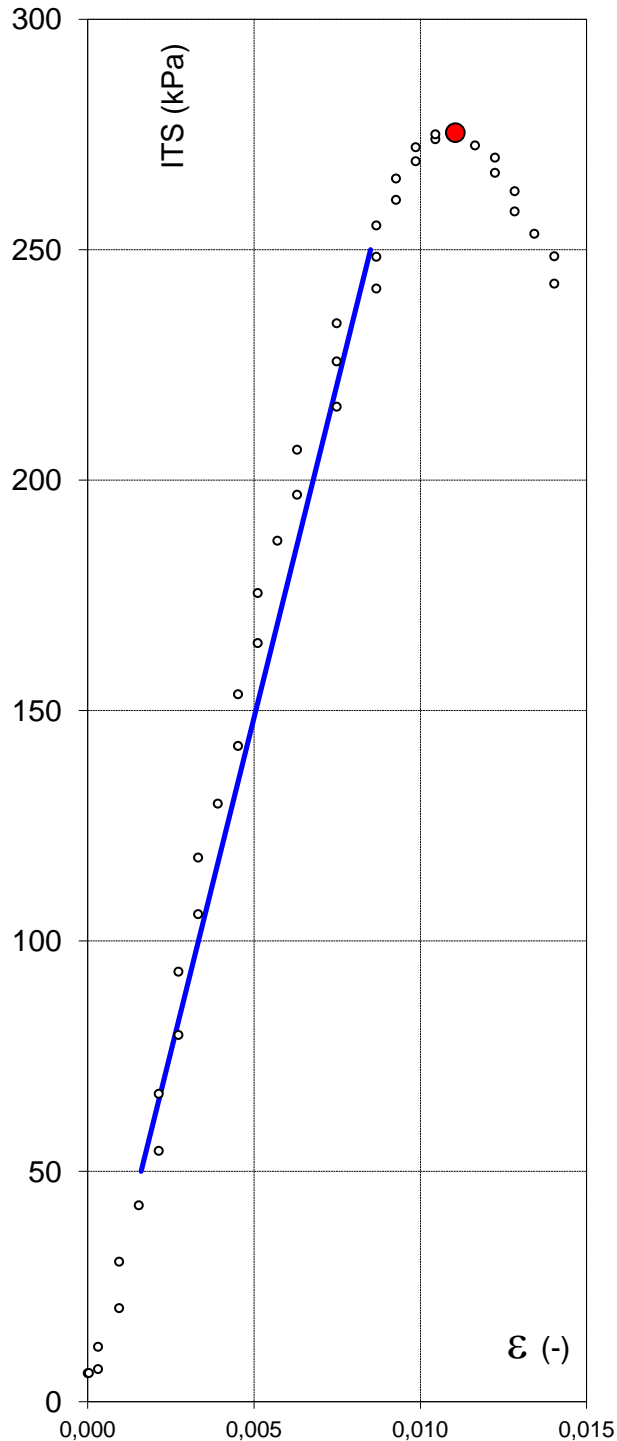
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 41

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4537,8$ (g)

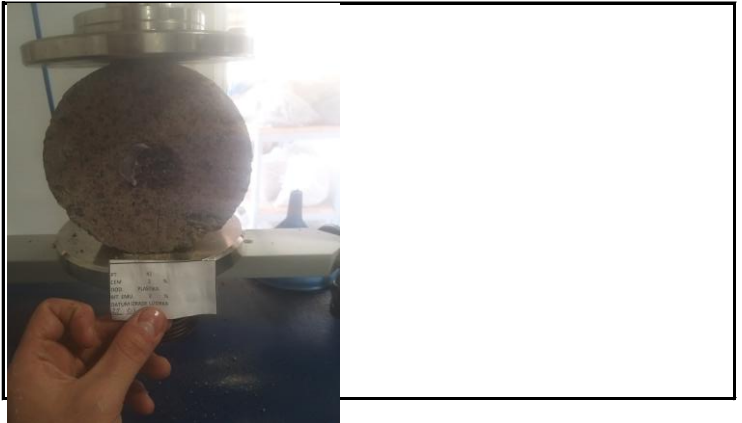
Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,140$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **275,4** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,011$ (%)

Јунгов модул:

E = **28985,5** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

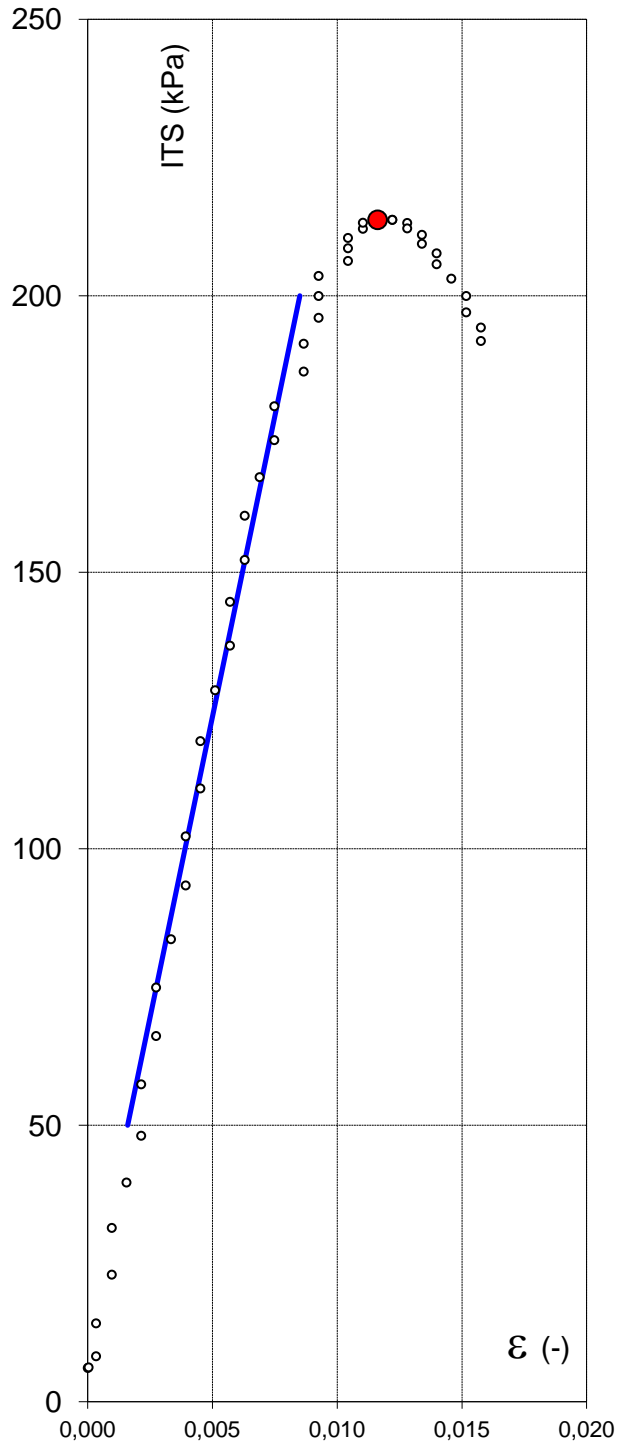
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 42

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120,5** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4475,7$ (g)

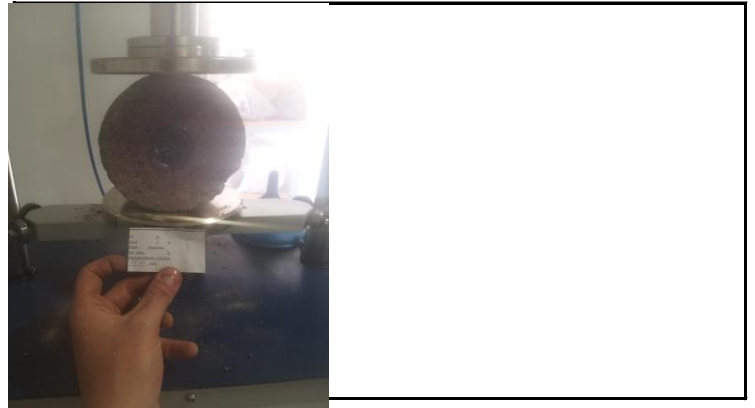
Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,102$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **213,7** kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,012$ (%)

Јунгов модул:

E = **21739,1** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

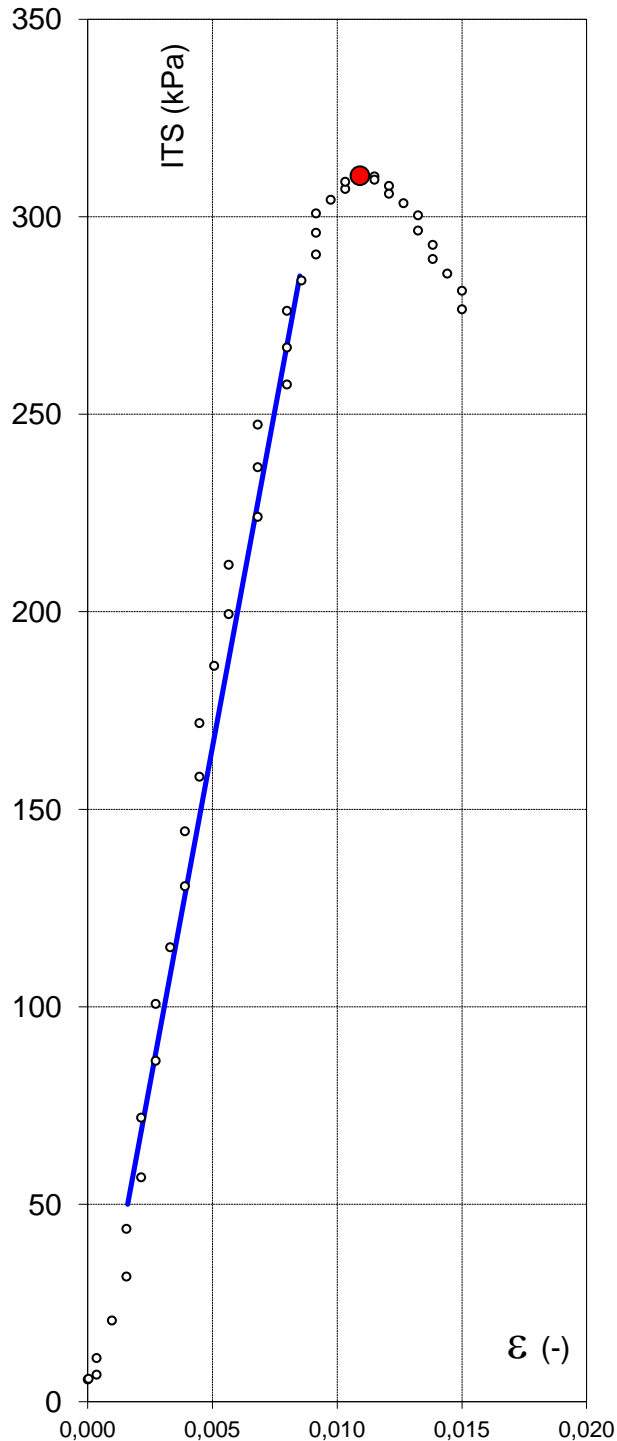
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 101

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **122** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4563$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,116$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **310,4** kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,011$ (%)

Јунгов модул:

E = **34058,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

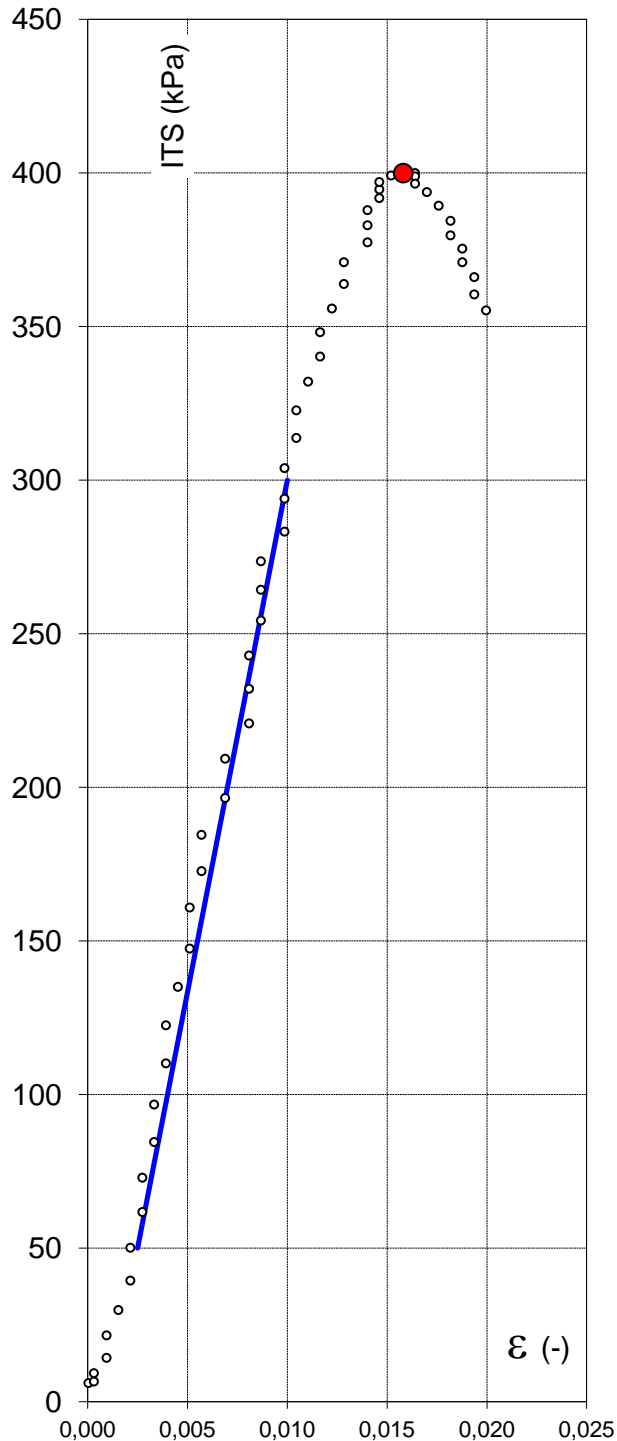
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: **МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ**

Узорак: **ПТ 112**

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4494,7$ (mm)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,120$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **399,9** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,016$ (%)

Јунгов модул:

E = **33333,3** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

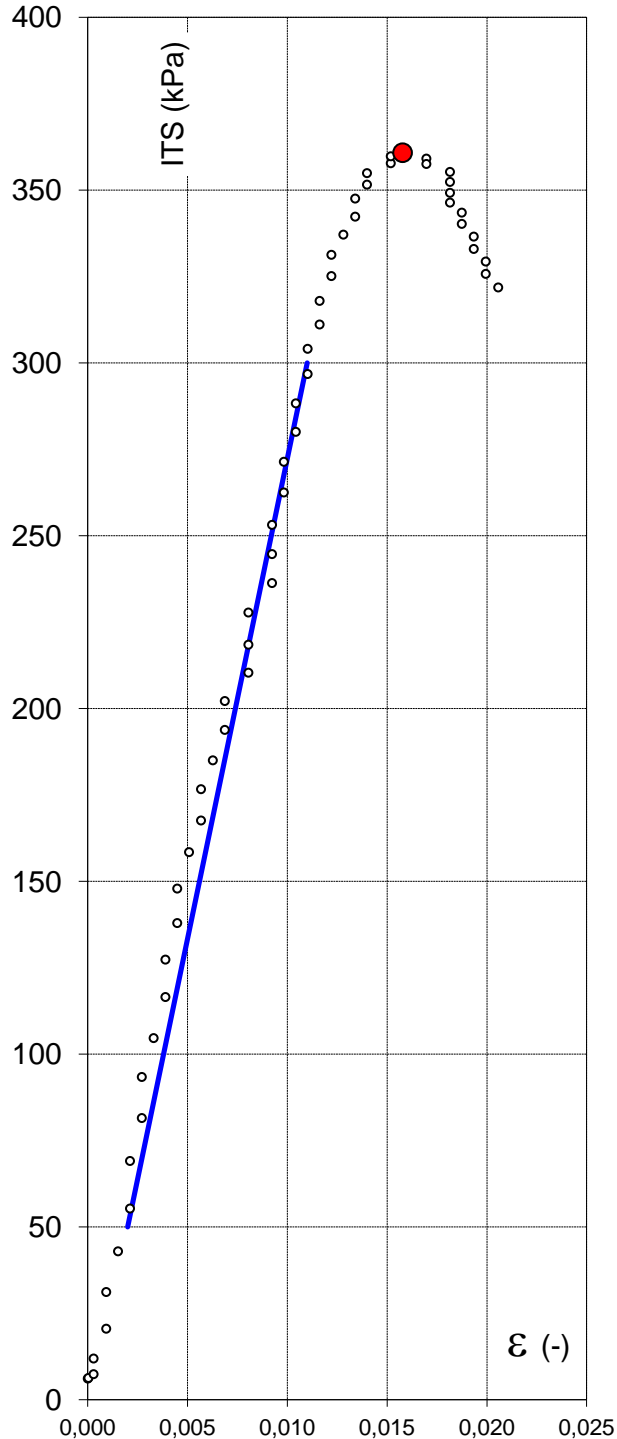
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 114

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4516$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,130$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **360,8** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,016$ (%)

Јунгов модул:

E = **27777,8** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

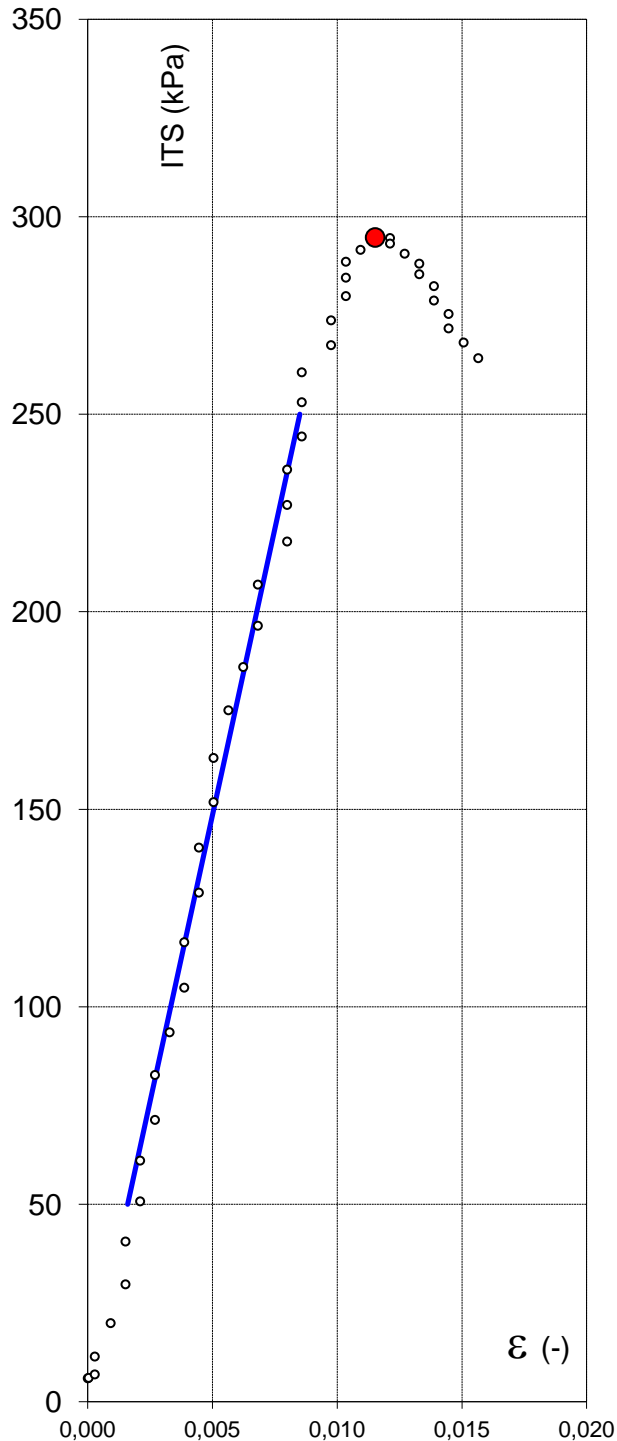
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 115

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= 150 (mm)

Висина узорка:

H= 121 (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4511$ (g)

Влажност узорка:

w = 6,5 (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,110$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 294,7 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,012$ (%)

Јунгов модул:

E = 28985,5 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

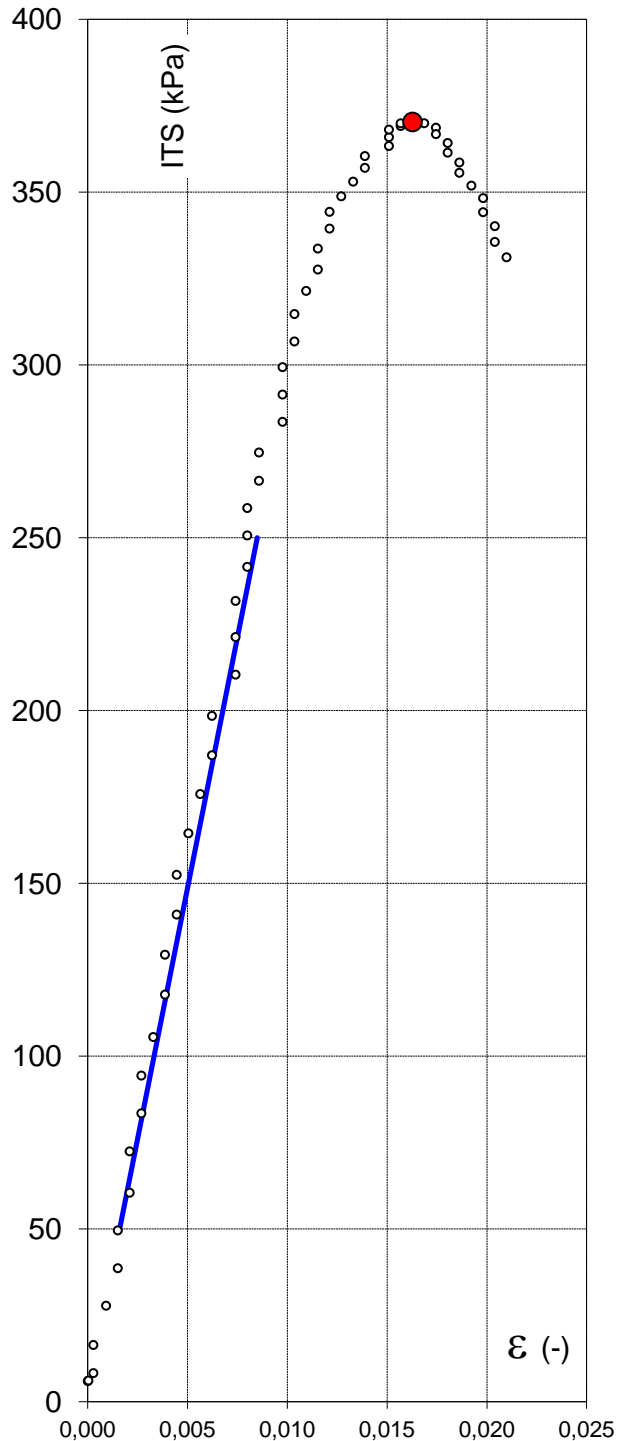
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 116

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4472,3$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,092$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **370,3** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,016$ (%)

Јунгов модул:

E = **28985,5** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

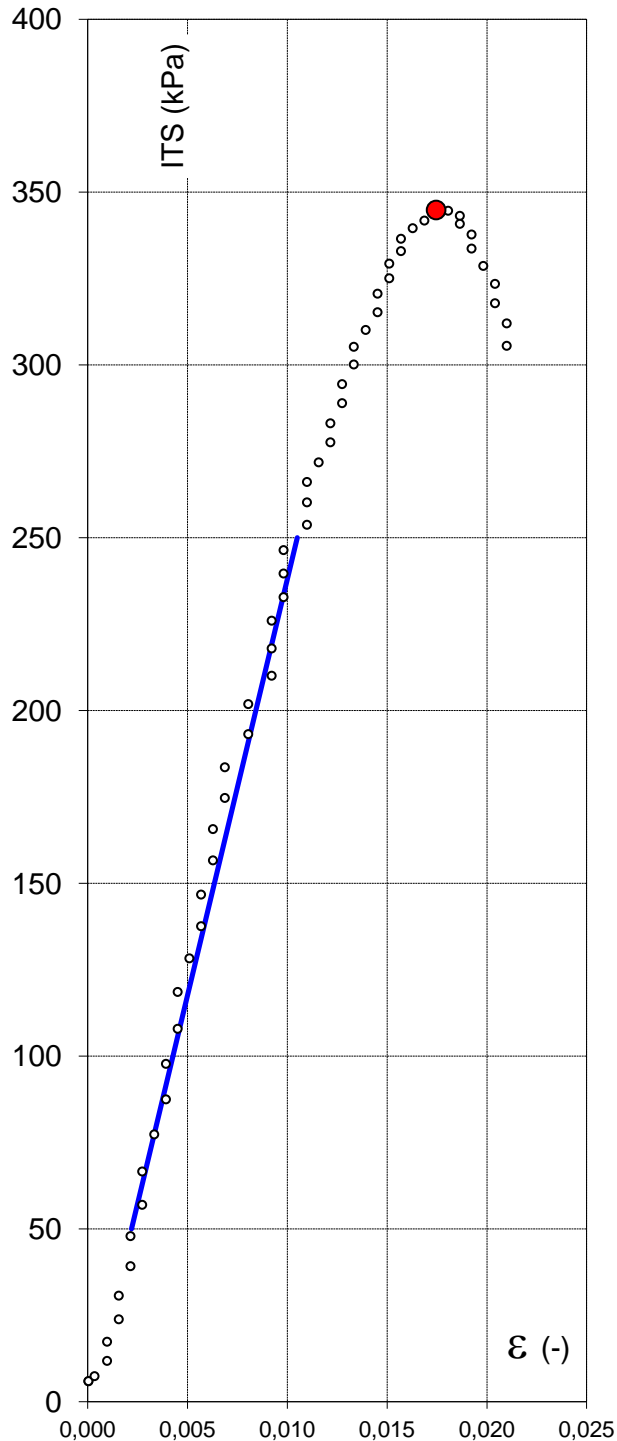
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 117

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4729,7$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,212$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **344,8** kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,017$ (%)

Јунгов модул:

E = **24096,4** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

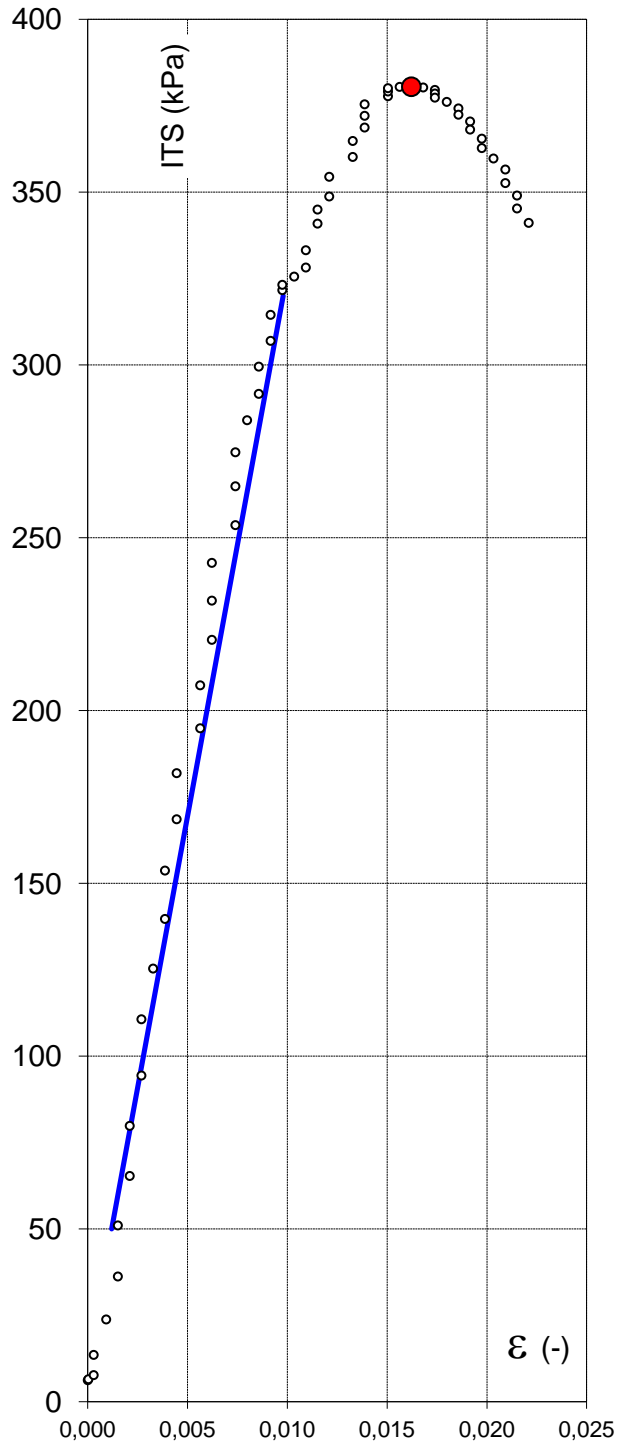
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ 118

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4725,7$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,206$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **380,4** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,016$ (%)

Јунгов модул:

E = **31395,3** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

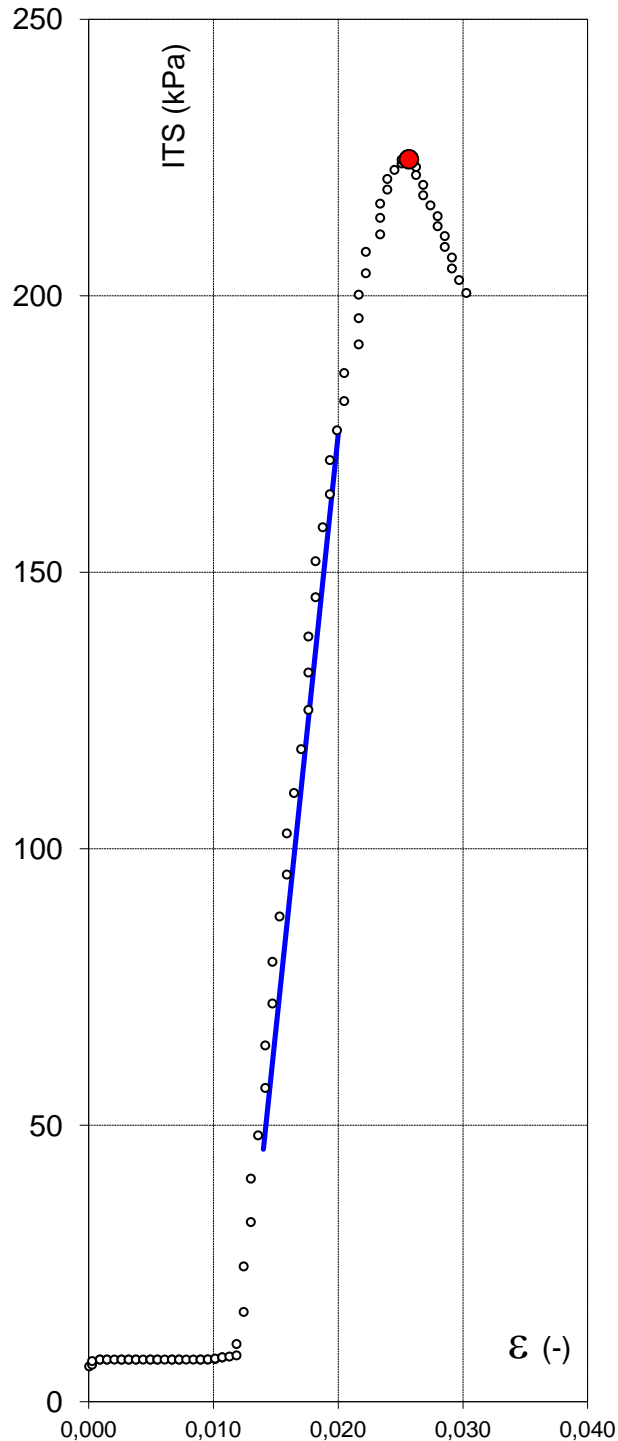
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М1

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **123,75** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4493,6$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,055$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **224,7** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,026$ (%)

Јунгов модул:

E = **21550,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

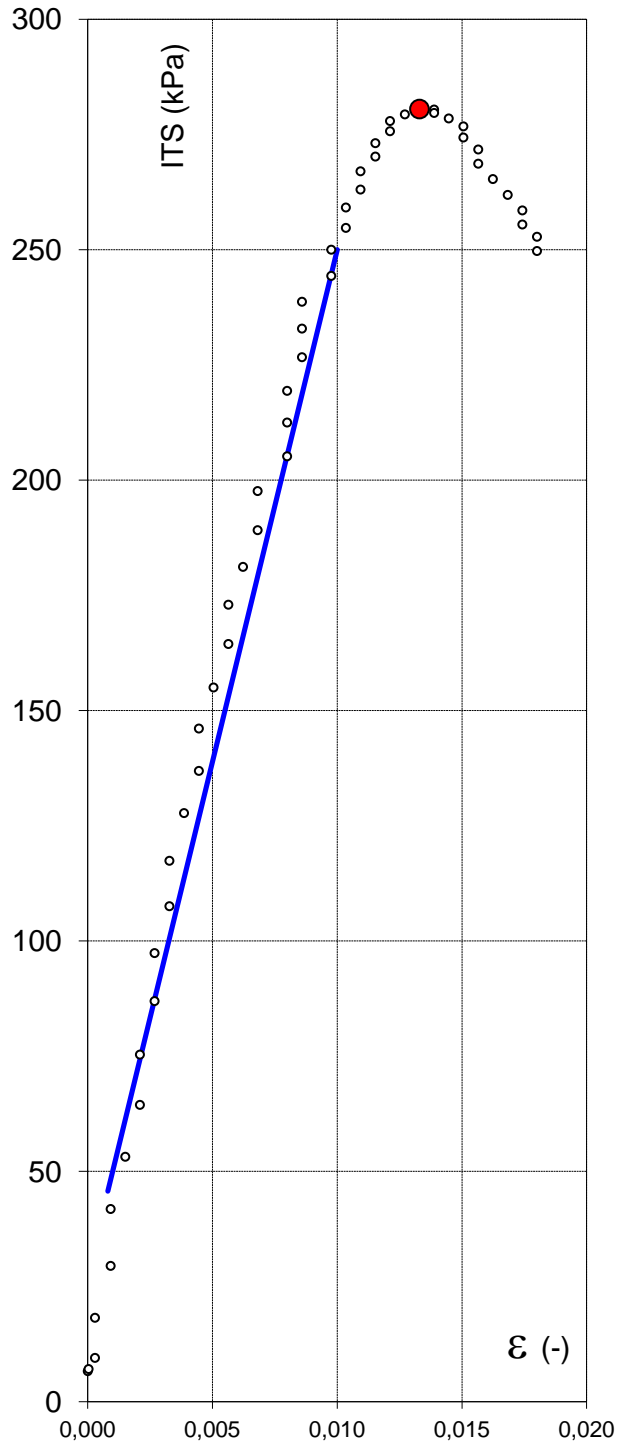
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М2

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4517,6$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,113$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **280,5** kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,013$ (%)

Јунгов модул:

E = **22206,5** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

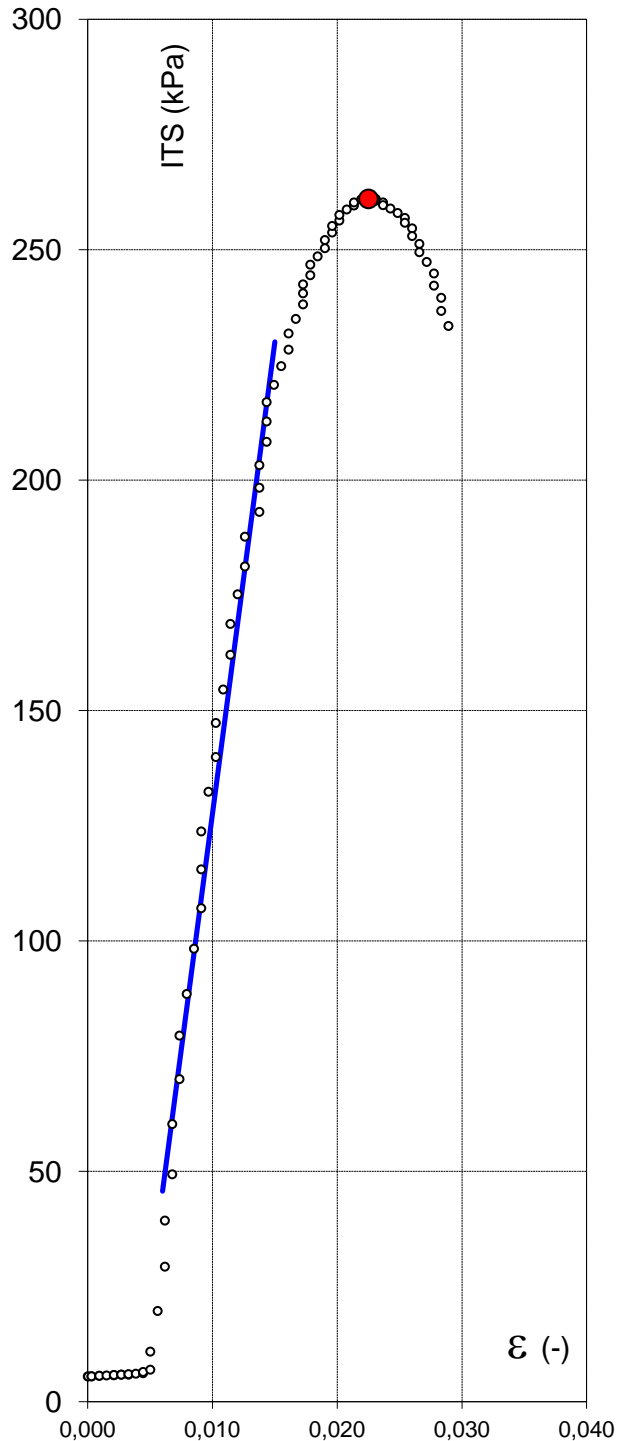
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ МЗ

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= 150 (mm)

Висина узорка:

H= 122,25 (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4474,8$ (g)

Влажност узорка:

w = 6,5 (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,071$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 261,0 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,023$ (%)

Јунгов модул:

E = 20477,8 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

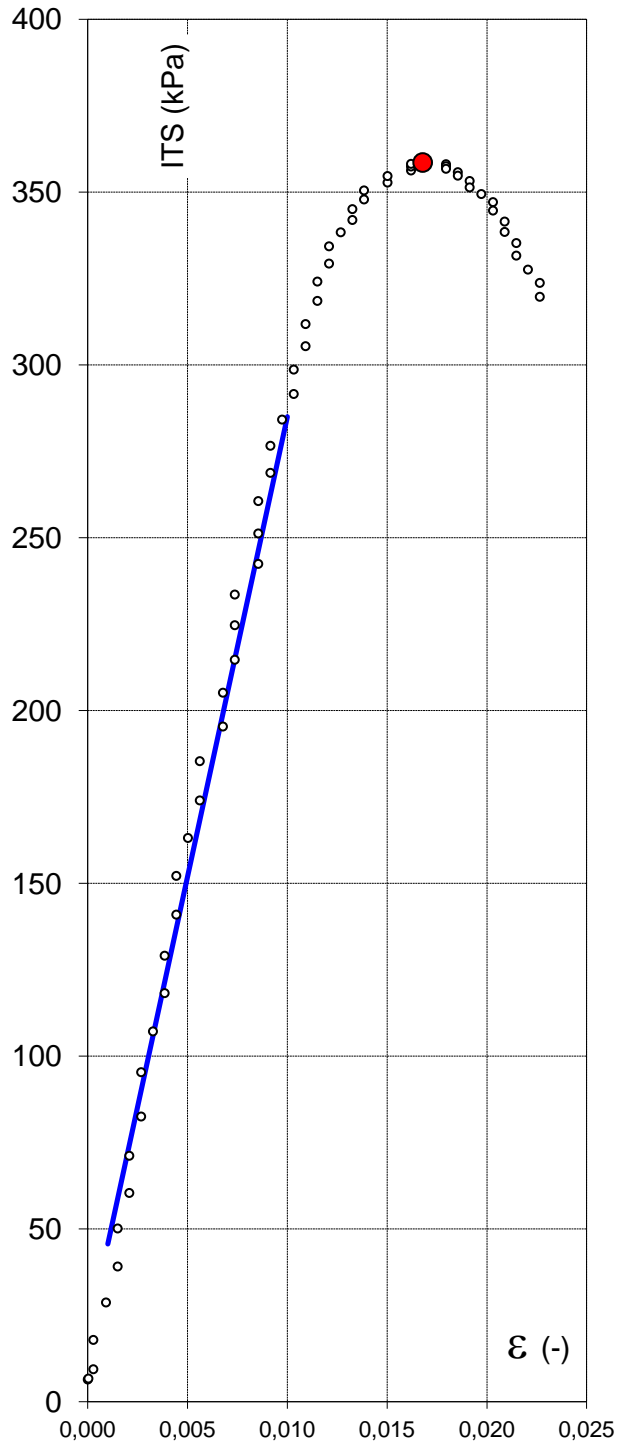
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М4

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,5** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4496,6$ (g)

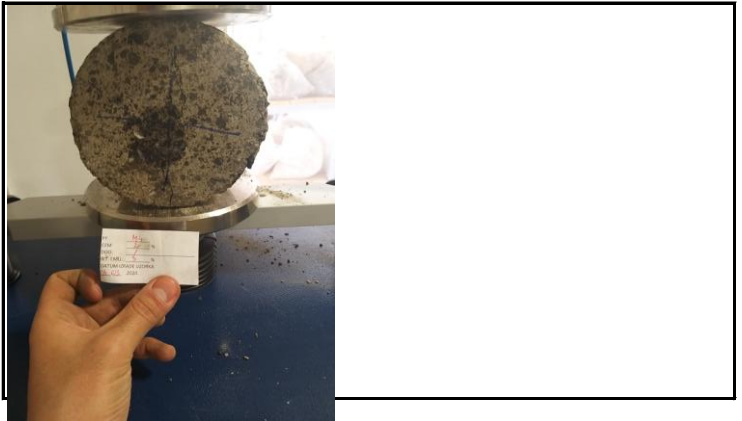
Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,094$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **358,5** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,017$ (%)

Јунгов модул:

E = **26588,9** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

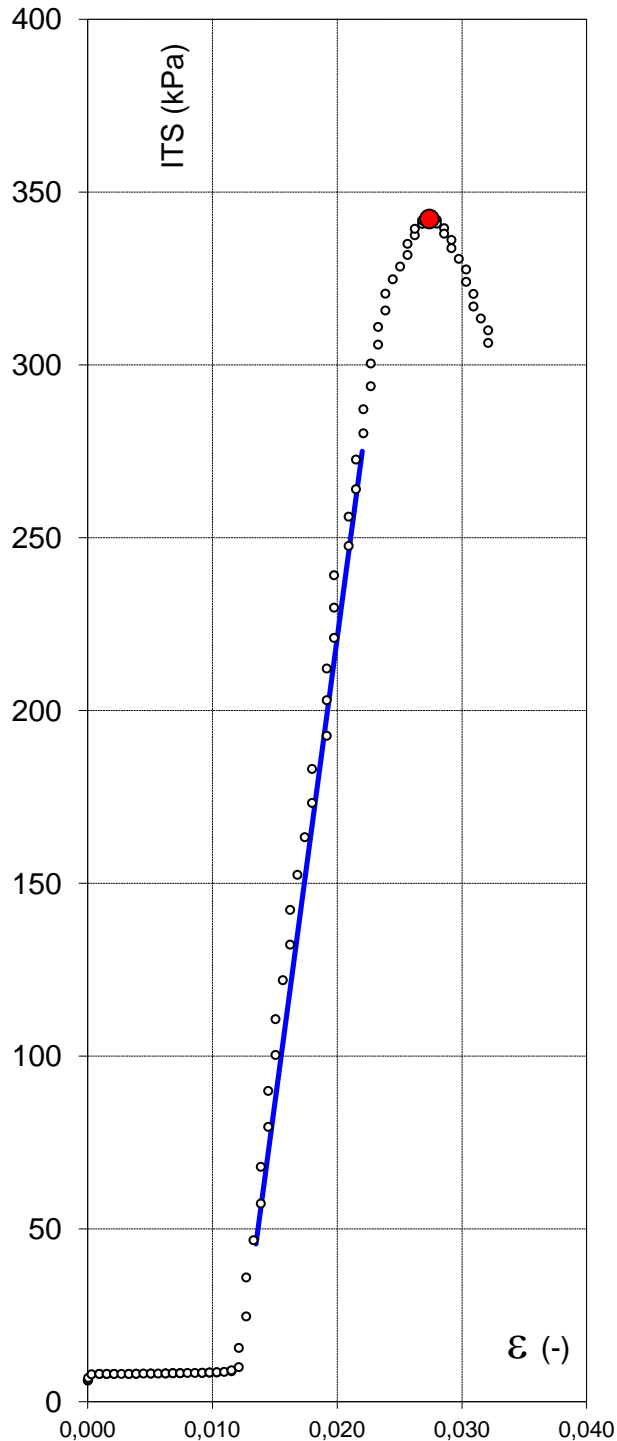
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М5

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4434,1$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,069$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **342,2** kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,027$ (%)

Јунгов модул:

E = **26976,5** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

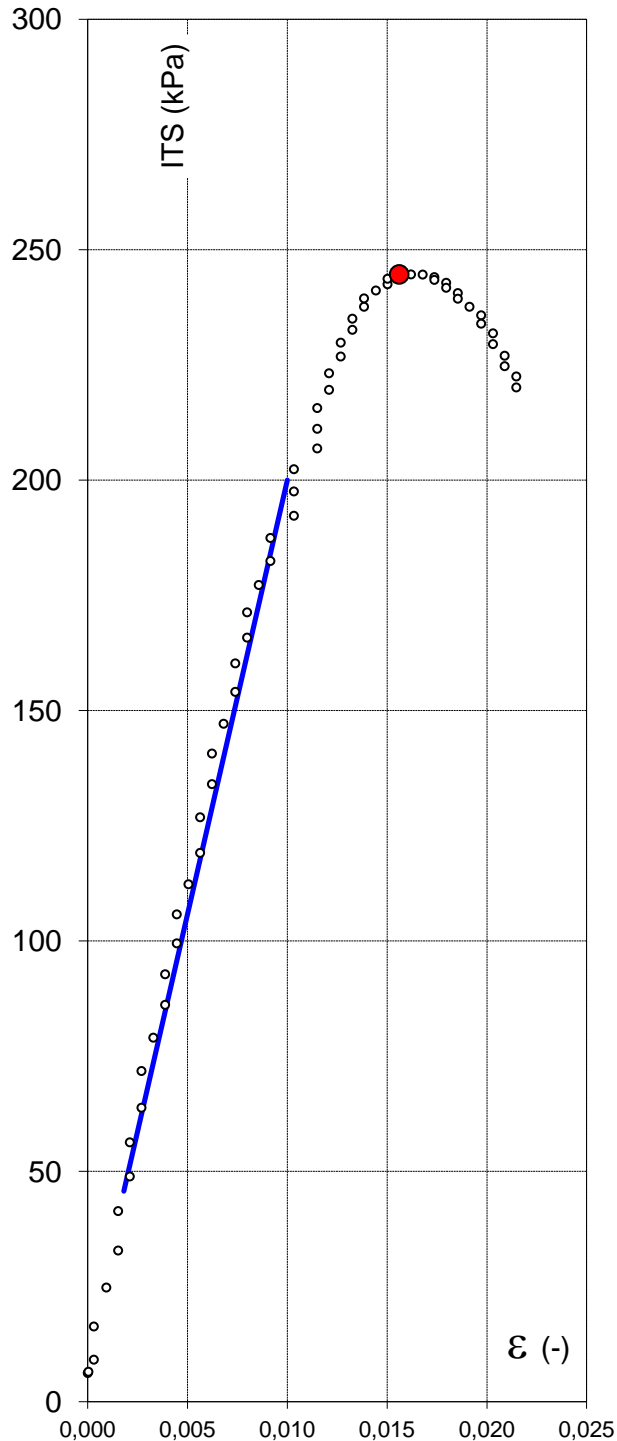
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М6

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,5** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4426,9$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,5** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,062$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **244,6** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,016$ (%)

Јунгов модул:

E = **18817,1** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

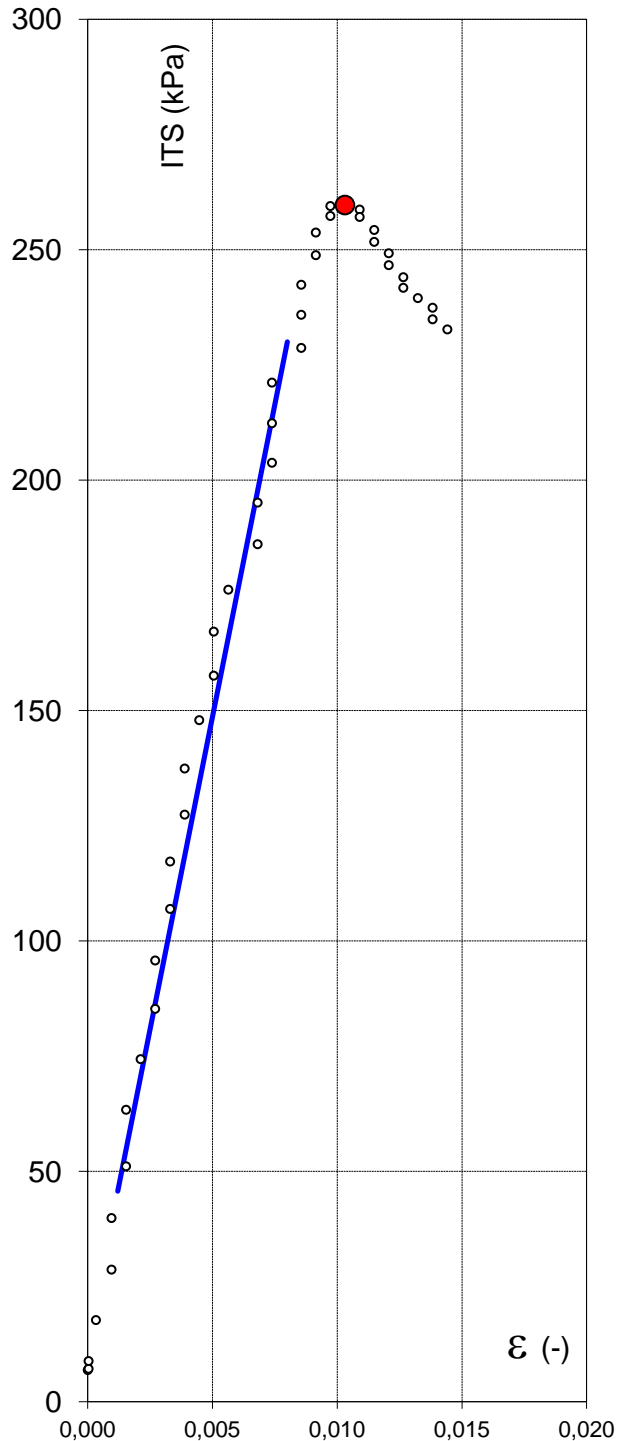
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М7

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= 150 (mm)

Висина узорка:

H= 121,75 (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4738,3$ (g)

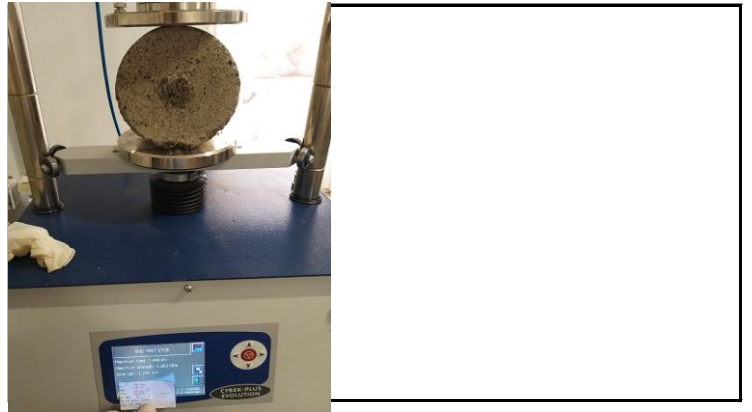
Влажност узорка:

w = 6,5 (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,202$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 259,7 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,010$ (%)

Јунгов модул:

E = 27102,9 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

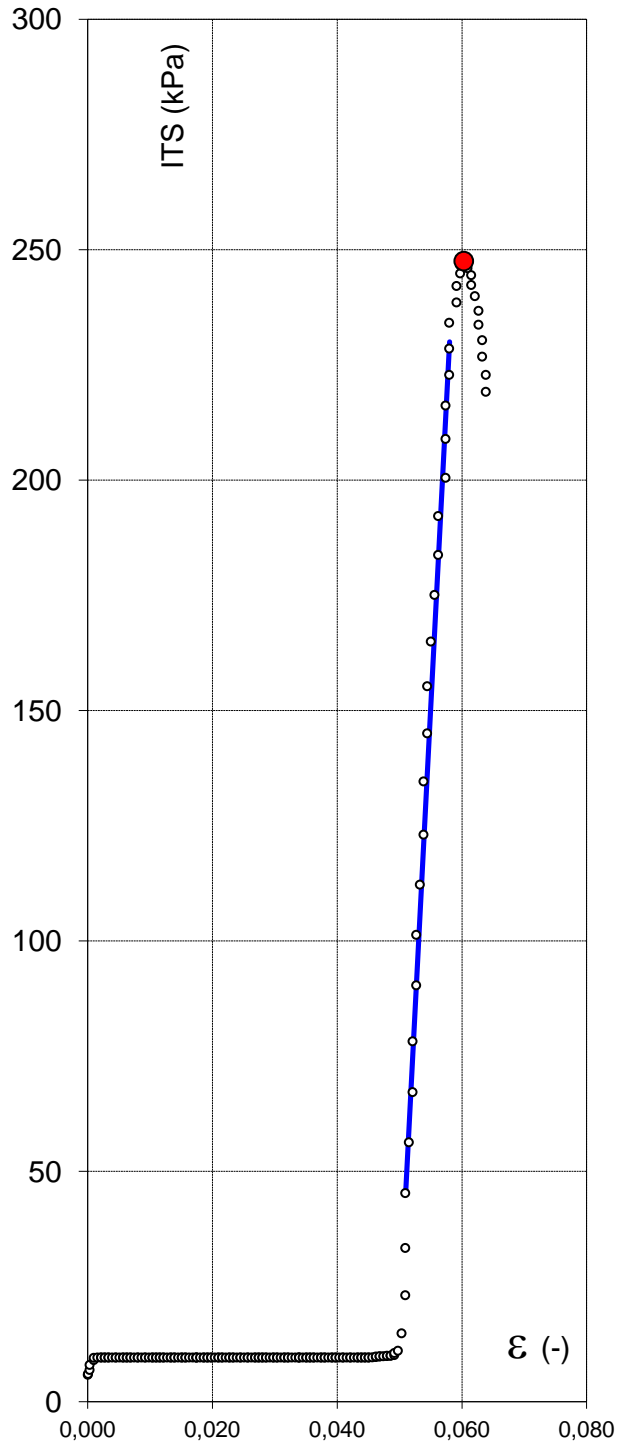
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М8

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= 150 (mm)

Висина узорка:

H= 121,25 (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4567,6$ (g)

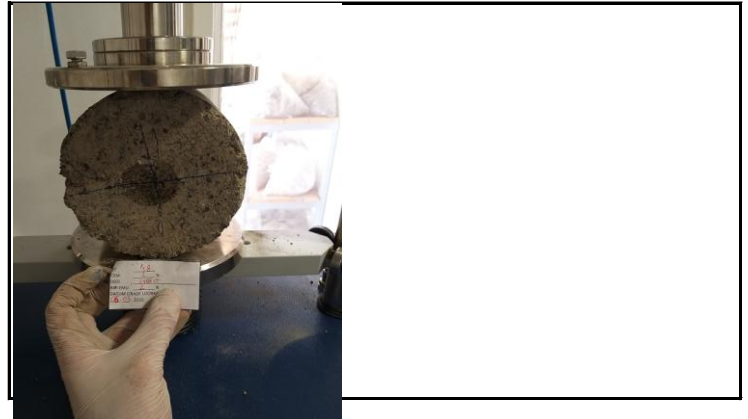
Влажност узорка:

w = 6,5 (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,132$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 247,5 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,060$ (%)

Јунгов модул:

E = 26328,6 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

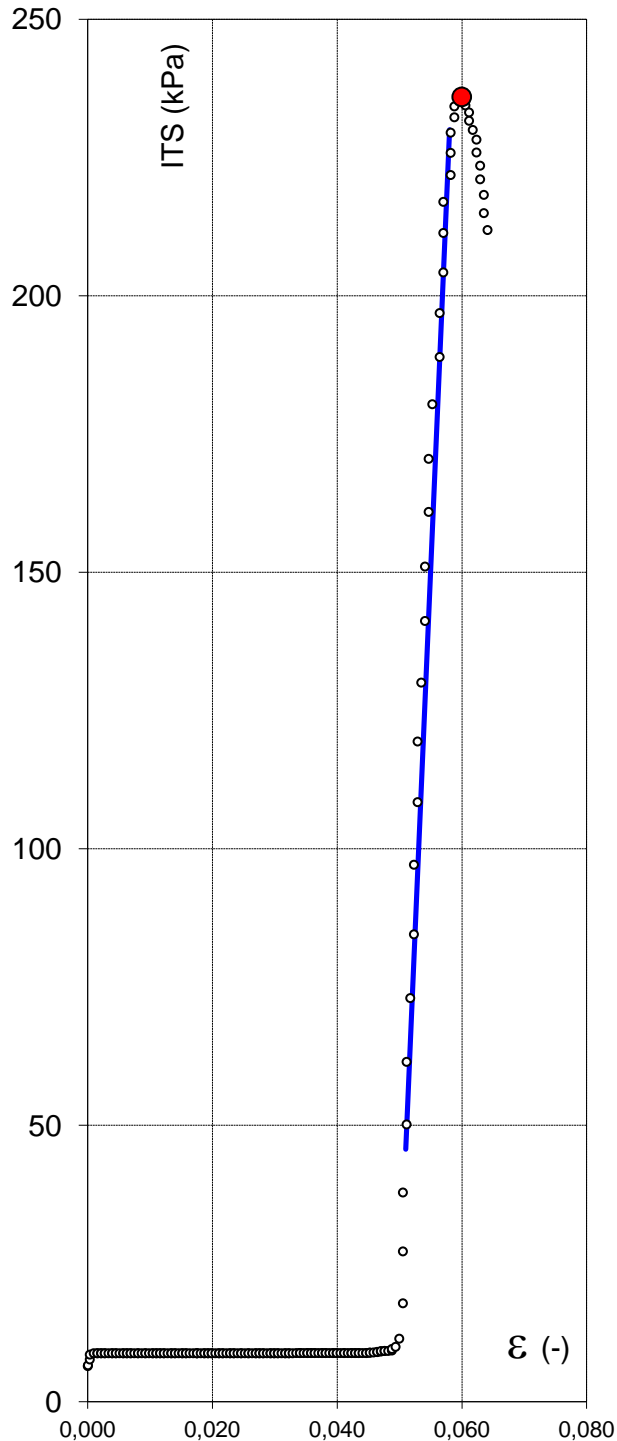
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М9

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **120,75** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4609,4$ (g)

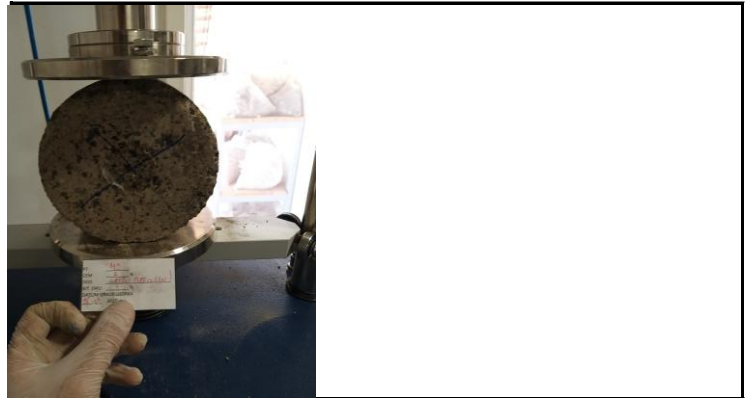
Влажност узорка:

w = **7,6** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,160$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **235,9** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,060$ (%)

Јунгов модул:

E = **26328,6** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

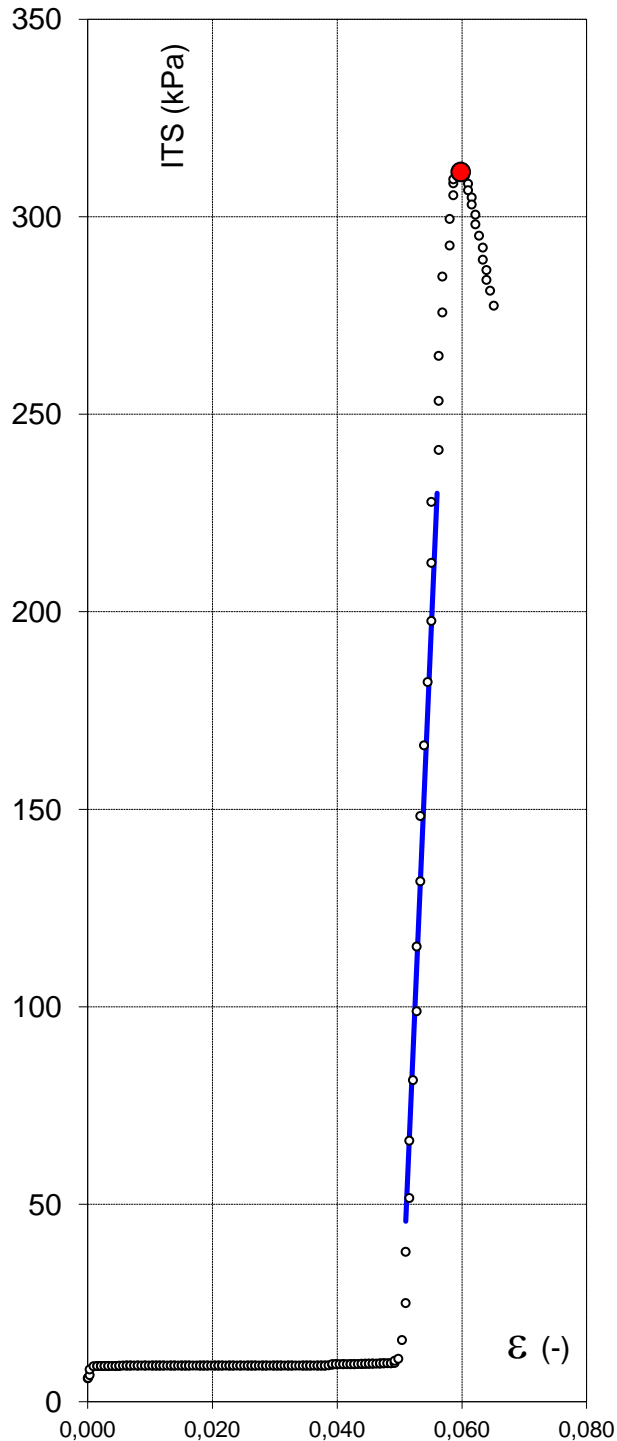
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М10

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

$R = 150$ (mm)

Висина узорка:

$H = 121$ (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4619,8$ (g)

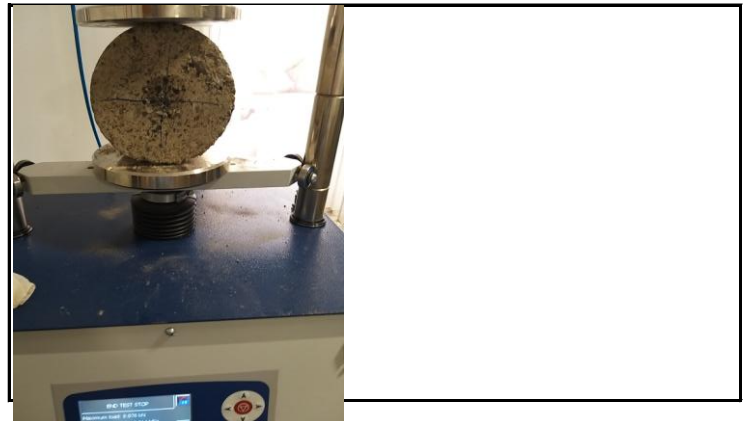
Влажност узорка:

$w = 7,6$ (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,161$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индиректна затезна чврстоћа :

ITS = 311,3 kPa

деформација:

$\epsilon = 0,060$ (%)

Јунгов модул:

$E = 36860,0$ kPa

Брзина деформације:

$v = 50,8$ mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

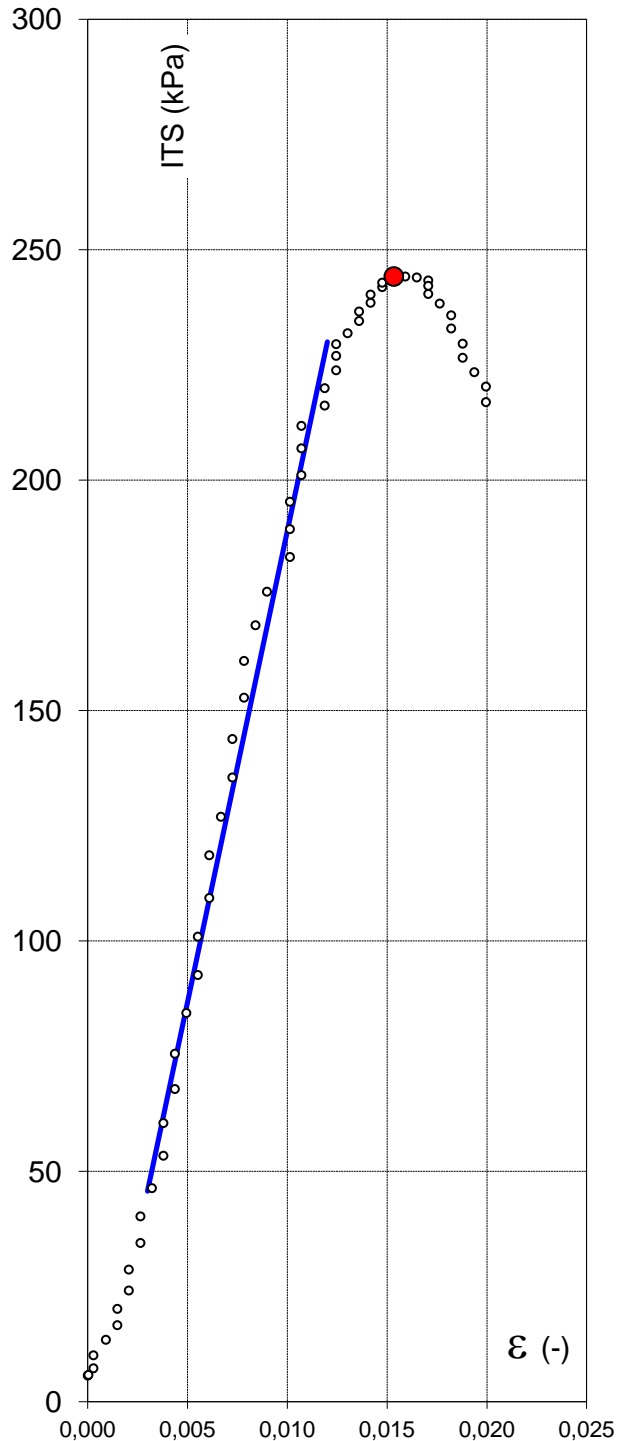
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М11

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **123,5** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4587,8$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,102$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **244,2** kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,015$ (%)

Јунгов модул:

E = **20477,8** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

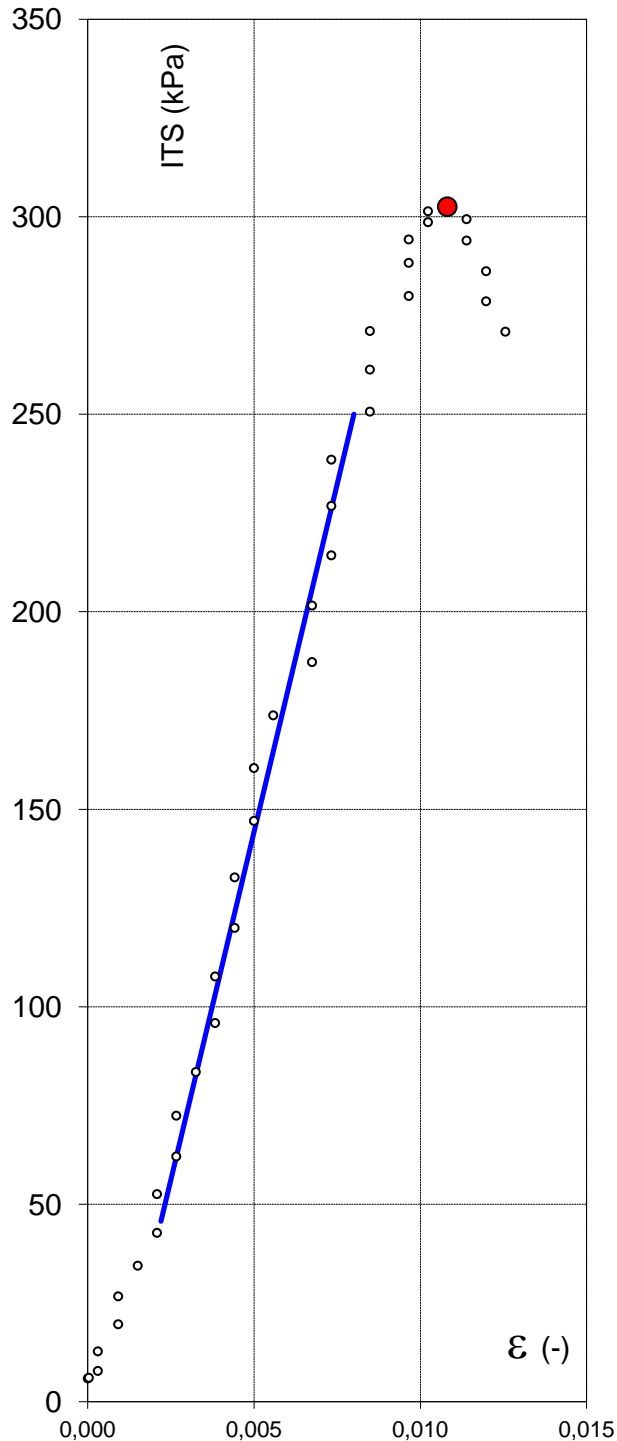
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М12

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **122,5** (mm)

Маса узорка:

m_0 = 4568,1 (g)

Влажност узорка:

w = 6,4 (%)

Запреминска маса:

ρ = 2,110 (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= 302,5 kPa

деформација:

ϵ = 0,011 (%)

Јунгов модул:

E = 35224,1 kPa

Брзина деформације:

v = 50,8 mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

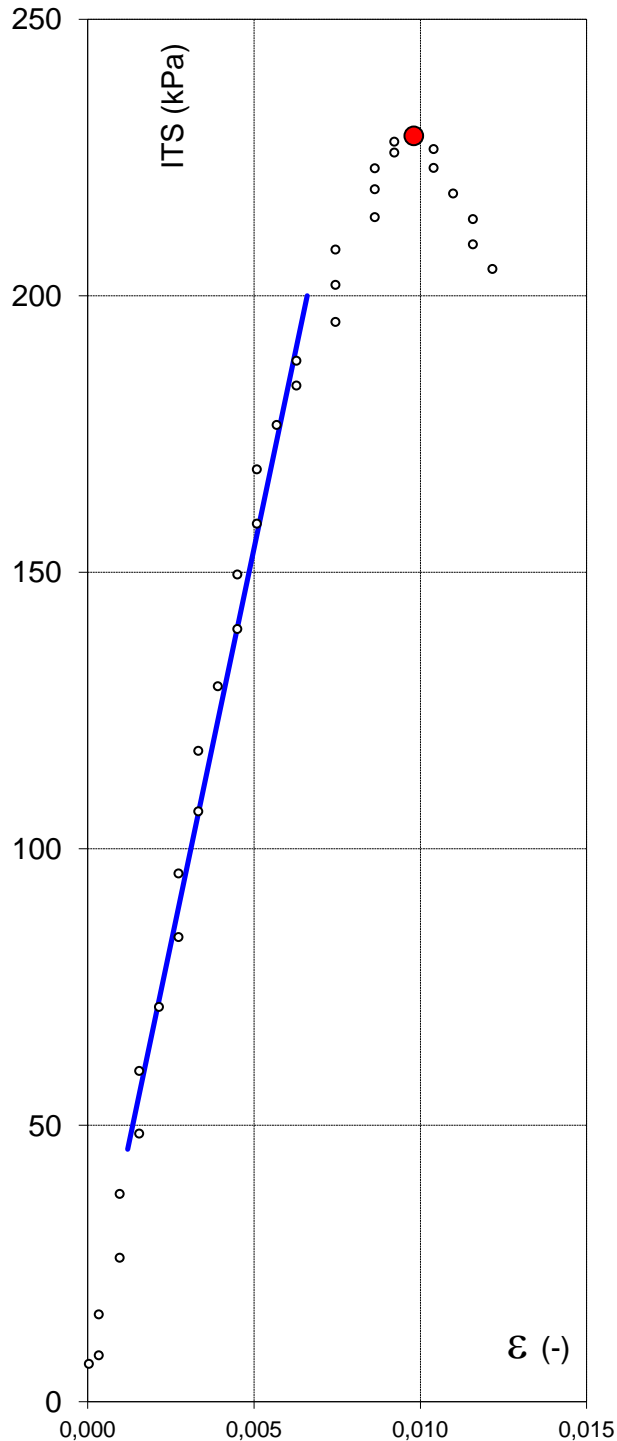
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М13

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4541,7$ (g)

Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,124$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **228,9** kPa

деформација:

$\varepsilon = 0,010$ (%)

Јунгов модул:

E = **28574,1** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

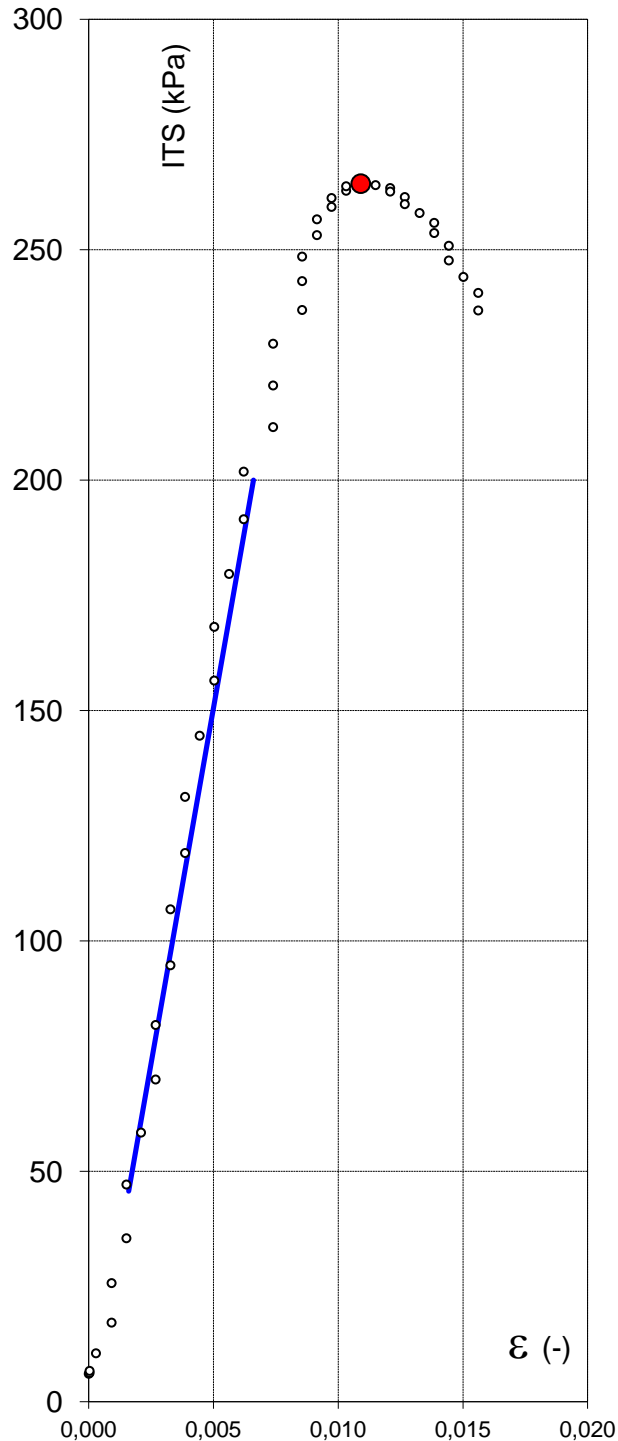
Милан Маринковић

ИНДИРЕКТНА ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА

Назив пројекта: МИЛАН МАРИНКОВИЋ ДОКТОРАТ

Узорак: ПТ М14

СТАБИЛИЗАЦИЈА СА БИТУМЕНСКОМ ЕМУЛЗИЈОМ



Вриједности параметара прије опита:

Пречник узорка:

R= **150** (mm)

Висина узорка:

H= **121,25** (mm)

Маса узорка:

$m_0 = 4509,2$ (g)

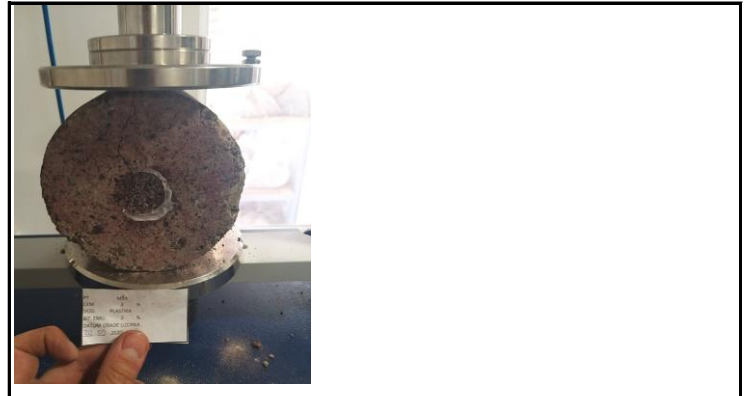
Влажност узорка:

w = **6,4** (%)

Запреминска маса:

$\rho = 2,104$ (Mg/cm³)

Фотографија:



Резултати испитивања:

Индијектна затезна чврстоћа :

ITS= **264,3** kPa

деформација:

$\epsilon = 0,011$ (%)

Јунгов модул:

E = **30860,0** kPa

Брзина деформације:

v = **50,8** mm/min

Израдио:

МИЛАН МАРИНКОВИЋ

Милан Маринковић

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Примена отпадних и рециклираних материјала за израду стабилованих слојева коловозних конструкција
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду б) в)
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Истраживање је реализовано у оквиру израде докторске дисертације под називом „Примена отпадних и рециклираних материјала за израду стабилованих слојева коловозних конструкција“.
1. Опис података
<i>1.1 Врста студије</i> <i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i> <u>Докторска дисертација</u> <hr/> <hr/> <hr/>
<i>1.2 Врсте података</i> а) квантитативни б) квалитативни

1.3. Начин прикупљања података

- a) анкете, упитници, тестови
- б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи
- в) генотипови: навести врсту _____
- г) административни подаци: навести врсту _____
- д) узорци ткива: навести врсту _____
- ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____
- е) текст, навести врсту _____
- ж) мапа, навести врсту _____
- з) остало: описати сопствено експериментално истраживање _____

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- a) Excel фајл, датотека .xls _____
- б) SPSS фајл, датотека _____
- в) PDF фајл, датотека _____
- г) Текст фајл, датотека _____
- д) JPG фајл, датотека _____
- е) Остало, датотека _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- a) број варијабли 2 _____
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) Велика количина _____

1.3.3. Поновљена мерења

- a) да
- б) не**

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- a) временски размак између поновљених мера је _____
- б) варијабле које се више пута мере односе се на _____

в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

а) Да

б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент, навести тип _____ механичко испитивање узорака

б) корелационо истраживање, навести тип _____

ц) анализа текста, навести тип _____

д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

_____ Набијач за припрему узорака, преса за лом узорака

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? _____

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Квалитет података је контролисан на основу техничке регулативе из области докторске дисертације

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Контрола уноса података у матрицу је извршена поређењем података са литературним подацима

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у Репозиторијуму докторских дисертација на Универзитету у Новом Саду репозиторијум.

3.1.2. URL адреса _____ <https://cris.uns.ac.rs/searchDissertations.jsf> _____

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) **Да**

б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____

в) **Не**

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? _____

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? _____

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? **Да** **Не**

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? **Да** **Не**

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да **Не**

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да **Не**

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- a) Подаци нису у отвореном приступу
 - b) Подаци су анонимизирани
 - ц) Остало, навести шта
-
-

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

a) јавно доступни

b) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Милан Маринковић, milan.marinkovic@uns.ac.rs

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Милан Маринковић, milan.marinkovic@uns.ac.rs

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Милан Маринковић, milan.marinkovic@uns.ac.rs
