

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Benčina, A., 2013. Uporaba ruševin s področja stare cinkarne v betonskih kompozitih. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Bokan-Bosiljkov, V., somentorica Mauko, A.): 79 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Benčina, A., 2013. Uporaba ruševin s področja stare cinkarne v betonskih kompozitih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bokan-Bosiljkov, V., co-supervisor Mauko, A.): 79 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
PRVE STOPNJE VODARSTVA  
IN OKOLJSKEGA  
INŽENIRSTVA

Kandidatka:

**ANA BENČINA**

**UPORABA RUŠEVIN S PODROČJA STARE CINKARNE  
V BETONSKIH KOMPOZITIH**

Diplomska naloga št.: 7/B-VOI

**USE OF RUINS FROM THE AREA OF OLD CINKARNA  
ZINC WORKS IN CONCRETE COMPOSITES**

Graduation thesis No.: 7/B-VOI

**Mentorica:**

izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

**Somentorica:**

dr. Alenka Mauko

**Predsednica komisije:**

izr. prof. dr. Violeta Bokan-  
Bosiljkov

Ljubljana, 29. 08. 2013

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **ANA BENČINA** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom

**»UPORABA RUŠEVIN S PODROČJA STARE CINKARNE V BETONSKIH KOMPOZITIH«.**

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, avgust 2013

Ana Benčina

---

(podpis kandidatke)

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK</b>	<b>69.059.64(043.2)</b>
<b>Avtor</b>	<b>Ana Benčina</b>
<b>Mentorica</b>	<b>izr. prof. dr. Violeta Bokan Bosiljkov</b>
<b>Somentorica</b>	<b>dr. Alenka Mauko</b>
<b>Naslov</b>	<b>Uporaba ruševin s področja stare Cinkarne v betonskih kompozitih</b>
<b>Tip dokumenta</b>	<b>Diplomska naloga - univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema</b>	<b>79 str., 44 pregl., 60 sl.</b>
<b>Ključne besede</b>	<b>gradbeni odpadki, ruševine stare Cinkarna Celje, recikliran kontaminiran opečni agregat, vključevanje recikliranega agregata v betonske kompozite</b>

### **Izvleček**

Zapuščeno območje celjske stare Cinkarne, ki je prenehala obratovati leta 1970, na katerem je desetletja potekala proizvodnja praženja cinkove rude in taljenje cinka je onesnaženo s težkimi kovinami, predvsem cinkom, svincem in kadmijem. Na območju najdemo velike količine gradbenih odpadkov, kot so opeka, ploščice, beton,... Glede na okoljsko problematiko je območje nujno potrebno sanacije, da bi preprečili nadaljnje zastrupljanje narave in zaščitili zdravje ljudi.

V diplomski nalogi sem se osredotočila na odpadno opeko, ki je posledica rušenja zidanih objektov z območja stare Cinkarne. Želela sem odgovoriti na vprašanje, ali je odpadna opeka ustrezen vir za recikliran agregat za izdelavo konstrukcijskih betonov in ali je cementno vezivo sposobno imobilizirati nevarne snovi, prisotne v opečnem materialu. Priprava vzorcev in preiskave materialov so potekale v laboratorijih Zavoda za gradbeništvo Slovenije. Najprej smo preverili, katere strupene težke kovine so prisotne v vzorcu odpadne opeke. Izmed težkih kovin, prisotnih na območju stare Cinkarne je bila meja presežena le pri svincu. V naslednjem koraku smo opeko zdrobili in tako pripravili frakcijo agregata za beton. Določili smo tipične fizikalne lastnosti agregata (zrnavostna sestava, modul oblike zrn, vpijanje vode, prostorninska masa zrn, odpornost na kristalizacijo soli in zmrzovanje), ki jih potrebujemo za oceno primernosti agregata za izdelavo betona ter za projektiranje betonskih mešanic. Recikliran opečni agregat smo nato vključili v betonsko mešanico in sicer smo z njim nadomestili 30 %, 60 % ali 90 % naravnega mineralnega agregata. Preverili smo lastnosti betonskih mešanic v svežem (posed, razlez, prostorninska masa, delež zajetega zraka, vodocementno razmerje) in strjenem stanju (tlačna trdnost pri različnih starostih betona, odpornost proti prodoru vode pod pritiskom) ter kemijsko analizo izlužka iz betonov z recikliranim opečnim agregatom. Ugotovili smo, da je svinec, ki je bil v izlužku recikliranega agregata iz opeke presežen, v cementni matrici uspešno imobiliziran, saj je bila vrednost svinca v izlužku pod mejo detekcije.

Na podlagi opravljene analize rezultatov preiskav recikliranega opečnega agregata ter svežih in strjenih betonov sem na koncu podala priporočila glede objektov, pri gradnji katerih bi lahko uporabili betone, pri katerih je del naravnega mineralnega agregata zamenjan z recikliranim opečnim agregatom z območja stare Cinkarne.

---

## BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

<b>UDC</b>	<b>69.059.64(043.2)</b>
<b>Author</b>	<b>Ana Benčina</b>
<b>Supervisor</b>	<b>assoc. prof. Violeta Bokan – Bosiljkov, Ph.D.</b>
<b>Co-advisor</b>	<b>Alenka Mauko, Ph.D.</b>
<b>Title</b>	<b>Use of ruins from the area of the old Cinkarna zinc works in concrete composites</b>
<b>Document type</b>	<b>Graduation Thesis – University studies</b>
<b>Notes</b>	<b>79 p., 44 tab., 60 pic.</b>
<b>Key words</b>	<b>building waste, ruins of the old Cinkarna Celje zinc works, recycled contaminated brick aggregate, including recycled aggregate in concrete composites</b>

### Abstract

The abandoned area of the old Cinkarna zinc works, which ceased their operations in 1970, after decades of roasting zinc ore and melting zinc, is now polluted with heavy metals, mainly zinc, lead and cadmium. This area is loaded with large quantities of building waste, such as bricks, tiles, concrete, etc. Considering the environmental problems, the area needs urgent rehabilitation in order to prevent further pollution of nature and to protect human health.

The graduation thesis focuses on the waste bricks resulting from the demolition of masonry structures from the area of the old Cinkarna works. The aim was to find answers to the questions, whether waste bricks are appropriate to be used as recycled aggregate for the manufacturing of structural concretes, and if cement binder is capable of immobilizing hazardous substances present in the brick material. The specimens for material testing were prepared in the laboratories of the Slovenian national Building and Civil Engineering Institute, where all the tests were carried out as well. First, we checked which toxic heavy metals are present in a sample of waste brick. Among heavy metals present in the area of the old Cinkarna works the limit was exceeded only for lead. In the next step waste bricks were crushed and then used as aggregate fraction for concrete. We determined typical physical properties of the recycled aggregate (grain size distribution, shape modulus, water absorption, density of grains, resistance to salt crystallisation and freezing), as required to estimate the aggregate adequacy for concrete preparation and for the design of concrete mixes. The recycled brick aggregate was then used in concrete mixes, i.e. by replacing 30 %, 60 % or 90 % of natural mineral aggregate. We checked the properties of concrete mixes in fresh (slump, flow diameter, density, air content, water-cement ratio) and hardened state (compressive strength at different ages of concrete, resistance against water ingress under pressure) and performed chemical analysis of leachate from concretes with recycled brick aggregate. It was established that lead, which was exceeded in the leachate of the recycled aggregate from waste bricks, was successfully immobilised in the cement matrix, since the value of lead in the leachate was below detection value.

Based on the performed analysis of the results of tests carried on the recycled brick aggregate and fresh and hardened concretes, finally I prepared recommendations about buildings and engineering structures that could be made from concretes, where part of the natural mineral aggregate is replaced by recycled brick aggregate from the area of the old Cinkarna works.

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujem mentorici izr. prof. dr. Violeti Bokan – Bosiljkov za strokovno podporo, usmeritve in nasvete. Posebna zahvala gre somentorici dr. Alenki Mauko za usmerjanje, spodbujanje in svetovanje pri izdelavi diplomske naloge, ki je nastala v sklopu dela na Zavodu za gradbeništvo Slovenije.

Prav tako gre zahvala tudi gospodu Ladu Brasu za pomoč pri laboratorijskem delu na Zavodu za gradbeništvo Slovenije in posredovanje podatkov za diplomsko delo.

Zahvaljujem se celotnemu kolektivu Zavoda za gradbeništvo Slovenije, ki so me sprejeli in pomagali pri nekaterih vprašanjih ter mi razkazali laboratorije in obrazložili njihovo delovanje.

Še posebej pa se moram zahvaliti družini, mami Ireni, očiju Miroslavu, babici Ireni in teti Milici, ki so mi ves čas študija stali ob strani, mi pomagali premagati težke trenutke in me ves čas spodbujali in bodrili. Brez njih mi študija vsekakor nebi uspelo dokončati.

## KAZALO VSEBINE

Izjava o avtorstvu .....	II
Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček .....	III
Bibliographic-documentalistic information and abstract .....	IV
Zahvala .....	V
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Hipoteza .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Namen, vsebina in cilj naloge .....</b>	<b>4</b>
<b>2 TEORETIČNI DEL .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Zakonodaja na področju ravnanja z gradbenimi odpadki.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Zakon o varstvu okolja .....	5
2.1.2 Uredba o odpadkih .....	5
2.1.3 Uredba o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih .....	7
2.1.4 Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov .....	8
<b>2.2 Zakonodaja o gradbenih proizvodih .....</b>	<b>8</b>
2.2.1 Pravilnik o bistvenih zahtevah za gradbene objekte, ki jih je treba upoštevati pri določitvi lastnosti gradbenih proizvodov .....	8
2.2.2 Zakon o gradbenih proizvodih .....	9
2.2.3 Uredba o gradbenih proizvodih št. 305/2011 .....	10
<b>2.3 Rušenje objekta .....</b>	<b>11</b>
2.3.1 Načrt gospodarjenja z odpadki .....	11
2.3.2 Selektivno rušenje .....	11
2.3.3 Načrt ravnanja z odpadki.....	14
2.3.3.1 Klasifikacija gradbenih odpadkov .....	14
2.3.3.2 Ločeno zbiranje gradbenih odpadkov .....	16
2.3.3.3 Predelava gradbenih odpadkov .....	16
2.3.3.4 Ponovna uporaba gradbenih odpadkov v gradbeništvo - gradbeni proizvodi iz recikliranih odpadkov.....	17
<b>2.4 Osnovne sestavine za izdelavo betonov .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 Splošno o betonu .....	20
2.4.2 Cement .....	21
2.4.3 Voda .....	21
2.4.4 Agregat .....	22
2.4.5 Kemijski dodatki k betonu .....	22
<b>3 EKSPERIMENTALNI DEL .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Materiali in metode .....</b>	<b>23</b>
3.1.1 Material - opeka s področja stare Cinkarne Celje .....	23
3.1.1.1 Odvzem vzorca.....	23
3.1.1.2 Priprava vzorca in drobljenje na frakcije.....	24
3.1.2 Laboratorijske analize .....	24
3.1.2.1 Preiskave recikliranega agregata .....	24
3.1.2.1.1 Priprava in kemična analiza izlužka .....	24
3.1.2.1.2 Določevanje zrnivosti agregata s sejanjem.....	25
3.1.2.1.3 Določevanje oblike zrn agregata - modul oblike.....	27
3.1.2.1.4 Določevanje prostorninske mase in vpijanja vode .....	28
3.1.2.1.5 Metoda ugotavljanja odpornosti na termične in vremenske vplive z magnezijevim sulfatom 31	31
3.1.2.2 Priprava receptur za betonske mešanice.....	32
3.1.2.2.1 Stopnje izpostavljenosti glede na okolje, ki mu bo beton izpostavljen .....	32
3.1.2.2.2 Zrnivost in prostorninska masa uporabljenega agregata.....	33
3.1.2.2.3 Vzorec 1 - etalon .....	34



3.1.2.2.4	Vzorec 2 - 30% agregata iz opeke .....	35
3.1.2.2.5	Vzorec 3 - 60% agregata iz opeke .....	36
3.1.2.2.6	Vzorec 4 - 90% agregata iz opeke .....	37
3.1.2.3	Preiskave svežega betona .....	38
3.1.2.3.2	Preskušanje konsistence sveže betonske mešanice .....	41
3.1.2.3.3	Določanje prostorninske mase svežega betona .....	45
3.1.2.3.4	Določanje vsebnosti zraka v svežem betonu .....	45
3.1.2.3.5	Določanje vodocementnega razmerja svežega betona .....	46
3.1.2.4	Preiskave strjenega betona .....	48
3.1.2.4.1	Gostota strjenega betona .....	48
3.1.2.4.2	Tlačna trdnost betona .....	49
3.1.2.4.3	Določanje globine prodora vode pod pritiskom .....	50
3.1.2.4.4	Priprava in kemična analiza izlužka iz strjenega betona .....	52
3.1.2.5	Mejne vrednosti za sestavo betona .....	52
<b>3.2</b>	<b>Rezultati in diskusija.....</b>	<b>57</b>
3.2.1	Preiskave agregata .....	57
3.2.1.1	Analiza izlužka .....	57
3.2.1.2	Določevanje zrnivosti s sejanjem .....	57
3.2.1.3	Določevanje oblike zrn agregata - modul oblike.....	59
3.2.1.4	Določevanje prostorninske mase in vpijanja vode .....	59
3.2.1.5	Odpornost na delovanje atmosferilij z magnezijevim sulfatom .....	60
3.2.2	Preiskave svežega betona .....	61
3.2.2.1	Preskušanje konsistence sveže betonske mešanice .....	61
3.2.2.1.1	Posed svežega betona .....	61
3.2.2.1.2	Razlez svežega betona.....	62
3.2.2.2	Prostorninska masa svežega betona .....	63
3.2.2.3	Vsebnost zraka v svežem betonu.....	64
3.2.2.4	Vodocementno razmerje svežega betona .....	65
3.2.3	Preiskave strjenega betona .....	66
3.2.3.1	Porušne metode .....	66
3.2.3.1.1	Tlačna trdnost betona .....	66
3.2.3.1.2	Globina prodora vode pod pritiskom.....	68
3.2.3.1.3	Kemična analiza izlužka iz strjenega betona.....	69
3.2.4	Skupni rezultati .....	70
3.2.5	Primerjava rezultatov diplomske naloge z rezultati preiskav na Portugalskem .....	72
<b>4</b>	<b>ZAKLJUČEK.....</b>	<b>74</b>
<b>VIRI.....</b>		<b>76</b>

**KAZALO TABEL**

Tabela 1: Srednje vrednosti elementov v vzorcih iz območja Celja .....	1
Tabela 2: Vsebnost parametrov Zn, Pb in Cd v analizi celokupnih vrednosti in v izlužkih .....	3
Tabela 3: Zakonodajna področja trženja gradbenih proizvodov .....	10
Tabela 4: Klasifikacijski seznam gradbenih odpadkov .....	14
Tabela 5: Klasifikacijski seznam za predelavo in odstranjevanje odpadkov .....	17
Tabela 6: Možnosti ponovne uporabe materialov v nevoziščnih konstrukcijah .....	19
Tabela 7: Možnosti ponovne uporabe materialov v voziščnih konstrukcijah .....	19
Tabela 8: Mejne vrednosti parametrov izlužka inertnih odpadkov .....	24
Tabela 9: Najmanjša velikost vzorca za sejnalno analizo v skladu s SIST EN 933 - 1 .....	25
Tabela 10: Priporočene mejne krivulje zrnivosti za mešanico agregata 0/16 mm po SIST 1026 .....	25
Tabela 11: Minimalna zatehta testnega vzorca .....	28
Tabela 12: Stopnje izpostavljenosti in mejne vrednosti sestave in lastnosti betona - SIST EN 206-1 .....	32
Tabela 13: Zrnavost in prostorninska masa agregata .....	33
Tabela 14: Predvidena sestava betona - vzorec 1 (etalon, vse frakcije so iz naravnega agregata).....	34
Tabela 15: Predvidena sestava betona - vzorec 2 (frakcija 0-16 mm je recikliran agregat opeke) .....	35
Tabela 16: Predvidena sestava betona - vzorec 3 (frakcija 0-16 mm je recikliran agregat opeke) .....	36
Tabela 17: Predvidena sestava betona - vzorec 4 (frakcija 0-16 mm je recikliran agregat opeke) .....	37
Tabela 18: Nazivne velikosti kocke .....	39
Tabela 19: Klasifikacija poseda po standardu SIST EN 206-1 .....	44
Tabela 20: Klasifikacija razleza po standardu SIST EN 206-1 .....	44
Tabela 21: Razredi tlačne trdnosti za normalno težak in težak beton po SIST EN 206-1 .....	50
Tabela 22: Dovoljene vrednosti prodora vode po SIST 1026 .....	51
Tabela 23: Zahtevane posebne lastnosti strjenega betona - tabela N.4 v standardu SIST 1026 .....	53
Tabela 24: Razredi in stopnje izpostavljenosti - tabela N.1 v standardu SIST 1026 .....	54
Tabela 25: Koncentracije izlužka opeke iz območja stare Cinkarne Celje .....	57
Tabela 26: Zrnavost recikliranega agregata .....	58
Tabela 27: Rezultati določevanja modula oblike .....	59
Tabela 28: Rezultati prostorninske mase in vpijanja vode .....	59
Tabela 29: Rezultati analize preskusa z magnezijevim sulfatom .....	60
Tabela 30: Rezultati poseda .....	61
Tabela 31: Rezultati razleza .....	62
Tabela 32: Rezultati prostorninske mase svežega betona .....	63
Tabela 33: Rezultati vsebnosti zraka v svežem betonu .....	64
Tabela 34: Rezultati vodocementnega razmerja svežega betona .....	65
Tabela 35: Rezultati tlačne trdnosti po 2 dneh .....	66
Tabela 36: Rezultati tlačne trdnosti po 7 dneh .....	66
Tabela 37: Rezultati tlačne trdnosti po 28 dneh .....	67
Tabela 38: Maksimalna globina prodora vode pod pritiskom .....	68
Tabela 39: Rezultati vsebnosti svinca v izlužku strjenega betona po treh dneh .....	69
Tabela 40: Izbor mehansko fizikalnih lastnosti svežega in strjenega betona .....	70
Tabela 41: Karakteristike betona - vzorec 1 .....	73
Tabela 42: Karakteristike betona - vzorec 2 .....	73
Tabela 43: Karakteristike betona - vzorec 3 .....	73
Tabela 44: Karakteristike betona - vzorec 4 .....	73

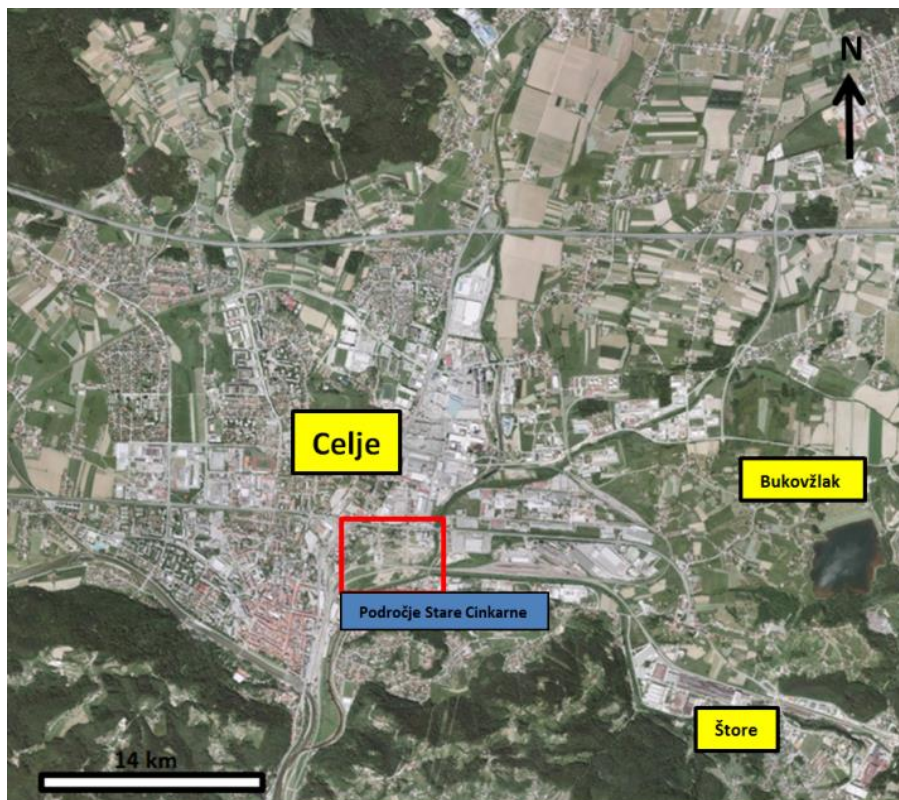
**KAZALO SLIK**

Slika 1: Lokacija področja »Stare Cinkarne« v mestni občini Celje.....	1
Slika 2: Območje stare Cinkarne Celje, na katerem je odloženo veliko različnih gradbenih odpadkov. 3	3
Slika 3: Območje stare Cinkarne Celje z ostanki opeke iz porušениh objektov .....	3
Slika 4: Hierarhija pravilnega ravnanja z odpadki .....	6
Slika 5: Ločevanje po vrsti materiala .....	12
Slika 6: Stroji za selektivno rušenje .....	13
Slika 7: Beton, opeka, ploščice - klasifikacijska oznaka 17 01 07.....	16
Slika 8: Les s klasifikacijsko oznako 17 02 01 .....	16
Slika 9: Recikliran betonski agregat kot nosilna plast v cestni konstrukciji .....	18
Slika 10: Območje odvzema vzorcev .....	23
Slika 11: Kup gradbenih odpadkov na območju stare Cinkarne .....	23
Slika 12: Vzorec nabrane opeke.....	23
Slika 13: Zemljevid območja odvzema vzorca .....	23
Slika 14: Opeka, nabrana na območju stare Cinkarne Celje .....	24
Slika 15: Recikliran agregat iz opeke, pripravljen za laboratorijske analize.....	24
Slika 16: Naprava za sejhalno analizo s siti različne velikosti .....	25
Slika 17: Priporočene mejne krivulje zrnivosti za mešanico agregata 0/16 mm po SIST 1026.....	26
Slika 18: Siti 11,2 mm in 8,0 mm .....	27
Slika 19: Sito 8,0 mm.....	27
Slika 20: Kljunasto merilo.....	27
Slika 21: Piknometer z vzorcem in vodo.....	28
Slika 22: Mokri reciklirani agregat .....	29
Slika 23: Površinsko osušeni reciklirani agregat.....	29
Slika 24: Preiskovan vzorec za prostorninsko maso .....	30
Slika 25: Sušenje vzorca .....	30
Slika 26: Nalivanje vode v piknometer .....	30
Slika 27: Preskus vpivanja vode pri metodi za preverjane površinsko suhega z vodo zasičenega stanja za frakcijo 0,063/4 mm.....	30
Slika 28: Vlažen agregat 0,063/4 mm, ki ohranja skoraj popolno obliko kovinskega kalupa .....	30
Slika 29: Skoraj suh agregat 0,063/4 mm z zaobljenim vrhom nasipnega stožca in krivuljasto obrobo površine .....	30
Slika 30: Vlažen agregat - ohranja skoraj popolno obliko kovinskega kalupa .....	31
Slika 31: Rahlo vlažen agregat - opaziti je občuten padec.....	31
Slika 32: Nasičen, površinsko suh agregat.....	31
Slika 33: Agregat je skoraj suh - vrh je zaobljen, obroba površine je podobna krivulji .....	31
Slika 34: Suh agregat pripravljen za suho mešanje.....	38
Slika 35: Kocka s stranico <i>d</i> .....	39
Slika 36: Šarža.....	40
Slika 37: Vzorci svežega betona vgrajeni v kalupe in označeni .....	40
Slika 38: Polnjenje kalupov z betonom.....	41
Slika 39: Vgradnja betona v kalup .....	42
Slika 40: Merjenje poseda v praksi .....	42
Slika 41: Merjenje poseda po standardu SIST EN 12350-2.....	42
Slika 42: Oblike poseda po standardu SIST EN 12350-2 .....	42
Slika 43: Oprema za preiskavo razleza po SIST EN 12350-5[38].....	44

Slika 44: Naprava za manometrsko metodo.....	46
Slika 45: Manometer v praksi .....	46
Slika 46: Sušenje vzorca na plinskem štedilniku .....	47
Slika 47: Zadovoljive porušitve preizkušancev v obliki kocke po standardu SIST EN 12390-3 .....	49
Slika 48: Nezadovoljive porušitve preizkušancev v obliki kocke po standardu SIST EN 12390-3 .....	49
Slika 49: Naprava za določanje globine prodora vode pod pritiskom.....	51
Slika 50: Preizkušanci, na katerih smo preverili globino prodora vode.....	51
Slika 51: Priporočene mejne krivulje zrnivosti za mešanico agregata 0/16 mm po SIST 1026 in zrnovostna sestava recikliranega opečnega agregata.....	58
Slika 52: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti poseda svežega betona - "takoj" .....	61
Slika 53: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti poseda svežega betona - po 15 min.....	61
Slika 54: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti razleza svežega betona - "takoj" .....	62
Slika 55: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti razleza svežega betona - po 15 min .....	62
Slika 56: Grafični prikaz izmerjenih prostorninskih mas v svežem betonu .....	63
Slika 57: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti vsebnosti zraka v svežem betonu .....	64
Slika 58: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti vodocementnega razmerja svežega betona .....	65
Slika 59: Grafični prikaz tlačne trdnosti betona v odvisnosti od časa.....	67
Slika 60: Grafični prikaz globine prodora vode pod pritiskom.....	68

## 1 UVOD

Metalurška in kemična industrija sta v Celju že dolgo prisotni. Leta 1873 je bil na območju »stare Cinkarne« postavljen prvi obrat za predelavo Zn rude, ki je bil kmalu razširjen še na proizvodnjo cinka (Zn) ter svinčevih (Pb) oksidov in barijevih (Ba) soli. Z letom 1912 se je pričela proizvodnja žveplove kisline ( $H_2SO_4$ ), po letu 1970 pa proizvodnja titanovega dioksida ( $TiO_2$ ). Po letu 1990 se je industrijska dejavnost na tem področju končala [1]. Ostalo je približno 17 hektarjev veliko, degradirano območje, kjer so bili do leta 2006 nesistematično (na škodljiv način za okolje) porušeni vsi stari industrijski objekti, z izjemo spomeniško zavarovanih opečnih dimnikov.



Slika 1: Lokacija področja »Stare Cinkarne« v mestni občini Celje  
(vir: <http://www.geopedia.si/>)

Šajn [2] je po metodi štiri-kislinskega razklopa v štirih vzorcih urbanih tal, cestnega sedimenta, stanovanjskega prahu in podstrešnega prahu določil celokupne povprečne vrednosti različnih elementov. Z analizo težkih kovin je dokazal, da so bogatitve s kadmijem, svincem in cinkom v Celju nekajkrat višje kot v drugih večjih slovenskih mestih (tabela 1). Obogatitve so vezane predvsem na urbana tla in podstrešni prah.

Tabela 1: Srednje vrednosti elementov v vzorcih iz območja Celja [2]

	Urbana tla	Stanovanjski prah	Podstrešni prah	Cestni sediment	Najvišja vrednost <sup>1</sup>
<b>Cd</b>	4,3 mg/kg	6,2 mg/kg	67,9 mg/kg	2,1 mg/kg	240,3 mg/kg
<b>Pb</b>	410 mg/kg	260 mg/kg	1552 mg/kg	380 mg/kg	3229 mg/kg
<b>Zn</b>	1373 mg/kg	1350 mg/kg	9672 mg/kg	900 mg/kg	2,8 % mase prahu

<sup>1</sup>Vse najvišje vrednosti so bile izmerjene v vzorcih podstrešnega prahu.

V letu 2000 so bile opravljene analize okoljskih razmer, ki jih je izvedel Zavod za zdravstveno varstvo Celje [3]. V letu 2005 je bilo narejeno Poročilo o stanju okolja na območju »stare Cinkarne« [4]. Geotehnične in geokemične analize so bile izvedene na jedrih osmih vrtin globine od 9 do 10 m in štirih vzorcih podtalnice. Pet vrtin (z oznakami V1, V2, V3, V4, V5) je bilo lociranih v severovzhodnem delu področja stare Cinkarne. Danes na tem mestu že stoji tehnološki center Tehnopolis. Vrtini V6 in V7 sta bili locirani v vzhodnem delu področja, ob nabrežju potoka Hudinja. Vrtina V16 pa je bila narejena na področju južno od železniške proge Celje - Maribor, ki poteka skozi območje stare Cinkarne. Analiza jeder je pokazala, da področje prekriva od 1,7 do 3 metre debel nasip zaglinjenih gradbenih odpadkov, opeke, jalovine, ogorkov in žilindre. Nivo podtalnice poteka približno 4 metre pod površino, v plasti peščene glinice in melja, ki predstavlja prvotno podlago [5]. Vzorčenje je potekalo proporcionalno, po celotni dolžini jeder vrtin. Naknadno so bili narejeni sestavljeni vzorci, ki so vsebovali material iz vseh jeder in sicer do globine enega metra, od enega do dveh metrov, od dveh do treh metrov globine ter iz peščeno-glinaste podlage. Vzorci so bili analizirani za celokupne vrednosti težkih kovin in organskih onesnaževal. Pri tem so se vrednosti cinka gibale med 787 in 75790 mg/kg, kadmija med 4,8 in 593 mg/kg ter svinca med 91 in 9466 mg/kg suhe snovi (s.s.). Glede na tedaj veljavni pravilnik o odlaganju odpadkov, so bile v posameznih vrtinah presežene tudi celokupne vrednosti arzena (As) (881 mg/kg s.s.), barija (Ba) (1585 mg/kg s.s.) in bakra (Cu) (901 mg/kg s.s.). Kompozitni vzorci so pokazali največje čezmerno nakopičenje Cu, Cd, in Zn na globini od enega do dveh metrov. Obogatitve z Ba so bile največje na globinah od nič do enega metra. Pb in As sta bila najbolj nakopičena v globinah pod tremi metri in v glineni podlagi. Opravljene so bile tudi analize po postopku standardnega izluževanja z destilirano vodo (SIST EN 12457-4:2004). Rezultati pri tem kažejo manjšo stopnjo mobilnosti težkih kovin. Nad dovoljenimi vrednostmi za inertnost so bili le vzorci treh vrtin za parametre Pb (od 0,8 do 5,7 mg/kg s.s.), Cd (od 0,1 do 4 mg/kg s.s.) ter Zn (od 9 do 240 mg/kg s.s.). Zopet je bila največja stopnja onesnaženosti ugotovljena na globini od enega do treh metrov. Kemijske analize je opravil Kemijski inštitut Ljubljana [6].

Na mobilnost težkih kovin kažejo tudi podatki, predstavljeni v Občinskem programu varstva okolja za mestno občino Celje [7]. Tu so bili zbrani podatki Agencije Republike Slovenije za Okolje, ki kažejo, da je potok Voglajna prekomerno onesnažen s sulfati, kadmijem, bakrom, nikljem in svincom. Del njegove struge namreč meji na območje stare Cinkarne. Isto programsko poročilo navaja tudi, da vsebnost težkih kovin v prašnih delcih v zraku ni presegala mejnih vrednosti, čeprav so bile koncentracije le teh povišane (merjeno v letu 2007, ZZV Celje). Večja podjetja v Celju navajajo tudi ničelne ali komaj zaznavne letne izpuste težkih kovin v okolje za leto 2007 (vir: ARSO). Avtorji navajajo podatke raziskav Lobnika in sodelavcev [8], ki so v takratni občini Celje odvzeli in analizirali 117 vzorcev tal, vzeti do globine 30 cm. Celokupne vsebnosti težkih kovin so v nekaterih vzorcih presegale mejne vrednosti za parametre Cd (do 21,4 mg/kg s.s.), Zn (do 3010 mg/kg s.s.), Pb (do 657 mg/kg s.s.), Cu (do 99,5 mg/kg s.s.), Ni (do 76,4 mg/kg s.s.), As (do 85 mg/kg s.s.) in Hg (do 1,39 mg/kg s.s.). Podani so tudi rezultati raziskav Zupana in sodelavcev [9], ki so analizirali vzorce tal po metodi razklopa z zlatotopko. Vzorci so bili vzeti v mestu Celje in njegovi bližnji okolici. Zupan in sodelavci [10] so združili podatke o analizi tal v mestu Celje in njegovi okolici, od leta 1989 do 2003. Pri tem so ugotovili, da so gornji sloji tal v radiju 1,5 km od področja »stare Cinkarne« kritično onesnaženi z >12 mg/kg Cd, >530 mg/kg Pb in >530 mg/kg Zn v celokupnih vrednostih. Opozorilne celokupne vrednosti navedenih težkih kovin so do petkrat nižje. Vseeno so tolikšne (večje od opozorilnih celokupnih vrednosti) količine Pb, Zn in Cd prisotne v radiju več kot petih kilometrov od področja »stare Cinkarne«. Znotraj teh območij onesnaženja so Zupan in sodelavci [11] odkrili obogatitve s Cd in Zn v žitu, solatnicah in špinači.

Po začetku gradbenih del na območju stare Cinkarne, v letu 2009, je Zavod za zdravstveno varstvo Celje opravil analize izkopanih tal. Zaradi visokih vrednosti onesnaževal, približno 13000 kubičnih metrov izkopane materiala, velja izkopani material za nevaren odpadek. Vzorčenje je bilo opravljeno na štirih področjih (O1, O2, O3, O4), kjer so potekala gradbena dela (tabela 2). Vzorci tal so bili v teh območjih vzeti na naključno izbranih točkah, do globine 15 centimetrov.



Tabela 2: Vsebnost parametrov Zn, Pb in Cd v analizi celokupnih vrednosti in v izlužkih

	<b>Enote</b>	<b>Zn- celokupni</b>	<b>Zn- izlužek</b>	<b>Pb- celokupni</b>	<b>Pb- izlužek</b>	<b>Cd- celokupni</b>	<b>Cd- izlužek</b>
<b>Območje 1</b>	mg/kg s.s.*	63000	36	13000	0,37	320	1,7
<b>Območje 2</b>	mg/kg s.s.*	34000	8,2	10000	0,22	80	0,28
<b>Območje 3</b>	mg/kg s.s.*	100000	100	32000	1,4	80	0,55
<b>Območje 4</b>	mg/kg s.s.*	120000	12	21000	1,0	24	0,11

\* mg/kg s.s - miligram na kilogram suhe snovi

Vrednosti Cd, Zn in Pb v izlužkih, pripravljenih po standardnem postopku SIST EN 12457-4:2004, presegajo mejne vrednosti za nevarne odpadke. V skladu z uredbami, objavljenimi v Uradnem listu (Ur. l. RS št. 61/11), se lahko deponirajo le pod posebnimi pogoji. V poročilu pa poleg onesnaženosti z organskimi snovmi (katran), navajajo tudi problem nelegalnega odlaganja gospodinjskih, gradbenih in industrijskih odpadkov na tem območju. Kot začasne ukrepe predlagajo ustrezno zaščito izkopanih odpadkov pred vremenskimi vplivi in prašenjem. Emisije prahu z visoko vsebnostjo težkih kovin pri bodočih posegih, bi lahko pomenile glavno nevarnost za okolje in prebivalstvo.

Območje stare Cinkarne je danes »odlagališče raznih odpadkov« (slika 2 in slika 3). Na njem poleg ostankov industrijske dejavnosti (razen žindre) najdemo tudi večje količine gradbenih odpadkov - opeke, beton, ploščice, les,... Po hierarhiji pravičnega ravnanja z odpadki, je cilj sanacije območja stare Cinkarne, gradbene odpadke reciklirati in ponovno uporabiti kot surovino za gradbene proizvode.



Slika 2: Območje stare Cinkarne Celje, na katerem je odloženo veliko različnih gradbenih odpadkov  
(vir: foto arhiv ZAG)



Slika 3: Območje stare Cinkarne Celje z ostanki opeke iz porušenih objektov  
(vir: foto arhiv ZAG)

## 1.1 Hipoteza

Kot izhodišče diplomske naloge smo postavili hipotezo, da s pravilno vgradnjo onesnaženega recikliranega agregata iz drobljene opeke s področja stare Cinkarne v betonske kompozite, lahko dobimo inerten gradbeni proizvod - konstrukcijski beton, pri čemer se nevarne snovi, ki jih vsebuje odpadki učinkovito imobilizirajo.

## 1.2 Namen, vsebina in cilj naloge

Namen diplomske naloge je bil analizirati vzorec opeke s področja stare Cinkarne Celje ter ugotoviti, ali je kot recikliran agregat primeren za uporabo v betonskih kompozitih ali ne in kakšne so lastnosti teh kompozitov.

Potek eksperimentalnega dela je bil naslednji: najprej smo analizirali kemično sestavo izlužka iz recikliranega agregata iz opeke s področja stare Cinkarne in ugotovili, koliko je v njem snovi, ki imajo z zakonodajo določeno maksimalno dovoljeno vsebnost. Prav tako smo preiskali mehansko-fizikalne lastnosti recikliranega agregata in na podlagi teh rezultatov pripravili recepture in izdelali štiri betonske mešanice z različno vsebnostjo recikliranega agregata:

- vzorec etalona (brez recikliranega agregata),
- vzorec s 30 % recikliranega agregata,
- vzorec s 60% recikliranega agregata in
- vzorec z 90% recikliranega agregata.

Po 3 dneh smo pripravili izlužek iz strjenega betona. Glede na rezultate kemične analize izlužka recikliranega agregata, smo v izlužku strjenega betona analizirali le vsebnost svinca.

Cilj naloge je bil pridobiti inerten gradbeni proizvod (beton) z ustreznimi lastnostmi v svežem in strjenem stanju za določene namene uporabe, ki je istočasno inerten iz okoljskega stališča.



## 2 TEORETIČNI DEL

### 2.1 Zakonodaja na področju ravnanja z gradbenimi odpadki

#### 2.1.1 Zakon o varstvu okolja

Zakon o varstvu okolja [12] je krovni zakon s tega področja, ki ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot temeljni pogoj za trajnostni razvoj in v tem okviru določa temeljna načela varstva okolja, ukrepe varstva okolja, spremljanje stanja okolja in informacije o okolju, ekonomske in finančne instrumente varstva okolja, javne službe varstva okolja in druga z varstvom okolja povezana vprašanja.

Namen varstva okolja je spodbujanje in usmerjanje takšnega družbenega razvoja, ki omogoča dolgoročne pogoje za človekovo zdravje, počutje in kakovost njegovega življenja ter ohranjanje biotske raznovrstnosti.

Cilji varstva okolja so zlasti:

1. preprečitev in zmanjšanje obremenjevanja okolja,
2. ohranjanje in izboljševanje kakovosti okolja,
3. trajnostna raba naravnih virov,
4. zmanjšanje rabe energije in večja uporaba obnovljivih virov energije,
5. odpravljanje posledic obremenjevanja okolja, izboljšanje porušenega naravnega ravnovesja in ponovno vzpostavljanje njegovih regeneracijskih sposobnosti,
6. povečevanje snovne učinkovitosti proizvodnje in potrošnje ter
7. opuščanje in nadomeščanje uporabe nevarnih snovi.

Za doseganje ciljev iz prejšnjega odstavka se:

1. spodbuja proizvodnjo in potrošnjo, ki prispeva k zmanjšanju obremenjevanja okolja,
2. spodbuja razvoj in uporabo tehnologij, ki preprečujejo, odpravljajo ali zmanjšujejo obremenjevanje okolja in
3. plačuje onesnaževanje in raba naravnih virov.

#### 2.1.2 Uredba o odpadkih

Uredba o odpadkih [13], z namenom varstva okolja in varovanja človekovega zdravja, določa pravila ravnanja in druge pogoje za preprečevanje ali zmanjševanje škodljivih vplivov nastajanja odpadkov in ravnanja z njimi ter zmanjševanje celotnega vpliva uporabe naravnih virov in izboljšanje učinkovitosti uporabe naravnih virov. Uredba določa tudi klasifikacijski seznam odpadkov.

Hierarhija ravnanja z odpadki - 9. člen [13]:

Pri nastajanju odpadkov in ravnanju z njimi se kot prednostni vrstni red upošteva naslednja hierarhija ravnanja, ki je prikazana tudi na sliki 4:

1. preprečevanje,
2. priprava za ponovno uporabo,
3. recikliranje,
4. drugi postopki predelave (npr. energetska predelava) in
5. odstranjevanje odpadkov.



Slika 4: Hierarhija pravnega ravnanja z odpadki [14]

Pri pojasnjevanju hierarhije pravnega ravnanja [14] moramo biti pozorni na pomen sledečih pojmov - predelava, recikliranje in odstranjevanje.

*Predelava* pomeni postopek, katerega glavni rezultat je, da se odpadki koristno uporabijo v obratu, v katerem so bili predelani, ali v drugih gospodarskih dejavnostih, tako da nadomestijo druge materiale, ki bi se sicer uporabili za izpolnitev določene funkcije, ali so pripravljeni za izpolnitev te funkcije.

*Recikliranje* pomeni postopek predelave, v katerem se odpadne snovi ponovno predelajo v proizvode, materiale ali snovi za prvotni ali drug namen. Recikliranje vključuje tudi ponovno predelavo organskih snovi. Energetska predelava ali ponovna predelava v materiale, ki se bodo uporabili kot gorivo ali za zasipanje se ne šteje kot recikliranje.

*Odstranjevanje* je postopek, ki ni predelava, tudi če je sekundarna posledica postopka pridobivanja snovi ali energije.

#### Prenehanje statusa odpadka - 8. člen [13]:

Odpadki prenehajo biti odpadki šele po izvedeni predelavi v proizvode, materiale ali snovi za uporabo v prvotni ali drug namen ali za pridobivanje energije.

Določeni odpadki, ki so bili vključeni v enega od postopkov predelave, vključno z recikliranjem, lahko prenehajo biti odpadki, če so v tem postopku predelave in ob njihovi predaji drugemu imetniku izpolnjena merila za prenehanje statusa odpadka, določena za tovrstne materiale s posebnim predpisom EU.

Če gre za odpadke, za katere so s posebnimi predpisi, ki urejajo ravnanje z odpadno embalažo, izrabljenimi vozili, odpadno električno in elektronsko opremo ter odpadnimi baterijami in akumulatorji, določeni okoljski cilji recikliranja in predelave, se količina teh materialov, ki so z recikliranjem in predelavo prenehali biti odpadki, prišteva h količini recikliranih in predelanih odpadkov.

#### Varstvo okolja in varovanje človekovega zdravja - 10. člen [13]:

Z odpadki je treba ravnati tako, da ni ogroženo človekovo zdravje in da ravnanje ne povzroča škodljivih vplivov na okolje, zlasti:

1. čezmernega obremenjevanja voda, zraka in tal,
2. čezmernega obremenjevanja s hrupom in neprijetnimi vonjavami,
3. škodljivih vplivov na območja, na katerih je predpisan poseben pravni režim v skladu s predpisi, ki urejajo ohranjanje narave,

4. škodljivih vplivov na krajino ali območja, zavarovana v skladu s predpisi, ki urejajo kulturno dediščino.

Pomembno je zavedanje vseh deležnikov, da morajo biti načrtovanje, proizvodnja, distribucija, potrošnja in uporaba izdelkov taki, da pripomorejo k preprečevanju nastajanja odpadkov.

Pomembnejši okoljski cilji na področju odpadkov [15]:

Z okoljevarstvenega vidika je zaskrbljujoč podatek, da je samo v letu 2011 v Sloveniji nastalo (skupaj z zalogami) približno 6,5 mio ton odpadkov, od tega kar 89 % v proizvodnih in storitvenih dejavnostih. V letu 2011 je bilo 2,8 mio ton, kar predstavlja 49 % odpadkov iz proizvodnih in storitvenih dejavnosti, dano v interno predelavo ali v odstranjevanje (slednje ima po hierarhiji ravnanja z odpadki nižjo prioriteto). Največji delež gradbenih odpadkov predstavlja izkopani material [klasifikacijska številka 17 05 06], sledi mu beton [17 01 01]. Podatki Statističnega urada Republike Slovenije za leto 2011 pa kažejo, da je bilo tega leta kar 2,7 mio ton gradbenih odpadkov. Kar 75% gradbenih odpadkov se je predelalo, 23% se je začasno skladiščilo, 2% pa je bilo odstranjeno. Ko govorimo o predelavi gradbenih odpadkov, sem prištevamo tudi zemeljske izkope, ki pa v resnici niso pravi gradbeni odpadki. Po oceni strokovnjakov s področja ravnanja z odpadki je stopnja recikliranja zelo majhna (največ 20%).

Cilj Okoljskega akcijskega programa v Evropski Uniji do leta 2020 je spreminjanje Unije v z viri gospodarno, zeleno in konkurenčno nizkoogljično gospodarstvo. Ukrepe do leta 2020 in po njem bo med drugim usmerjala naslednja vizija za leto 2050: »Leta 2050 živimo dobro, ob upoštevanju okoljskih omejitev našega planeta. Naša blaginja in zdravo okolje izhajata iz inovativnega, krožnega gospodarstva, kjer se nič ne zavrže in kjer se naravni viri upravljajo na način, ki krepi odpornost naše družbe. Naša nizkoogljična rast je že dolgo ločena od rabe virov in narekuje tempo globalnemu trajnostnemu gospodarstvu« [16].

Na področju gradbenih odpadkov velja naslednji cilj:

»Do leta 2020 se priprava za ponovno uporabo, recikliranje in materialna predelava, vključno z zasipanjem z uporabo odpadkov za nadomestitev drugih materialov, nenevarnih gradbenih odpadkov in odpadkov pri rušenju objektov, razen naravno prisotnega materiala, navedenega pod klasifikacijsko številko 17 05 04 s seznama odpadkov, povečajo na najmanj 70% skupne teže.« [13]

### **2.1.3 Uredba o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih**

Uredba o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih, določa obvezno ravnanje z odpadki, ki nastajajo pri gradbenih delih zaradi gradnje, rekonstrukcije, adaptacije, obnove ali odstranitve objekta.

Uporaba - 3. člen [17]:

Uredba o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih, se uporablja za gradbene odpadke, ki se uvrščajo v skupino odpadkov s številko 17 s klasifikacijskega seznama odpadkov (Priloga št. 4 k Uredbi o odpadkih). Določbe te uredbe se ne uporabljajo za:

1. odpadke, ki pri gradbenih delih ne nastanejo neposredno kot posledica postopkov izvajanja gradbenih del, kot so odpadna embalaža, ki ovija gradbeni material ali gradbene izdelke, ali komunalni odpadki, ki jih povzročajo zaposleni na gradbišču,
2. zemeljski izkop, ki nastaja pri gradbenih delih zaradi gradnje, rekonstrukcije, adaptacije, obnove ali odstranitve objekta, če ni onesnažen z nevarnimi snovmi tako, da bi se v skladu s predpisom, ki ureja ravnanje z odpadki, uvrstil med nevarne gradbene odpadke, in se ravna z njim v skladu s predpisom, ki ureja obremenjevanje tal z vnašanjem odpadkov,
3. odpadne naplavine, ki se v skladu s predpisi, ki urejajo vode, premeščajo znotraj območja površinskih voda zaradi upravljanja voda in vodnih poti ali preprečevanja poplav ali blažitve posledic poplav in suše, če odpadne naplavine niso onesnažene z nevarnimi snovmi tako, da se v skladu s predpisom, ki ureja ravnanje z odpadki, uvrščajo med nevarne gradbene odpadke,
4. gradbene odpadke, vključno z zemeljskim izkopom in odpadnimi naplavinami, ki nastajajo pri izvajanju zaščite in reševanja ob naravnih in drugih nesrečah.

Pri ravnanju z gradbenimi odpadki, ki vsebujejo azbest, je treba upoštevati tudi določbe Predpisa o ravnanju z odpadki, ki vsebujejo azbest (Ur.l. RS št. 105/2000) in predpisa o pogojih, pod katerimi se lahko pri rekonstrukciji ali odstranitvi objektov in pri vzdrževalnih delih na objektih, instalacijah ali napravah odstranjujejo materiali, ki vsebujejo azbest (Ur.l. RS št. 60/2006).

#### Načrt gospodarjenja z odpadki - 5. člen [18]:

Če je za gradnjo novega objekta, rekonstrukcijo objekta, nadomestno gradnjo ali odstranitev objekta predpisana pridobitev gradbenega dovoljenja v skladu s predpisi, ki urejajo graditev objektov, mora investitor k projektu za pridobitev gradbenega dovoljenja priložiti načrt gospodarjenja z gradbenimi odpadki. Načrt gospodarjenja z gradbenimi odpadki mora glede, na vrsto in količino gradbenih odpadkov, vsebovati podatke o:

- izločitvi nevarnih gradbenih odpadkov pred odstranitvijo objekta, če zadeva pridobitev gradbenega dovoljenja tudi odstranitev objekta,
- ločenem zbiranju gradbenih odpadkov na gradbišču,
- obdelavi gradbenih odpadkov na gradbišču,
- predvideni prostornini zemeljskega izkopa, nastalega zaradi izvajanja gradbenih del na gradbišču, in ravnanju z njim,
- predvideni prostornini uporabe zemeljskega izkopa na gradbišču, ki ni nastal zaradi izvajanja gradbenih del na gradbišču,
- količinah in vrstah gradbenih odpadkov, predvidenih za oddajo zbiralcu gradbenih odpadkov,
- količinah in vrstah gradbenih odpadkov, predvidenih za oddajo v obdelavo,
- predvidenih načinih obdelave gradbenih odpadkov in izvajalcih obdelave gradbenih odpadkov.

#### **2.1.4 Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov**

Uredba določa pogoje v zvezi z obremenjevanjem tal z vnašanjem odpadkov [18] in obvezno ravnanje pri načrtovanju in izvedbi vnašanja zemeljskega izkopa ali umetno pripravljene zemljine zaradi izboljšanja ekološkega stanja tal. Določa tudi pogoje uporabe gradbenega materiala, pripravljenega iz obdelanih ali neobdelanih, izvornih ali odpadnih mineralnih surovin, če se ob stiku s padavinsko, podzemno ali površinsko vodo nevarne snovi lahko začnejo lužiti.

### **2.2 Zakonodaja o gradbenih proizvodih**

#### **2.2.1 Pravilnik o bistvenih zahtevah za gradbene objekte, ki jih je treba upoštevati pri določitvi lastnosti gradbenih proizvodov**

Ta pravilnik [19] natančneje opredeljuje bistvene zahteve za gradbene objekte, ki morajo biti, če so predpisane s predpisi o graditvi gradbenih objektov, izpolnjene ves čas njihove ekonomsko sprejemljive življenjske dobe in ki jih je treba upoštevati pri določitvi zahtevanih lastnosti gradbenih proizvodov. Te zahteve so:

- mehanska odpornost in stabilnost - gradbeni objekt mora biti projektiran in grajen tako, da obremenitve ne bodo povzročile porušitve celotnega ali dela objekta, deformacij, večjih od dopustne ravni, škode na drugih delih gradbenega objekta in škode, nastale zaradi nekega dogodka, katere obseg je nesorazmerno velik glede na osnovni vzrok,
- varnost pred požarom - gradbeni objekt mora biti projektiran in grajen tako, da se ob izbruhu požara lahko predvideva, da se bo določen čas ohranila nosilna sposobnost konstrukcije, da se omeji nastajanje in širjenje požara ter dima v objektu in omeji širjenje požara na sosednje gradbene objekte, da se osebam v gradbenem objektu omogoči, da ga zapustijo ali, da se jih reši na druge načine ter da se upošteva varnost reševalnih ekip,
- higienska in zdravstvena zaščita in varovanje okolja - gradbeni objekt mora biti projektiran in grajen tako, da ne bo ogrožal higiene ali zdravja oseb v gradbenem objektu ali sosedov, predvsem

ne zaradi uhajanja strupenih plinov, prisotnosti nevarnih delcev ali plinov v zraku, emisij nevarnega sevanja, onesnaženja ali zastrupitve vode ali tal,...

- varnost pri uporabi - gradbeni objekt mora biti projektiran in grajen tako, da pri uporabi ali obratovanju ne predstavlja nesprejemljivega tveganja za nastanek nezgod, kot so zdrs, padec, trčenje, opekline, udar električnega toka oziroma poškodbe zaradi eksplozije,
- zaščita pred hrupom - gradbeni objekt mora biti projektiran in grajen tako, da je hrup, ki ga zaznavajo osebe v gradbenem objektu ali ljudje v okolici, zmanjšan na raven, ki ne bo ogrožala njihovega zdravja in jim bo omogočala zadovoljive razmere za spanje, počitek in delo,
- varčevanje z energijo in ohranjanje toplote - gradbeni objekt ter njegove naprave za ogrevanje, hlajenje in prezračevanje morajo biti projektirani in grajeni tako, da je količina energije, potrebna pri uporabi gradbenega objekta, majhna ob upoštevanju lokalnih klimatskih razmer ter oseb v gradbenem objektu.

Z novo uredbo Evropske unije št. 305/2011 [20] z dne 9.3.2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov (poglavje 2.2.3), ki neposredno velja tudi v slovenskem pravnem prostoru, je prišlo do sprememb bistvenih oziroma osnovnih zahtev za gradbene objekte. Med drugim je bila dodana nova osnovna zahteva *Trajnostna raba naravnih virov*, ki predpisuje, da morajo biti gradbeni objekti načrtovani, grajeni in zrušeni tako, da je raba naravnih virov trajnostna in da se zagotovi predvsem:

- ponovna uporaba ali možnost recikliranja gradbenih objektov, gradbenega materiala in delov po zrušenju,
- trajnost gradbenih objektov,
- uporaba okoljsko združljivih surovin in sekundarnih materialov v gradbenih objektih.

### 2.2.2 Zakon o gradbenih proizvodih

Zakon o gradbenih proizvodih [21] ureja pogoje za dajanje gradbenih proizvodov v promet, podeljevanje tehničnih soglasij gradbenim proizvodom, izvedbo postopkov ugotavljanja in potrjevanja skladnosti s predpisanimi zahtevami, izvajanje inšpekcijskega nadzora ter izvajanje posebnih postopkov priznavanja skladnosti gradbenih proizvodov.

Ta zakon ureja dajanje v promet tistih gradbenih proizvodov, katerih lastnosti so povezane z izpolnjevanjem bistvenih zahtev za gradbene objekte, ki so:

- mehanska odpornost in stabilnost,
- varnost pred požarom,
- higienska in zdravstvena zaščita in varovanje okolja,
- varnost pri uporabi,
- zaščita pred hrupom in
- varčevanje z energijo in ohranjanje toplote.

Minister, pristojen za graditev, natančneje opredeli bistvene zahteve za gradbene objekte, ki jih je treba upoštevati pri določitvi lastnosti gradbenih proizvodov, če so predpisane s predpisi o graditvi gradbenih objektov.

Gradbeni proizvodi se smejo dati v promet samo, če ustrezajo svoji nameravani uporabi, kar pomeni, da imajo take lastnosti, da bodo gradbeni objekti, v katere so vgrajeni, če so ti pravilno projektirani in grajeni, izpolnjevali s predpisi o graditvi gradbenih objektov določene bistvene zahteve.

Gradbeni proizvod ustreza svoji nameravani uporabi in sme biti dan v promet, če je skladen:

- z ustreznimi slovenskimi nacionalnimi standardi, ki so nastali s privzemom harmoniziranih standardov,
- z evropskim tehničnim soglasjem.

Če tehničnih specifikacij iz prejšnjih alinej ni, gradbeni proizvod ustreza svoji nameravani uporabi in sme biti dan v promet, če je skladen s priznanimi nacionalnimi tehničnimi specifikacijami:

- z ustreznimi slovenskimi nacionalnimi standardi, ali
- s slovenskim tehničnim predpisom, ali
- s slovenskim tehničnim soglasjem.

Manj pomemben gradbeni proizvod da proizvajalec lahko v promet tudi na podlagi lastne izjave o usklajenosti s priznanim tehničnim pravilom. Tako izjavo proizvajalec poda na lastno odgovornost ob izpolnjevanju splošnih meril iz slovenskega nacionalnega standarda o dobaviteljevi izjavi o skladnosti.

### 2.2.3 Uredba o gradbenih proizvodih št. 305/2011

Na področju trženja gradbenih proizvodov, vključno z gradbenimi proizvodi iz gradbenih odpadkov, od 24. 4. 2011 velja nova uredba o gradbenih proizvodih - CPR [20]. CPR pokriva harmonizirano področje, ne pa tudi neharmoniziranega (npr. slovenska tehnična soglasja, nacionalni standardi), ki ga bo obravnaval nov zakon o gradbenih proizvodih - ZGPro-1, ki je trenutno v obravnavi vlade Republike Slovenije. Gradbena zakonodaja ne ločuje med izvorom materiala. Z novo uredbo celo spodbuja trajnostno rabo virov [22].

V tabeli 3 so prikazana zakonodajna področja trženja gradbenih proizvodov tako za Evropo, kot tudi za Slovenijo.

Tabela 3: Zakonodajna področja trženja gradbenih proizvodov [22]

<b>Trženje gradbenih proizvodov</b>	
EVROPA	SLOVENIJA
Harmonizirano področje	Neharmonizirano področje
Zakon o gradbenih proizvodih (ZGPro, Ur.l. RS št. 52/2000)	
6. člen po ZGPro → CE znak	7. člen (STS...)
<b>Sprememba: 1.7.2013 (obvezna uporaba vseh členov direktive o gradbenih proizvodih)</b>	
Neposredna uporaba uredbe 305/2011 → CE znak	ZGPro1 (v obravnavi)

Uredba o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/ EGS (Uredba EU št. 305/2011 ali na kratko Uredba gradbenih proizvodih - CPR) je bila objavljena v Ur. l. EU L88 4. 4. 2011. Veljati je začela 24. 4. 2011. Večina členov je pričelo veljati 1.7.2013, vendar bo izvedena dejanska vpeljava novih zahtev šele z dopolnitvijo bistvenih značilnosti proizvodov v dodatkih ZA harmoniziranih standardov za posamezne gradbene proizvode. Harmonizirano področje je področje, kjer veljajo harmonizirane tehnične specifikacije (harmonizirani evropski standardi ali evropski ocenjevalni dokumenti).

Razlogi za novo uredbo so tako politični in pravni, kot tudi tehnični. Ti so [22]:

- direktiva o gradbenih proizvodih (CPD) se je v različnih državah različno izvajala (CE znak ni bil povsod obvezen),
- manjkali so pravni temelji za nekatere rešitve (vodila Komisije, klasificiranje brez nadaljnega preskušanja, souporaba in posredovanje začetnih preskusov, ...),
- CPD se je izvajal drugače, kot je bilo zapisano (Izjave v sistemih 1 in 1+,...),
- naloge uvoznikov in distributerjev niso bile določene,
- potrebna je »liberalizacija« trga EU, poenostavitev postopkov in znižanje stroškov predvsem za mala in srednja podjetja.

## 2.3 Rušenje objekta

Odstranitev objekta je izvedba del, s katerimi se objekt odstrani, poruši ali razgradi in vzpostavi prejšnje stanje.

### 2.3.1 Načrt gospodarjenja z odpadki

O načrtu gospodarjenja z odpadki smo pisali že v poglavju 2.1.3, tukaj dodajamo le nekaj bistvenih informacij, ki jih morata poznati investitor, se pravi fizična ali pravna oseba, ki naroči gradbena dela in zbiralec gradbenih odpadkov.

#### Uredba o ravnanju z odpadki:

Načrta gospodarjenja z gradbenimi odpadki [23] ni treba priložiti k projektu za pridobitev gradbenega dovoljenja, če je investitor fizična oseba ali če ne gre za gradnjo ali rekonstrukcijo zahtevnega objekta v skladu s predpisi, ki urejajo graditev objektov, razen če je za gradnjo ali rekonstrukcijo objekta predvideno, da:

- je prostornina zemeljskega izkopa 1.000 m<sup>3</sup> ali več ali
- je zemeljski izkop tako onesnažen z nevarnimi snovmi, da bi se moral uvrstiti med nevarne gradbene odpadke v skladu s predpisom, ki ureja ravnanje z odpadki.

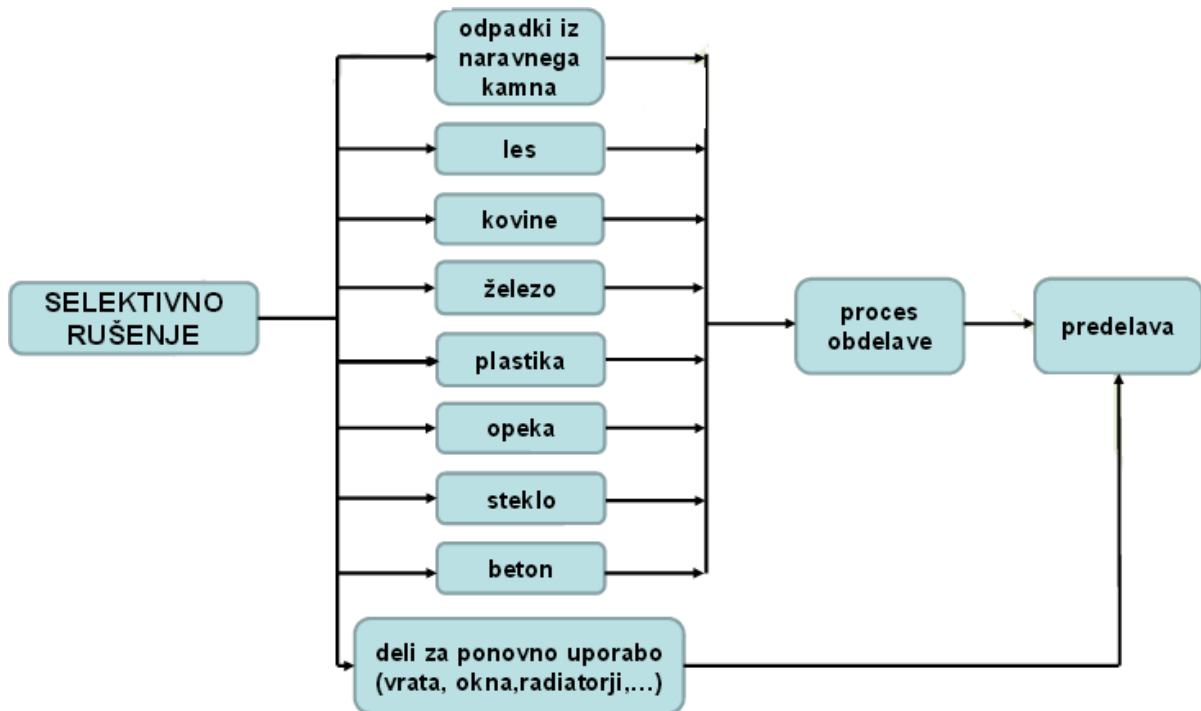
Investitor mora zagotoviti naročilo za prevzem gradbenih odpadkov pred začetkom izvajanja gradbenih del, kar dokaže z naročilom za prevzem gradbenih odpadkov ali z naročilom za obdelavo odpadkov. Investitor, ali po njegovem pooblastilu eden od izvajalcev, mora ob oddaji vsake pošiljke gradbenih odpadkov pridobiti od prevzemnika odpadkov izpolnjen evidenčni list in voditi evidenco o vrstah in količinah nastalih gradbenih odpadkov v skladu s predpisom, ki ureja ravnanje z odpadki.

19. člen Uredbe o ravnanju z odpadki [23] določa, da mora zbiralec odpadkov ministrstvu najpozneje do 31. marca tekočega leta posredovati poročilo o zbiranju odpadkov za preteklo koledarsko leto, ki vsebuje podatke o:

- nazivu, naslovu, dejavnosti in o matični številki zbiralca odpadkov,
- vrstah in količinah zbranih odpadkov,
- vrstah in količinah uvoženih odpadkov in odpadkov, pridobljenih iz držav članic EU,
- vrstah in količinah odpadkov, ki jih skladišči ob zaključku poročevalskega obdobja,
- vrstah in količinah odpadkov, oddanih v obdelavo,
- vrstah in količinah izvoženih odpadkov in odpadkov, poslanih v države članice EU.

### 2.3.2 Selektivno rušenje

Z ločevanjem materialov (slika 4) že pri samem rušenju objekta močno povečamo potencial za recikliranje, preprečimo kontaminacijo ruševin s človeku in naravi nevarnimi snovmi, ob razumnem pristopu pa tudi znižamo hrup ob rušenju, emisije delcev in stroške rušenja. Ločevanje na mestu je najbolj primerna oblika ločevanja gradbenih odpadkov.



Slika 5: Ločevanje po vrsti materiala [24]

Optimalen postopek selektivnega rušenja je sledeč [24]:

1. odstranitev pohištva in opreme,
2. identifikacija in odstranitev nevarnih materialov,
3. odstranitev stavbnega pohištva (okna, vrata,...),
4. izolacijski materiali,
5. streha,
6. rušenje skeleta stavbe,
7. po potrebi dodatno ločevanje materialov iz rušenja v ločene frakcije, (to se sicer dela sproti),
8. predelava v frakcije recikliranega agregata.

Posebno pozornost pri rušenju moramo posvetiti nevarnim odpadkom, kot so denimo gradbeni materiali z vsebnostjo azbesta [17 01 05\*]. Kadar je teh več kot 300 m<sup>2</sup>, jih lahko odstranjuje samo pooblaščen izvajalec, ki mora imeti za to okoljevarstveno dovoljenje (OVD). Seznam izvajalcev del za odstranjevanje azbestnih proizvodov je na voljo na spletnih straneh Agencije RS za okolje. V kolikor pa je manj kot 300 m<sup>2</sup>, gre za dela manjšega obsega po Pravilniku o pogojih, pod katerimi se lahko pri rekonstrukciji in odstranitvi objektov in pri vzdrževalnih delih na objektih, instalacijah in napravah odstranjujejo materiali, ki vsebujejo azbest (Ur.l. RS, št. 60/2006). Za dela manjšega obsega so podana odstopanja od zahtev. Med njimi je tudi določilo, da izvajalec ne potrebuje OVD. V vsakem primeru pa morajo biti azbestni odpadki oddani pooblaščenemu prevzemniku azbestnih odpadkov. Težava pri rušenju je v tem, da so materiale z azbestom nedvoumno sposobni identificirati le za to usposobljeni strokovnjaki z ustrezno analitsko opremo (npr. z rentgenskim difraktometrom ali vrstičnim elektronskim mikroskopom z elektronsko disperzijsko spektroskopijo). Pogosto se zato kot materiale, ki vsebujejo azbestna vlakna, odstranjuje vizualno podobne materiale. Še huje pa je, da se kot inerten odpadek obravnava material, ki vsebuje azbestna vlakna, pa po videzu ni tipičen azbestni material. Potrebno je vedeti tudi, da so lahko nevarna tudi druga vlakna podobnega reda velikosti.

Pri odstranitvi kaminov, vrat, fresk, peči, ograj, stavbnega pohištva, je potrebno upoštevati, da imajo ti elementi tudi zgodovinsko, umetniško in/ali ekonomsko vrednost. Poleg tega, da jih je mogoče ponovno uporabiti, lahko z njimi znižamo stroške rušenja. Proda jih lahko lastnik ali v skladu z dogovorom izvajalec del.



Pri odstranitvi lesa, stekla, plastike, talnih oblog, ometov, inštalacij, strešne kritine in ostrešja je potrebno biti pozoren, da se odstranijo tudi vsi materiali, ki bi utegnili zmanjšati vrednost zdrobljenih odpadkov, če niso že prej odstranjeni. Morebitne škodljive snovi je potrebno deponirati ločeno.

Ko je objekt porušen, odstranimo jeklene nosilce in lesene tramove, ki jih pred rušenjem ni bilo možno odstraniti. Beton in ojačitve lomimo s hidravličnimi škarjami ali podobnim orodjem. Ojačitve in izolacijo odstranimo običajno ročno [25].

Na sliki 6 je prikazan nabor različne opreme za strojno rušenje.



Slika 6: Stroji za selektivno rušenje [24]

### 2.3.3 Načrt ravnanja z odpadki

Zaradi varstva okolja je potrebno z vsakim odpadkom ravnati na predpisan način. Ravnanje z odpadki zajema zbiranje, prevažanje, predelavo in odstranjevanje odpadkov, vključno s kontrolo tega ravnanja in okoljevarstvenimi ukrepi po zaključku delovanja objekta ali naprave za predelavo ali odstranjevanje odpadkov.

Obvezna ravnanja z odpadki, ki nastajajo pri gradbenih delih zaradi gradnje, rekonstrukcije, adaptacije, obnove ali odstranitve, objekta določa Pravilnik o ravnanju z odpadki, ki nastajajo pri gradbenih delih (in je podan v Ur.l. RS št. 3/2003 s spremembami v Ur.l. RS št 34/2008) [26].

#### 2.3.3.1 Klasifikacija gradbenih odpadkov

V splošnem je odpadek vsaka snov ali predmet, ki ga imetnik oziroma povzročitelj ne more oziroma ne želi uporabiti sam, ge ne potrebuje, ga moti ali mu škoduje in ga zato zavrže, namerava ali mora zavreči. Praviloma nima ekonomske vrednosti, ravnanje z njim pa v večini primerov povzroča stroške.

Gradbeni odpadki so odpadki, ki nastanejo pri gradnjah, adaptacijah, rekonstrukcijah, obnovah ali odstranitvi gradbenih objektov (stavb in inženirskih objektov). Ravnanje z gradbenimi odpadki najbolj podrobno ureja Uredba o odpadkih [13]. Po Uredbi o odpadkih (Priloga 4) spadajo gradbeni odpadki v skupino 17 - Gradbeni odpadki in odpadki iz rušenja objektov, vključno z zemeljskimi izkopi z onesnaženih območij (tabela 4). Odpadki so po skupinah razvrščeni po izvoru nastanka. Vsak odpadek ima poleg imena določeno še šestmestno klasifikacijsko številko, ki je hkrati tudi oznaka odpadka. Prvo število nam pove v katero skupino odpadek spada (17), drugo podskupino (01-02), tretje pa ime odpadka. Če ima klasifikacijska številka na koncu zvezdico (\*), pomeni, da spada odpadek med nevarne odpadke.

Tabela 4: Klasifikacijski seznam gradbenih odpadkov [13]

<b>17 GRADBENI ODPADKI IN ODPADKI PRI RUŠENJU OBJEKTOV (VKLJUČNO Z IZKOPANO ZEMLJINO Z ONESNAŽENIH KRAJEV)</b>	
<b>17 01</b>	<b>Beton, opeka, ploščice in keramika</b>
17 01 01	Beton
17 01 02	Opeka
17 01 03	Ploščice in keramika
17 01 06*	Mešanice ali ločene frakcije betona, opeke, ploščic in keramike, ki vsebujejo nevarne snovi
17 01 07	Mešanice betona, opek, ploščic in keramike, ki niso navedene pod 17 01 06
<b>17 02</b>	<b>Les, steklo in plastika</b>
17 02 01	Les
17 02 02	Steklo
17 02 03	Plastika
17 02 04*	Steklo, plastika in les, ki so označeni z nevarnimi snovmi ali vsebujejo nevarne snovi
<b>17 03</b>	<b>Bitumenske mešanice, premogov katran in katranski izdelki</b>
17 03 01*	Bitumenske mešanice, ki vsebujejo premogov katran
17 03 02	Bitumenske mešanice, ki niso zajete v 17 03 01
17 03 03*	Premogov katran in katranski izdelki
<b>17 04</b>	<b>Kovine (vključno z zlitinami)</b>
17 04 01	Baker, bron in medenina

se nadaljuje...

... nadaljevanje tabele 4

17 04 02	Aluminij
17 04 03	Svinec
17 04 04	Cink
17 04 05	Železo in jeklo
17 04 06	Kositer
17 04 07	Mešane kovine
17 04 09*	Kovinski odpadki, ki so onesnaženi z nevarnimi snovmi
17 04 10*	Kabli, ki vsebujejo olja, premogov katran in druge nevarne snovi
17 04 11	Kabli, ki nosi zajeti v 17 04 10
<b>17 05</b>	<b>Zemlja, kamenje in zemeljski izkopi</b>
17 05 03*	Zemlja in kamenje, ki vsebuje nevarne snovi
17 05 04	Zemljina in kamenje, ki nista navedena pod 17 05 03
17 05 05*	Zemeljski izkopi, ki vsebujejo nevarne snovi
17 05 06	Izkopani material, ki ni naveden pod 17 05 05
17 05 07*	Tolčenec izpod železniških tirov in pragov, ki vsebujejo nevarne snovi
17 05 08	Tolčenec izpod železniških tirov in pragov, ki ni naveden pod 17 05 07
<b>17 06</b>	<b>Izolirni materiali in gradbeni materiali, ki vsebujejo azbest</b>
17 06 01*	Izolirani materiali, ki vsebujejo azbest
17 06 03*	Drugi izolirani materiali, ki jih sestavljajo ali vsebujejo nevarne snovi
17 06 04	Izolirni materiali, ki niso navedeni pod 17 06 01 in 17 06 03
17 06 05*	Gradbeni materiali, ki vsebujejo azbest
<b>17 08</b>	<b>Gradbeni materiali na osnovi gipsa</b>
17 08 01*	Gradbeni materiali na osnovi gipsa, ki so onesnaženi z nevarnimi snovmi
17 08 02	Gradbeni materiali na osnovi sadre, ki niso navedeni pod 17 08 01
<b>17 09</b>	<b>Drugi gradbeni odpadki in odpadki pri rušenju objektov</b>
17 09 01*	Gradbeni odpadki in odpadki iz rušenja objektov, ki vsebujejo živo srebro
17 09 02*	Gradbeni materiali in odpadki iz rušenja objektov, ki vsebujejo PCB (npr. tesnila, ki vsebujejo PCB, tlaki na osnovi smol, ki vsebujejo PCB, zatesnjene enote za zastekljevanje, ki vsebujejo PCB, kondenzatorji, ki vsebujejo PCB)
17 09 03*	Drugi gradbeni odpadki in odpadki iz rušenja objektov (tudi mešani odpadki), ki vsebujejo nevarne snovi
17 09 04	Mešani gradbeni odpadki in odpadki iz rušenja objektov, ki niso navedeni pod 17 09 01, 17 09 02 in 17 09 03

Klasifikacijski seznam odpadkov opredeljuje dve glavni skupini zemeljskih izkopov iz skupine 17 05 [27]:

- 17 05 04 - zemljina in kamenje, ki ne vsebujeta nevarnih snovi in
- 17 05 06 - izkopani material, ki ne vsebuje nevarnih snovi.

V praktični uporabi prihaja do napačne uporabe skupine odpadka 17 05 06 – Izkopni material, ki ne vsebuje nevarnih snovi, kar pa je posledica neustreznega prevoda Uredbe [13]. Omenjeni odpadek je v angleškem izvodu Direktive o odpadkih imenovan “Dredging spoil”, kar je izkopni material iz vodnih teles. Vse zemeljske izkope, ki niso iz vodnih teles bi bilo potrebno opredeljevati kot odpadek skupine 17 05 04, le ta pa se ne všteva v izračunavanje doseganja ciljev ponovne uporabe, recikliranja in predelave gradbenih odpadkov, ki do leta 2020 mora doseči 70% nastale skupne mase.

V nadaljevanju sta prikazani sliki (sliki 7 in 8) gradbenih odpadkov, ki spadajo pod klasifikacijsko številko 17:



Slika 7: Beton, opeka, ploščice - klasifikacijska oznaka 17 01 07  
(vir: foto arhiv ZAG)



Slika 8: Les s klasifikacijsko oznako 17 02 01  
(vir: foto arhiv ZAG)

### 2.3.3.2 Ločeno zbiranje gradbenih odpadkov

Investitor, torej oseba, ki naroči graditev objekta ali pa graditev sam izvaja, mora zagotoviti, da izvajalec gradbenih del na gradbišču hrani ali začasno skladišči odpadke, ki nastajajo pri gradbenih delih, ločeno po vrstah gradbenih odpadkov. Prav tako mora zagotoviti, da gradbeni odpadki ne onesnažujejo okolja. Zagotoviti mora tudi, da izvajalci gradbenih del gradbene odpadke oddajo zbiralcu gradbenih odpadkov. Investitor lahko sam zagotovi predelavo ali odstranjevanje gradbenih odpadkov tako, da zagotovi oddajo gradbenih odpadkov neposredno predelovalcu ali odstranjevalcu odpadkov. Investitor mora za celotno gradbišče pooblastiti enega od izvajalcev del, ki bo v njegovem imenu oddajal gradbene odpadke zbiralcu, predelovalcu ali odstranjevalcu gradbenih odpadkov in ob oddaji vsake pošiljke odpadkov izpolnil evidenčni list [28].

### 2.3.3.3 Predelava gradbenih odpadkov

Predelavo gradbenih odpadkov lahko izvajajo le osebe, ki imajo okoljevarstveno dovoljenje za obratovanje naprave za predelavo odpadkov. Okoljevarstveno dovoljenje se izda skladno z 82. členom Zakona o varstvu okolja [12]. Oseba, ki si želi pridobiti okoljevarstveno dovoljenje za obratovanje naprave za predelavo gradbenih odpadkov, mora izpolnjevati pogoje po predpisih, ki urejajo ravnanje z odpadki in pod pogoji, kot jih določa Zakon o varstvu okolja v 83. člen - splošne zahteve in vloga za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja in 84. člen - izdaja in vsebina okoljevarstvenega dovoljenja. Če je predelovalec gradbenih odpadkov hkrati tudi zbiralec gradbenih odpadkov, se v okoljevarstvenemu dovoljenju za predelavo ugotovi tudi izpolnjevanje pogojev za zbiranje gradbenih odpadkov. Ažuriran seznam oseb, ki ravnaajo z odpadki je na voljo na spletnih straneh Agencije RS za okolje [29].

V klasifikacijskem seznamu, ki je podan v tabeli 5 se za predelavo uporablja oznaka (R), za odstranjevanje pa (D) oziroma (R/D), kar je razvidno iz Priloge II A in II B k Direktivi 75/442/EEC [30]. Najpogosteje uporabljeni postopki predelave odpadkov so klasificirani pod R1, R3, R4, R5 in R10, za odstranjevanje pa D1, D10 in D12.

Tabela 5: Klasifikacijski seznam za predelavo in odstranjevanje odpadkov [30]

<b>Dejavnost obdelave odpadkov</b>	<b>oznaka R/D 96/350/ES</b>
Uporaba odpadkov predvsem kot gorivo ali druga sredstva za pridobivanje energije	R1
Pridobivanje topil/regeneracija	R2
Recikliranje/pridobivanje organskih snovi	R3
Recikliranje/pridobivanje kovin in njihovih spojin	R4
Recikliranje/pridobivanje drugih anorganskih materialov (razen kovin in njihovih spojin, zajetih v postopkih predelave (in sicer R4))	R5
Regeneracija kislin in baz	R6
Predelava sestavin, ki se uporabljajo za zmanjševanje onesnaževanja	R7
Predelava sestavin iz katalizatorjev	R8
Ponovno rafiniranje olja ali druge uporabe olja	R9
Vnos v ali na tla v korist kmetijstvu ali za ekološko izboljšanje stanja tal	R10
Izmenjava odpadkov za predelavo z nekaterimi postopki predelave (naštetimi pod R1–R11)	R12
Skladiščenje odpadkov do izvajanja nekaterih postopkov predelave, naštetih pod R1–R12 (razen začasnega skladiščenja, do zbiranja, na kraju nastanka odpadkov)	R13
Odlaganje v ali na zemljo	D1
Biološka obdelava, ki ni določena drugje v Prilogi II k Odločbi Komisije 96/350/ES in pri kateri nastanejo končne spojine ali mešanice, ki se odstranjujejo z nekaterimi postopki odstranjevanja (naštetimi pod D1–D12).	D8
Fizikalno-kemična obdelava, ki ni določena drugje v Prilogi II k Odločbi Komisije 96/350/ES in pri kateri nastanejo končne spojine ali mešanice, ki se odstranjujejo z nekaterimi postopki odstranjevanja, naštetimi pod D1–D12 (npr. izparevanje, sušenje, kalcinacija ipd.)	D9
Sežiganje na kopnem	D10
Trajno skladiščenje	D12
Spajanje ali mešanje pred izvajanjem nekaterih postopkov odstranjevanja (naštetih pod D1–D12)	D13
Ponovno pakiranje pred izvajanjem nekaterih postopkov odstranjevanja (naštetih pod D1–D12)	D14
Skladiščenje do izvajanja enega od postopkov odstranjevanja, naštetih pod D1–D12 (razen začasnega skladiščenja, do zbiranja, na kraju nastanka odpadkov)	D15

Glede na lokacijo predelave poznamo dve vrsti predelave: a) predelava v obratu in b) in-situ predelava z mobilnim drobilcem. Najpomembnejše dejstvo pa je, da s predelavo gradbenih odpadkov pridemo že do gradbenega proizvoda, npr. recikliranega agregata, kar pomeni da moramo poleg okoljske zakonodaje slediti še gradbeni zakonodaji. Recikliran agregat je enakovreden naravnemu agregatu, če je ob rušenju stavbe material pravilno selekcioniran in pravilno predelan v agregat [31].

#### 2.3.3.4 Ponovna uporaba gradbenih odpadkov v gradbeništvu - gradbeni proizvodi iz recikliranih odpadkov

Zakon o gradbenih proizvodih [32] govori o tem, da je gradbeni proizvod vsak proizvod, ki je na trajen način vgrajen v objekt. Izvor proizvoda (ali gre za proizvod iz naravnih ali recikliranih virov) pri tem ni pomemben, pomembne so njegove lastnosti. V Sloveniji poznamo 8 harmoniziranih standardov za agregate, ki so po izvoru lahko naravni, umetni (agregat iz industrijskih procesov) ali reciklirani (agregat, nastal z recikliranjem gradbenih ruševin). Standardi ne podajajo zahtev za



agregate, predpisujejo pa preiskave, ki omogočajo pridobivanje informacij o tem, kakšen je določen proizvod. Na splošno lahko rečemo, da mora biti agregat:

- odporen na atmosferske vplive in antropogeno onesnaževanje,
- odporen proti mehanskim obremenitvam in da mora imeti,
- ustrezno zrnavost, ki mu zagotavlja dobre nosilne in filtrne lastnosti.

Pred uporabo agregata za nameravano rabo je potrebno potrditi njegovo skladnost. Za agregate sta predpisana dva sistema potrjevanja skladnosti [31]: sistem 2+, kadar so zahteve za varnost visoke in sistem 4, kadar so zahteve za varnost nizke. V okviru sistema 2+ mora proizvajalec pripraviti Poslovnik kakovosti, izvesti začetni preskus proizvoda in redno, s predpisano frekvenco, izvajati kontrolo proizvodnje. Na osnovi EC certifikata kontrole proizvodnje, ki mu ga podeli pooblaščen inštitucija, ima pravico in obvezo, da izda Izjavo o lastnostih in Oznako CE. V okviru sistema 4 lahko vse naloge v zvezi z dajanjem proizvoda na trg opraviti proizvajalec sam, torej izvede začetni preskus proizvoda, izvaja tekočo kontrolo proizvoda in izda Izjavo o skladnosti in Oznako CE. Oznaka CE je informacija o tem, kakšne so lastnosti proizvoda, ne pomeni pa dokaza, da agregat ustreza določenemu namenu uporabe.

V praksi so reciklirani agregati večinoma zelo heterogeni po sestavi. Na kakovost agregata najbolj vpliva način rušenja oziroma stopnja selektivnega rušenja.

Možnosti uporabe recikliranega agregata so številne, praktično za vsak tip agregata se najde ustrezno področje za aplikacijo. Dejstvo je, da se ga trenutno (zaradi nizke stopnje selekcije in s tem nizke kakovosti) največ uporabi za zasipe in nenosilne, dinamično neobremenjene nasipe, kjer so zahteve za varnost nizke. Če je stopnja selekcije boljša in je agregat višje kakovosti, ga lahko uporabljamo tudi v betonih in nevezanih in hidravlično vezanih plasteh v cestogradnji (slika 9).



Slika 9: Recikliran betonski agregat kot nosilna plast v cestni konstrukciji  
(vir: foto arhiv ZAG)

Agregati, ki so kakovostno reciklirani, imajo različne možnosti nadaljnje uporabe kot sekundarna surovina, predvsem je njihova uporabnost velika v cestogradnji, npr. za nevezane plasti v cestogradnji, za nasipe, zasipe, utrditev in izboljšanje nosilnosti tal (tabela 6 in tabela 7).

Tabela 6: Možnosti ponovne uporabe materialov v nevoziških konstrukcijah [33]

Skupine materialov		Področje ponovne uporabe materiala					
		A	B	C1	C2	D1	D2
		Protihrupni nasipi	Nevezane vozne površine in poti	Nasipi	Zasipi in prekritja	Zasipi jarkov	Utrditve in izboljševanje tal
1	Asfaltne zmesi	X	X	O	O	O	O
2	Cementni beton	X	X	X	X	X	X
3	Ostali hidravlično vezani materiali	X	X	X	X	X	X
4	Naravni kamen, drobljenec	X	X	X	X	X	X
5	Prod, pesek	X	X	X	X	X	X
6	Ostali kamniti materiali	X	O	X	O	O	O
7	Opeka, zidaki	X	X	X	O	X	X

Tabela 7: Možnosti ponovne uporabe materialov v voziških konstrukcijah [33]

Skupine materialov		Področje ponovne uporabe materiala				
		E	F	G1	G2	H
		Nevezane nosilne plasti	Vezane nosilne plasti s hidravličnim vezivom	Vezane nosilne plasti z bitumenskim vezivom	Asfaltne obrabne plasti	Cementno betonske krovne plasti
Voziška konstrukcija						
1	Asfaltne zmesi	O	O	X	X	O*
2	Cementni beton	X	X	O		X
3	Ostali hidravlično vezani materiali	X	X	O		X
4	Naravni kamen, drobljenec	X	X	X	X	X
5	Prod, pesek	X	X	X	O	X
6	Ostali kamniti materiali					
7	Opeka, zidaki	O	O	O		O

Legenda, kjer je:

X - material uporaben,

O - material pogojno uporaben,

O\* - material pogojno uporaben v omenjenem deležu.

V zadnjem času je uporaba alternativnih agregatov (reciklirani in umetni agregat) vedno bolj aktualna. Eno od aktualnih področij je uporaba teh agregatov v zelenih betonih. Že samo ime »zeleni« beton kaže na zmanjšanje porabe energije, varstvo okolja, nadzor in uporabo sekundarnih surovin in reciklabilnost po izteku življenjske dobe.

»Zelena zgradba« mora izpolnjevati tri osnovne pogoje. Ti pogoji so [31]:

- da zagotovi zmanjšanje porabe energije,
- da bo zgrajena z materiali, ki se lahko reciklirajo,
- da bo v skladu z okolico in naravo.

V zelenih betonih alternativni materiali lahko nadomeščajo del ali celotno količino naravnega agregata ali cementa. Kot nadomestilo za naravni agregat lahko nastopajo reciklirani ali umetni agregati. Kot nadomestilo za cement se lahko uporabijo nekatera druga veziva, zlasti tista na bazi odpadkov, ki imajo hidravlične ali pucolanske lastnosti (EF pepel, lesni pepeli, nekateri tipi žlinder). Možna je tudi kombinacija obeh, alternativnega agregata in veziva. Glavna zahteva je, da ima zeleni beton vsaj enako funkcionalnost in trajnost kot običajni beton.

## 2.4 Osnovne sestavine za izdelavo betonov

### 2.4.1 Splošno o betonu

Surovine za beton so vezivo (najpogosteje portlandski cement), grobi in drobni agregat, voda in običajno tudi mineralni in kemijski dodatki. Primer sestave betona, izražene v odstotkih glede na enoto prostornine betona normalne gostote, je sledeč [34]:

- 15% cementa,
- 21% vode,
- 3% zraka,
- 30% drobnega agregata in
- 31% grobega agregata.

Vodocementno razmerje ( $v/c$ ) je parameter, ki pomembno vpliva na lastnosti betona ter je masno razmerje med količino vode in veziva. Zmanjšanje količine vode oziroma zmanjšanje vodocementnega razmerja praviloma izboljša lastnosti betona. Ob tem se [34]:

- zvišajo mehanske lastnosti, zlasti trdnost,
- zviša vodoneprepustnost,
- zviša odpornost na vremenske vplive in agresivnost okolja,
- doseže boljše prijemljivost med plastmi betona ter betonom in armaturo,
- zmanjšajo prostorninske spremembe pri sušenju in vlaženju in
- zniža število in velikost razpok med krčenjem.

Velikost vodocementnega razmerja je obratno sorazmerna kakovosti betona.

Dodatki, ki jih dodajamo v beton, vplivajo na:

- zmanjšanje potrebe po vodi,
- izboljšanje obdelovalnosti betona,
- časovni potek vezanja in strjevanja betona,
- odpornost na zmrzovanje in
- reguliranje ostalih lastnosti betona.

Po teži delimo betone na:

- lahke betone,
- normalno težke betone in
- težke betone.

Poleg običajnih betonov poznamo še [34]:

- konstrukcijske betone nizke gostote in običajne trdnosti,
- konstrukcijske betone nizke gostote in nizke ter srednje trdnosti,
- konstrukcijske betone visoke gostote,
- konstrukcijske betone visoke trdnosti,
- konstrukcijske betone zgodnje visoke trdnosti,
- masivne betone,
- prepaktirane betone,
- valjane betone,
- zemljo-cementne betone,
- brizgane betone,



- betone s kompenziranim krčenjem,
- porozne betone,
- bele in obarvane betone,
- s polimeri modificirane betone in
- mikroarmirane betone.

Za vsako vrsto betona so predpisane posamezne zahteve glede kakovosti betona, ki jih moramo ob pripravi betona upoštevati. Te so [34]:

- razred tlačne trdnosti betona,
- modul elastičnosti betona,
- odpornost proti zmrzovanju/tajanju (brez in v prisotnosti talilnih soli),
- odpornost proti atmosferskim vplivom,
- odpornost proti obrabi, idr.

#### **2.4.2 Cement**

Cement je hidravlično vezivo, ki začne vezati, ko pride v stik z vodo. Zaradi procesa vezanja in strjevanja iz cementne paste nastane trd cementni kamen, ki prenaša visoke tlačne obremenitve in je zato zelo dober gradbeni material. Najpomembnejši področji uporabe cementa sta proizvodnja malte in betona, kjer sta uporabljena kot vezivo naravnih, recikliranih ali umetnih agregatov, ki skupaj ustvarijo nosilen in obstojen gradbeni material.

Osnovni vhodni surovini za pridobivanje cementa sta apnenec in glina ali njuna naravna kombinacija, lapor. Ti se po izkopu drobijo in transportirajo v silose. Po kemijski analizi surovine se tej po potrebi doda manjkajoče komponente. Sledi mletje surovin v surovinsko moko, ki se žge v rotacijski peči do temperature sintranja pri okrog 1500 °C. Z žganjem nastane portland - cementni klinker, ki se nato kontrolirano ohlaja in melje v prah ob dodatku od 3 do 5 % sadre. Nastane cement, ki je znan pod imenom čisti portlandski cement ali CEM I. Za različne namene uporabe se portland - cementnemu klinkerju lahko dodajo mineralni dodatki, kot so granulirana plavžna žlindra, EF pepel, naravni pucolani, itd [34].

Na lastnosti cementa vplivajo primarna surovina, pogoji v peči, hitrost ohlajanja, kemična in mineraloška sestava, velikost in morfologija zrn klinkerja in finost mletja. Na obnašanje cementnega kamna pa vplivajo naslednje lastnosti, ki jih določamo za vsako vrsto cementa: mineralna in kemijska sestava cementa, zrnavost, voda za standardno konsistenco, hidratacijska toplota, krčenje, stabilnost prostornine, tečenje in mehanska trdnost cementa.

#### **2.4.3 Voda**

Za izdelavo mešanic s cementnim vezivom se lahko brez dodatnih preiskav uporabi vsaka pitna voda iz vodovoda. Voda drugega izvora pa mora biti pred uporabo preiskana in preiskave morajo dokazati njeno neškodljivost za kakovost strjenega cementnega kamna. Zahteve navaja standard SIST EN 1008:2003 Voda za pripravo betona - Zahteve za vzorčenje, preskušanje in ugotavljanje primernosti vode za pripravo betona, vključno vode, pridobljene iz procesov v industriji betona.

#### 2.4.4 Agregat

Mineralni agregat zavzema največji delež prostornine betona, ki se giblje od 60 - 80 % prostornine betona. Glede na izvor ga delimo na agregat iz gramoznic in na agregat iz kamnolomov. Prvi je aluvialnega izvora, ima pretežno zaobljene robove in je po mineraloški sestavi lahko zelo heterogen (npr. prod iz porečij Mure in Drave). Agregat iz kamnolomov je ostrorob, s hrapavo površino, v Sloveniji po sestavi skoraj izključno apnenec in dolomit. V primerih, ko so za določene namene uporabe zahtevane specifične lastnosti, ki jih lahko dosežajo samo najbolj kakovostni agregati (npr. odpornost proti zaglajevanju in odpornost proti drobljenju), se za te namene uporabljajo naravni agregati eruptivnega izvora ali jeklarska žindra iz elektroobločnih peči [34].

Prostorninska masa naravnih mineralnih agregatov, ki se uporabljajo v betonu, običajno znaša od 2500 kg/m<sup>3</sup> do 3000 kg/m<sup>3</sup>. Agregat iz jeklarske žindre pa ima gostoto do 3500 kg/m<sup>3</sup>.

Tlačna trdnost agregata je eden od dejavnikov, s katerim lahko vplivamo na trdnost betona. Pri vseh betonih pa ima lahko na trdnost bistven vpliv kvaliteta stika med agregatom in cementno matrico, če stik predstavlja najšibkejši del strukture betona.

Zrnavostna sestava agregata nam pove, kako veliko je največje zrno v agregatu in kakšni so deleži zrn posameznih velikostnih razredov, ki jim pravimo frakcije. Agregat ima ustrezno zrnavost, če je zrnavostna krivulja enakomerna, kar pomeni, da so vse frakcije zastopane v uravnoteženem razmerju. V tem primeru agregat dobro zapolnjuje celoten prostor v betonu in onemogoča segregacijo betonske mešanice. Standard SIST 1026:2008 podaja mejne zrnavostne krivulje v odvisnosti od največjega zrna agregata, med katerimi naj poteka zrnavostna krivulja agregata za pripravo betona.

#### 2.4.5 Kemijski dodatki k betonu

Uporaba kemijskih dodatkov je v današnjem času relativno velika in za določene sestave betona tudi nujno potrebna. Poglavitni namen dodatkov je v doseganju zahtevanih reoloških lastnosti mešanic ali spremembi poteka vezanja in strjevanja betona, to pa ima posledično vpliv tudi na končne lastnosti betona. Kemijski dodatki za betone se uporabljajo za nearmirani, armirani in prednapeti beton. Med pripravo betona jih dodajamo v količini, ki običajno ni večja od 5 % mase cementa v betonski mešanici. Uporabljamo jih pri pripravi betona na gradbišču, za transportni beton in za beton, namenjen predizdelanim betonskim elementom. Uporaba kemijskih dodatkov je upravičena z lažjim in hitrejšim vgrajevanjem, prihrankom energije, visoko kakovostjo betonov in s tem tudi z večjo trajnostjo betonskih konstrukcij [35].

Poznamo več vrst kemijskih dodatkov [35]:

- plastifikator - WR,
- superplastifikator - HRWR,
- zadrževalec vode - WRA,
- aerant - AEA,
- pospešilo vezanja - SAA,
- pospešilo strjevanja - HAA,
- gostilo - WrA.

### 3 EKSPERIMENTALNI DEL

#### 3.1 Materiali in metode

##### 3.1.1 Material - opeka s področja stare Cinkarne Celje

###### 3.1.1.1 Odvzem vzorca

Dne 16. 4. 2013 smo odvzeli okoli 400 kg (dva polna zaboja, kar je prikazano na sliki 12) vzorca odpadne opeke iz območja stare Cinkarne Celje. Odvzeta je bila z območja, prikazanega na sliki 13. Predpostavljamo, da gre za opeko, ki je bila del konstrukcije stare Cinkarne Celje.



Slika 10: Območje odvzema vzorcev



Slika 11: Kup gradbenih odpadkov na območju stare Cinkarne



Slika 12: Vzorec nabrane opeke



Slika 13: Zemljevid območja odvzema vzorca  
(vir: <https://maps.google.com/>)

### 3.1.1.2 Priprava vzorca in drobljenje na frakcije

Vzorec opeke, pripeljane z območja stare Cinkarne Celje (slika 14), smo v Laboratoriju za betone, kamen in reciklirane materiale ZAG z laboratorijskim drobilcem zdrobili v frakcijo 0/16 mm (slika 15), na katerem smo opravili laboratorijske preiskave. Privzeli smo, da je postopek drobljenja z laboratorijskim drobilcem podoben potencialni predelavi (recikliranju) opeke in proizvodnji recikliranega agregata v predelovalnem obratu.



Slika 14: Opeka, nabrana na območju stare Cinkarne Celje



Slika 15: Recikliran agregat iz opeke, pripravljen za laboratorijske analize

### 3.1.2 Laboratorijske analize

Laboratorijske analize so bile opravljene na Zavodu za gradbeništvo Slovenije, v Laboratoriju za betone, kamen in reciklirane materiale. Kemične analize izlužka iz recikliranega agregata in kemične analize izlužka iz betonov so bile opravljene deloma na Institutu Jožef Stefan, na Odseku za znanosti o okolju, deloma na Zavodu za zdravstveno varstvo v Novem mestu.

#### 3.1.2.1 Preiskave recikliranega agregata

##### 3.1.2.1.1 Priprava in kemična analiza izlužka

Izlužek iz recikliranega agregata iz opeke je bil pripravljen po standardu SIST EN 1744-3: Preskusi kemičnih lastnosti agregatov - 3. del: Priprava izlužkov agregatov. Določena je bila vsebnost cinka (Zn), kadmija (Cd), svineca (Pb), molibdena (Mo), sulfatov ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) in pH vrednost. Ker slovenska zakonodaja ne predpisuje kriterijev za inertnost gradbenega proizvoda, smo uporabili mejne vrednosti parametrov izlužka za inertne odpadke (tabela 8), kot jih določa Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih [36].

Tabela 8: Mejne vrednosti parametrov izlužka inertnih odpadkov [36]

Parameter	Mejna vrednost parametra izlužka
<b>Kadmij</b> (Cd)	0,04 mg/kg s.s
<b>Molibden</b> (Mo)	0,5 mg/kg s.s
<b>Svinec</b> (Pb)	0,5 mg/kg s.s
<b>Cink</b> (Zn)	4 mg/kg s.s
<b>Sulfati</b> ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	1000 mg/kg s.s

### 3.1.2.1.2 Določevanje zrnivosti agregata s sejanjem

Zrnavostno sestavo agregata smo določali s sejalno analizo po standardu SIST EN 933-1. Reciklirani agregat smo presejali skozi standardna sita različnih velikosti odprtin (slika 16). Uporabljen je bil naslednji stavek sit: 16 mm, 11,2 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm in 0,063 mm. Vzorec je bil predhodno sušen v ventilacijskem sušilniku na temperaturi  $110 \pm 5$  °C do konstantne mase.



Slika 16: Naprava za sejalno analizo s siti različne velikosti

Izbira sistema sit, v katerem je najvišje sito z največjo odprtino, najnižje pa sito z najmanjšo odprtino, je na splošno odvisna od velikosti zrn. Preskusni vzorec dobimo iz laboratorijskega vzorca v skladu s standardom SIST EN 932-2, ki podaja zahteve za laboratorijsko zmanjševanje vzorca. Najmanjša masa preskusnega vzorca je odvisna od največjega zrna agregata, kar je prikazano v tabeli 9. Pri sejalni analizi mora biti vzorec agregata suh in predhodno opran, razen če ne vsebuje snovi, ki bi ob stiku z vodo lahko reagirale in bi se s tem zrnivost vzorca spremenila. Rezultati predstavljajo ostanek na posameznem situ, ki jih nato pretvorimo v kumulativni presevek na posameznem situ. Rezultat sejalne analize je preglednejši v grafični obliki, ki jo imenujemo zrnavostna krivulja (slika 17), iz katere lahko na prvi pogled ocenimo, ali agregat odgovarja določenih zahtevam. Priporočene mejne krivulje zrnivosti za mešanico agregata 0/16 mm po SIST 1026 so podane v tabeli 10.

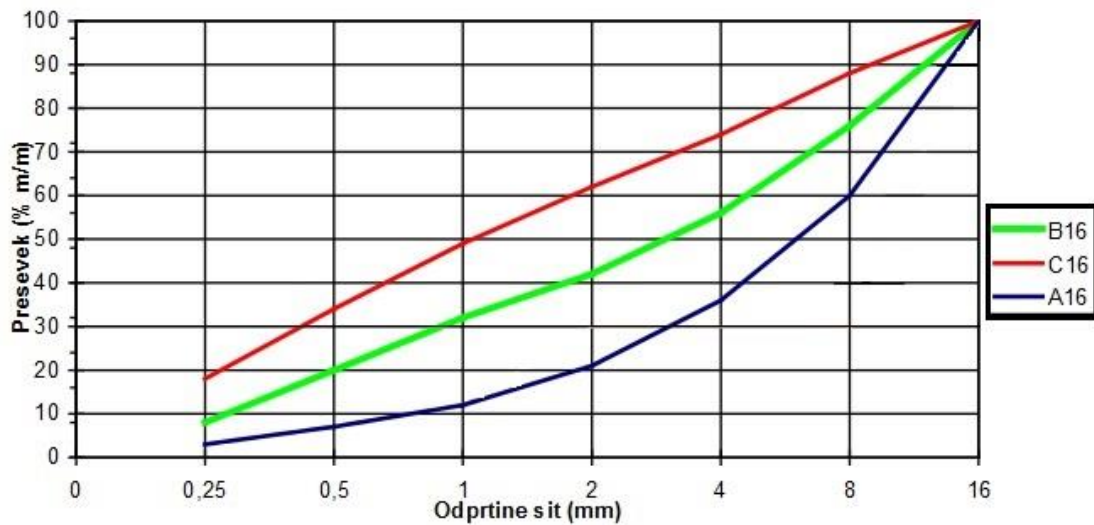
Tabela 9: Najmanjša velikost vzorca za sejalno analizo v skladu s SIST EN 933 - 1

Maksimalna velikost zrna agregata D mm	Najmanjša masa preskusnega vzorca kg
90	80
32	10
16	2,6
8	0,6
$\leq 4$	0,2

Tabela 10: Priporočene mejne krivulje zrnivosti za mešanico agregata 0/16 mm po SIST 1026

Mejne krivulje	Presevky (%) skozi sita (mm)						
	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0
D <sub>16</sub>	3	(7)	12	30	30	30	100
A <sub>16</sub>	3	(7)	12	21	36	60	100
B <sub>16</sub>	8	(20)	32	42	56	76	100





Slika 17: Priporočene mejne krivulje zrnivosti za mešanico agregata 0/16 mm po SIST 1026

Dobljena krivulja se mora nahajati v območju priporočenih mejnih krivulj zrnivosti določenih s standardom SIST 1026 (slika 17). Če krivulja obravnavanega agregata poteka nad mejno krivuljo C in pod mejno krivuljo A pomeni, da izbran agregat ni primeren za izdelavo betona in ga je potrebno popraviti z dodajanjem določenih frakcij. Če zrnovostna krivulja obravnavanega agregata poteka med mejnima krivuljama A in C so potrebne preiskave, s katerimi dokažemo ustrezno kakovost betona. Optimalna zrnovostna sestava za samozgoščevalne betone je sestava blizu standardne mejne zrnovostne krivulje B.

#### Opis postopka in izračuna (SIST EN 933-1):

Oprani in sušeni vzorec mase 2023g smo prenesli v sejalni stolp (zaporedje sit), postavljen na stresalnik. Po 10 minutah sejanja smo na vsakem situ dokončali sejanje ročno (sliki 18 in 19). Zrna, ki so šla skozi posamezno sito, smo zbrali in dali na naslednje manjše sito. Sejanje je bilo končano, ko prehod mase skozi sito po eni minuti sejanja ni bil večji kot 1 mas %.

Vzorcem, ki so ostali na posameznem situ, smo določili maso in jih označili kot  $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ . Maso materiala v podstavku pod sitom 0,063 mm smo označili s črko  $P$ .

Za posamezne mase ostankov na sitih  $R_1, R_2, R_3, R_n$ , smo izračunali delež mase v odstotkih glede na skupno zatehto vzorca  $M_1$  po enačbi (1):

$$\frac{R_i}{M_1} * 100 \quad (1)$$

kjer je:

$R_i$  - masa ostanka na situ (g),

$M_1$  - skupna zatehta vzorca (g).

Izračunali smo odstotno kumulativo za vsako sito, razen za sito 0,063 mm in rezultat zaokrožili na najbližjo celo število. Odstotek finih delcev pod 0,063 mm ( $f$ ) in izgubo materiala - suho sejanje ( $g$ ) smo izračunali po enačbi (2) oziroma po enačbi (3):

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} * 100 \quad (2)$$

$$g = \frac{M_2 - (\sum R_i + P)}{M_2} * 100 \quad (3)$$

kjer je:

$f$  - odstotek finih delcev (na eno decimalno natančno),

$g$  - izguba materiala - suho sejanje,

$R_i$  - masa ostanka na situ (g),

$M_1$  - suha zatehta (kg),

$M_2$  - suhi ostanek na situ 0,063 mm (kg),

$P$  - masa materiala v podstavku sit (kg).



Slika 18: Siti 11,2 mm in 8,0 mm

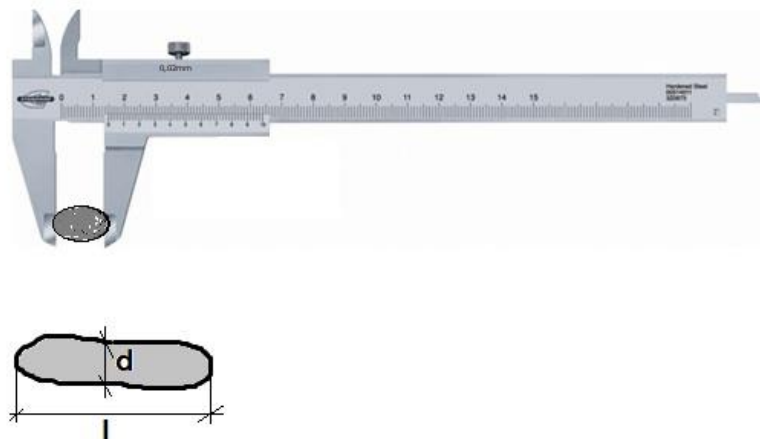


Slika 19: Sito 8,0 mm

### 3.1.2.1.3 Določevanje oblike zrn agregata - modul oblike

Modul oblike (obliko zrn agregata) smo določili po standardu SIST EN 933-4. Zrna agregata smo razvrstili na izometrična zrna in zrna neugodne oblike s pomočjo kljunastega merila (slika 20). Zrna izometrične oblike so zrna, pri katerih je razmerje med največjo in najmanjšo dimenzijo manjše od 3:1, ostalo so zrna neugodne oblike. Metoda je se uporablja za zrna velikosti od 4 mm do 63 mm.

Po standardu SIST EN 932-2 smo vzorec zmanjšali na zahtevano maso, ki je glede na  $D=16$  mm znašala najmanj 1 kg. Vzorec smo posušili do stalne mase pri temperaturi  $110 \pm 5$  °C. Nato smo ga ohladili in pri vsakem zrnju izmerili njegovo največjo dimenzijo  $l$  in njegovo najmanjšo dimenzijo  $d$ . Določili smo maso zrn izometrične oblike  $M_1$  in maso zrn ploščate oblike  $M_2$ .



Slika 20: Kljunasto merilo

Izometrična oblika:  $l:d \leq 3:1$

Zrna neugodne oblike:  $l:d > 3:1$

Modul oblike  $SI$  v % smo izračunali s pomočjo enačbe (4).

$$SI = \frac{M_1}{M_1 + M_2} * 100 \quad (4)$$

kjer je:

$SI$  - modul oblike,

$M_1$  - masa zrn ploščate oblike (g),

$M_2$  - masa zrn izometrične oblike (g).

#### 3.1.2.1.4 Določevanje prostorninske mase in vpijanja vode

##### 3.1.2.1.4.1 Piknometriška metoda za agregat med 4 mm in 31,5 mm

Prostorninsko maso smo izračunali kot razmerje med maso in volumnom vzorca po standardu SIST EN 1097-6 s piknometriško metodo. Maso smo določili s tehtanjem testnega vzorca v nasičenem in površinsko suhem stanju ter na suhem vzorcu. Testni vzorec smo oprali na situ 31,5 mm in 4 mm in odstranili fine delce.

Zmanjševanje vzorca agregata je bilo izvedeno po SIST EN 932-2, pri čemer smo minimalno zatehto testnega vzorca določili v skladu s tabelo 11.



Slika 21: Piknometar z vzorcem in vodo

Tabela 11: Minimalna zatehta testnega vzorca

Največje zrno agregata (mm)	Minimalna masa testnega vzorca (kg)
31,5	5
16	2
8	1
Za druge velikosti se minimalna zahteva dobi z interpolacijo mas v tabeli 11	



Opis postopka in izračuna:

Testni vzorec smo potopili v piknomet (slika 21) z vodo s temperaturo  $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$ . Odstranili smo zračne mehurčke z nežnim vrtenjem in tresenjem piknometra v nagnjenem položaju. Piknomet z vzorcem smo nato za  $24 \pm 0,5$  ure postavili v vodno kopel pri temperaturi  $22 \pm 3 ^\circ\text{C}$ . Po 24 urah smo piknomet vzeli iz vodne kopeli in odstranili mehurčke zraka z nežnim vrtenjem in tresenjem. Piknomet smo dopolnili z vodo in nanj namestili nastavek z oznako na kapilarni cevi. Piknomet z vzorcem in vodo do oznake na piknometru smo obrisali in stekali ( $M_2$ ). Zabeležili smo tudi temperaturo vode. Agregat smo odstranili iz vode in ga pustili nekaj minut, da se odcedi. Piknomet smo nato napolnili z vodo in določili maso piknometra z vodo do oznake na piknometru ( $M_3$ ). Zabeležili smo tudi temperaturo vode. Agregat smo previdno osušili z več krpami (sliki 22 in 23), da smo odstranili vidno plast vode, vendar pa je agregat navzven še vedno deloval vlažen. Vzorec smo dali v pladenj in ga stekali ( $M_1$ ). Nato smo vzorec posušili v sušilniku pri temperaturi  $110 \pm 5 ^\circ\text{C}$  do konstantne mase ( $M_4$ ). Celoten postopek določanja prostorninske mase in vpijanja vode je prikazan na slikah 24-29.



Slika 22: Mokri reciklirani agregat



Slika 23: Površinsko osušeni reciklirani agregat

- Navidezno prostorninsko maso zrn  $\rho_a$  smo izračunali po enačbi (5) in jo podali v megagramih na kubični meter ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ ):

$$\rho_a = \frac{M_4 * \rho_w}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad (5)$$

- Prostorninsko maso suhega vzorca  $\rho_{rd}$  smo izračunali po enačbi (6) in jo podali v megagramih na kubični meter ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ ):

$$\rho_{rd} = \frac{M_4 * \rho_w}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (6)$$

- Prostorninsko maso nasičenega površinsko suhega vzorca  $\rho_{ssd}$  smo izračunali po enačbi (7) in jo podali v megagramih na kubični meter ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ ):

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1 * \rho_w}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (7)$$

- Vpijanje vode  $WA_{24}$  smo izračunali po enačbi (8) in jo podali v odstotkih (%):

$$WA_{24} = \frac{100 * (M_1 - M_4)}{M_4} \quad (8)$$

V enačbah (5-8) je:

$M_1$  - masa z vodo nasičenega, površinsko suhega vzorca (g),

$M_2$  - masa piknometra, z vodo nasičenega agregata in vode do oznake na piknometru (g),

$M_3$  - masa piknometra, napolnjenega z vodo do oznake na piknometru (g),

$M_4$  - masa suhega vzorca (g),

$\rho_w$  - gostota vode, v megagramih na kubični meter.



Slika 24: Preiskovan vzorec za prostorninsko maso



Slika 25: Sušenje vzorca



Slika 26: Nalivanje vode v piknometar



Slika 27: Preskus vpivanja vode pri metodi za preverjanje površinsko suhega z vodo zasičenega stanja za frakcijo 0,063/4 mm

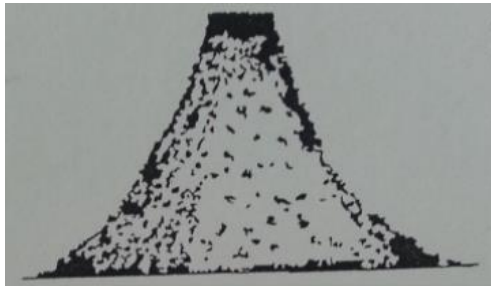


Slika 28: Vlažen agregat 0,063/4 mm, ki ohranja skoraj popolno obliko kovinskega kalupa



Slika 29: Skoraj suh agregat 0,063/4 mm z zaobljenim vrhom nasipnega stožca in krivuljasto obrobo površine

Na slikah 30-33 so shematsko prikazane oblike stožca različno vlažnega agregata frakcije 0/4 mm. Za izračun prostorninske mase in vpijanje vode je namreč pomembno vizualno določanje stanja nasičenega površinsko suhega agregata (določitev  $M_1$ ). Pravilno stanje je prikazano na sliki 32.



Slika 30: Vlažen agregat - ohranja skoraj popolno obliko kovinskega kalupa



Slika 31: Rahlo vlažen agregat - opaziti je občuten padec



Slika 32: Nasičen, površinsko suh agregat skoraj popoln zlom, vrh je še vedno viden in pobočja so oglata



Slika 33: Agregat je skoraj suh - vrh je zaobljen, obroba površine je podobna krivulji

#### 3.1.2.1.5 Metoda ugotavljanja odpornosti na termične in vremenske vplive z magnezijevim sulfatom

Odpornost na termične in vremenske vplive smo ugotavljali po standardu SIST EN 1367-2. Opravili smo 5 ciklov namakanja v raztopini  $MgSO_4$  z gostoto 1,284 - 1,300 g/ml. Vzorec smo izpirali do negativne reakcije z 5 % raztopino  $BaCl_2$ .

##### Opis postopka in izračuna:

Preskus smo opravili z dvema paralelkama. Referenčna frakcija recikliranega agregata je bila 10 - 14 mm. Vzorec smo oprali z destilirano vodo in posušili. Zatehtali smo dve paralelki med  $420 \pm 0,1$  g in  $430 \pm 0,1$  g. Vzorec smo potopili 20mm globoko v raztopino magnezijevega sulfata s temperaturo  $20 \pm 2^\circ C$ . Košare z vzorcem so bile od roba posode oddaljene 20mm. Posodo smo nato pokrili. Po  $17 \pm 0,5$  ure smo košare z vzorcem vzeli iz raztopine, vzorec odcedili in ga sušili pri sobni temperaturi  $2 \pm 0,25$  uri. Nato smo vzorec dali v sušilnik s temperaturo  $110 \pm 5^\circ C$  za  $24 \pm 1$  ura. Vzorec smo ohlajali pri sobni temperaturi do  $5 \pm 0,25$  ur. Ponovno smo premešali raztopino ter zmerili gostoto ter začeli z novim ciklom izpostavitve vzorca raztopini  $MgSO_4$ . Postopek smo ponavljali do opravljenega petega cikla izpostavitve vzorca. En cikel je trajal  $48 \pm 2$  uri. Ko smo končali z ohlajevanjem vzorca v zadnjem ciklu smo izpirali vzorec do negativne reakcije z  $BaCl_2$ . Vzorec smo nato posušili in ročno presejali na situ 10 mm.

Odstotek izgube mase smo izračunali po enačbi (9):

$$MS = \frac{M_1 - M_2}{M_1} * 100 \quad (9)$$

kjer je:

$MS$  - izguba mase (%),

$M_1$  - začetna suha masa na 0,1g natančno (g),

$M_2$  - masa, ostala na situ 10 mm na 0,1 g natančno (g).

## 3.1.2.2 Priprava receptur za betonske mešanice

## 3.1.2.2.1 Stopnje izpostavljenosti glede na okolje, ki mu bo beton izpostavljen

Standard SIST EN 206-1 razlikuje dve skupini betonov: predpisan in projektiran beton. Pri predpisanem betonu natančno podamo sestavo betona - vsebnost cementa, vrsto in trdnostni razred cementa, v/c razmerje, vrsto in kategorije agregata, največjo vsebnost kloridov, nazivno velikost največjega zrna agregata, omejitve glede zrnivosti, vrsto in količino kemijskega / mineralnega dodatka,... Pri projektiranem betonu pa navedemo predvsem stopnjo izpostavljenosti okolja, ki mu bo beton izpostavljen in lastnosti, ki jih od betona zahtevamo - razred tlačne trdnosti, največje zrno agregata, razred vsebnosti kloridov ter razred konsistence. Zahteve v zvezi s stopnjo izpostavljenosti pri projektiranem betonu so podane v tabeli 12. Gre za priporočene minimalne vrednosti, ki veljajo v primeru uporabe čistega portland cementa CEM I.

Tabela 12: Stopnje izpostavljenosti in mejne vrednosti sestave in lastnosti betona - SIST EN 206-1

Stopnje izpostavljenosti (vplivi okolja – napad)				Mejne vrednosti sestave in lastnosti betona (odpornost)		
Oznaka stopnje	Vpliv in obremenjenost			Največje v/c	Najmanj cementa (kg/m <sup>3</sup> )	Najmanjši razred trdnosti
<b>X</b>	0	Ni napada	Ni napada na beton	Ni zahteve	Ni zahteve	C12/15
<b>XC</b>	1	Karbonatizacija	Suho ali trajno mokro	0,65	260	C20/25
	2		Mokro, le redko suho	0,6	280	C25/30
	3		Zmerna vlažnost	0,55	280	C30/37
	4		Izmenično mokro in suho	0,5	300	C30/37
<b>XD</b>	1	Kloridi – ne iz morske vode	Zmerna vlažnost	0,55	300	C30/37
	2		Mokro, le redko suho	0,55	300	C30/37
	3		Izmenično mokro in suho	0,45	320	C35/45
<b>XS</b>	1	Kloridi – iz morske vode	Izpostavljeno solem v zraku	0,5	300	C30/37
	2		Trajno potopljeno	0,45	320	C35/45
	3		Območja plimovanja, škropljenja, pršenja	0,45	340	C35/45
<b>XF</b>	1	Zmrzovanje / taljenje	Zmerna nasičenost z vodo, brez soli	0,55	300	C30/37
	2		Zmerna nasičenost z vodo + soli	0,55+AE	300	C25/30
	3		Močna nasičenost z vodo, brez soli	0,5+AE	320	C30/37
	4		Močna nasičenost z vodo + soli	0,45+AE	340	C30/37
<b>XA</b>	1	Kemično delovanje	Malo agresivno kemično okolje	0,55	300	C30/37
	2		Srednje agresivno kemično okolje	0,5	320	C30/37
	3		Močno agresivno kemično okolje	0,45	360	C35/45
<b>XM</b>	1	Abrazija	Zmerna obremenitev	0,55	300	C30/37
	2		Močna obremenitev	0,5	320	C30/37
	3		Zelo močna obremenitev	0,45	340	C35/45

### 3.1.2.2.2 Zrnavost in prostorninska masa uporabljenega agregata

V tabeli 13 so podani rezultati sejalne analize agregata iz kamnoloma Laže (frakcije 0-4 mm, 4-8 mm in 8-16 mm), ki je bil uporabljen za referenčni vzorec iz recikliranega agregata opeke iz stare Cinkarne (frakcija 0-16 mm).

Tabela 13: Zrnavost in prostorninska masa agregata

NAZIVNA FRAKCIJA		PRESEVKI SKOZI SITA v mas %								PROSTOR- NINSKA MASA v Mg/kg <sup>3</sup>
		0,125 mm	0,25 mm	0,5 mm	1 mm	2 mm	4 mm	8 mm	16 mm	
NA	0-4 mm	3,4	10,3	21,0	32,5	56,6	93,3	100	100	2,77
	4-8 mm	1,4	1,4	1,4	1,4	3,0	9,8	96,5	100	2,76
	8-16 mm	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	6,7	97,4	2,76
RA	0-16mm	6,0	8,5	11,5	15	24,0	35,0	55,0	95,0	2,60

NA - naravni agregat iz kamnoloma Laže,

RA - reciklirani agregat iz opeke iz stare Cinkarne.

Na podlagi podatkov o zrnavosti in prostorninski masi agregata so bile izdelane štiri recepture za betone z različno vsebnostjo recikliranega agregata iz opeke. Označili smo jih kot:

**Vzorec 1** - etalon (brez recikliranega agregata),

**Vzorec 2** - 30 % recikliranega agregata,

**Vzorec 3** - 60 % recikliranega agregata in

**Vzorec 4** - 90 % recikliranega agregata.

## 3.1.2.2.3 Vzorec 1 - etalon

Recepturo betonske mešanice za vzorec 1 (etalon - brez agregata iz opeke) smo preračunali na 45 dm<sup>3</sup> betona s prostorninsko maso 2418 kg/m<sup>3</sup> in vodocementnim faktorjem 0,48. Za to mešanico smo potrebovali 17,1 kg cementa, 7,83 dm<sup>3</sup> vode, 0,11 dm<sup>3</sup> Hiperplast dodatka in 2,5 kg kamene moke, da smo zagotovili dovolj finih delcev za uporabo hiperplastifikatorja. Potrebne količine nazivne frakcije agregata iz kamnoloma Laže za betonsko mešanico so bile: 46,2 kg frakcije 0-4 mm, 8,3 kg frakcije 4-8 mm in 26,7 kg frakcije 8-16 mm. Projektirana oziroma predvidena poroznost je bila 2,0 %. Sestava je detajlno prikazana v tabeli 14.

Tabela 14: Predvidena sestava betona - vzorec 1 (etalon, vse frakcije so iz naravnega agregata)

<b>OZNAKA</b>	etalon	<b>PROSTORNINSKA MASA</b>		2418,2 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Vodocementni faktor (v/c)</b>	0,48	<b>IZRAČUN</b>		Delež delcev pod 0,25 mm znaša 504 kg v 1m <sup>3</sup> betona	<b>PRERAČUNANO NA 45 dm<sup>3</sup></b>
<b>OSNOVNI MATERIALI</b>		<b>v kg</b>	<b>v dm<sup>3</sup></b>		
Cement Anhovo		380,0	126,7		
Voda		182,4	180,0		
Dodatek - Hiperplast 179	0,70%	2,7	2,4		0,10784 dm <sup>3</sup>
Pore – predvidena poroznost	2,0%		20	% vlage v agregatu	
<b>AGREGAT NAZIVNE FRAKCIJE</b>					
Kamena moka	3%	55,7	20,1	0,0	2,5 kg
0-4 mm v skupni sestavi	55%	1022,2	369,0	0,5	46,2 kg
4-8 mm v skupni sestavi	10%	185,2	67,1	0,1	8,3 kg
8-16 mm v skupni sestavi	32%	592,6	214,7	0,1	26,7 kg
0-16 mm v skupni sestavi	0%	0,0	0,0	0,2	0 kg



## 3.1.2.2.4 Vzorec 2 - 30% agregata iz opeke

Recepturo betonske mešanice za vzorec 2 (30 % agregata iz opeke) smo preračunali na 45 dm<sup>3</sup> betona s prostorninsko maso 2306 kg/m<sup>3</sup> in vodocementnim razmerjem 0,60. Za to mešanico smo potrebovali 17,1 kg cementa, 9,94 dm<sup>3</sup> vode in 0,11 dm<sup>3</sup> Hiperplast dodatka. Potrebne količine nazivne frakcije agregata iz kamnoloma Laže za betonsko mešanico so bile: 39,2 kg frakcije 0-4 mm, 3,9 kg frakcije 4-8 mm in 10,9 kg frakcije 8-16 mm. Recikliranega agregata smo dodali 22,7 kg. Projektirana oziroma predvidena poroznost je bila 2,0%. Sestava je detajlno prikazana v tabeli 15.

Tabela 15: Predvidena sestava betona - vzorec 2 (frakcija 0-16 mm je recikliran agregat opeke)

OZNAKA	30% opeke	PROSTORNINSKA MASA		2306,3 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Vodocementni faktor (v/c)</b>	0,60	<b>IZRAČUN</b>		Delež delcev pod 0,25 mm znaša 516 kg v 1m <sup>3</sup> betona	<b>PRERAČUNANO NA 45 dm<sup>3</sup></b>
<b>OSNOVNI MATERIALI</b>		<b>v kg</b>	<b>v dm<sup>3</sup></b>		
Cement Anhovo		380,0	126,7		
Voda		228,0	225,6		
Dodatek - Hiperplast 179	0,70%	2,7	2,4		0,10784 dm <sup>3</sup>
Pore - predvidena poroznost	2,0%		20	% vlage v agregatu	
<b>AGREGAT NAZIVNE FRAKCIJE</b>					
0-4 mm v skupni sestavi	50%	866,1	312,7	0,5	39,2 kg
4-8 mm v skupni sestavi	5%	86,3	31,3	0,1	3,9 kg
8-16 mm v skupni sestavi	14%	241,6	87,5	0,1	10,9 kg
0-16 mm v skupni sestavi	31%	504,0	193,9	0,0	22,7 kg

## 3.1.2.2.5 Vzorec 3 - 60% agregata iz opeke

Recepturo betonske mešanice za vzorec 3 (60 % agregata iz opeke) smo preračunali na 45 dm<sup>3</sup> betona s prostorninsko maso 2188 kg/m<sup>3</sup> in vodocementnim razmerjem 0,74. Za to mešanico smo potrebovali 17,1 kg cementa, 12,42 dm<sup>3</sup> vode in 0,11 dm<sup>3</sup> Hiperplast dodatka. Potrebne količine nazivne frakcije agregata iz kamnoloma Laže za betonsko mešanico so bile: 25,1 kg frakcije 0-4 mm, in 3,6 kg frakcije 8-16mm. Recikliranega agregata smo dodali 40,2 kg. Projektirana oziroma predvidena poroznost je bila 2,0%. Sestava je detajlno prikazana v tabeli 16.

Tabela 16: Predvidena sestava betona - vzorec 3 (frakcija 0-16 mm je recikliran agregat opeke)

OZNAKA	60% opeke	PROSTORNINSKA MASA		2187,6 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Vodocementni faktor (v/c)</b>	0,74	<b>IZRAČUN</b>		Delež delcev pod 0,25 mm znaša 514 kg v 1m <sup>3</sup> betona	<b>PRERAČUNANO NA 45 dm<sup>3</sup></b>
<b>OSNOVNI MATERIALI</b>		<b>v kg</b>	<b>v dm<sup>3</sup></b>		
Cement Anhovo		380,0	126,7		
Voda		281,2	278,8		
Dodatek - Hiperplast 179	0,70%	2,7	2,4		0,10784 dm <sup>3</sup>
Pore - predvidena poroznost	2,0%		20	% vlage v agregatu	
<b>AGREGAT NAZIVNE FRAKCIJE</b>					
0-4 mm v skupni sestavi	35%	554,7	200,2	0,5	25,1 kg
4-8 mm v skupni sestavi	0%	0	0	0,1	0 kg
8-16 mm v skupni sestavi	5%	79,0	28,6	0,1	3,6 kg
0-16 mm v skupni sestavi	60%	892,5	343,3	0,0	40,2 kg



### 3.1.2.2.6 Vzorec 4 - 90% agregata iz opeke

Recepturo betonske mešanice za vzorec 4 (90 % agregata iz opeke) smo preračunali na 45 dm<sup>3</sup> betona s prostorninsko maso 2108 kg/m<sup>3</sup> in vodocementnim razmerjem 0,83. Za to mešanico potrebujemo 17,1 kg cementa, 9,94 dm<sup>3</sup> vode in 0,11 dm<sup>3</sup> Hiperplast dodatka. Potrebna količina nazivne frakcije agregata iz kamnoloma Laže za betonsko mešanico so bile: 10,1 kg frakcije 0-4 mm. Dodali smo 53,5 kg recikliranega agregata. Projektirana oziroma predvidena poroznost je bila 2,0%. Sestava je detajlno prikazana v tabeli 17.

Tabela 17: Predvidena sestava betona - vzorec 4 (frakcija 0-16 mm je recikliran agregat opeke)

OZNAKA	90% opeke	PROSTORNINSKA MASA		2108,0 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Vodocementni faktor (v/c)</b>	0,83	<b>IZRAČUN</b>		Delež delcev pod 0,25 mm znaša 504 kg v 1m <sup>3</sup> betona	<b>PRERAČUNANO NA 45 dm<sup>3</sup></b>
<b>OSNOVNI MATERIALI</b>		<b>v kg</b>	<b>v dm<sup>3</sup></b>		
Cement Anhovo		380,0	126,7		
Voda		315,4	313,0		
Dodatek - Hiperplast 179	0,70%	2,7	2,4	% vlage v agregatu	0,10784 dm <sup>3</sup>
Pore - predvidena poroznost	2,0%		20		
<b>AGREGAT NAZIVNE FRAKCIJE</b>					
0-4 mm v skupni sestavi	15%	223,5	80,7	0,5	10,1 kg
4-8 mm v skupni sestavi	0%	0	0	0,1	0 kg
8-16 mm v skupni sestavi	0%	0	0	0,1	0 kg
0-16 mm v skupni sestavi	85%	1188,8	457,2	0,0	53,5 kg

### 3.1.2.3 Preiskave svežega betona

#### 3.1.2.3.1 Priprava betona

V gradbeni praksi se beton praviloma pripravlja na strojni način, manjše količine pa izjemoma na ročni način. Na manjših gradbiščih uporabljajo različne vrste mešalcev, na večjih gradbiščih pa beton dobavljajo iz betonarn. V betonarnah pripravljajo na industrijski način velike količine betonov po zahtevnih recepturah in ga transportirajo s posebnimi vozili za transport svežega betona (transportni mešalec - »hruška«).

Betonski mešalci na gradbiščih imajo prostornino od 50 do 150l, v betonarnah pa od 250 do več tisoč litrov. Najbolj pogosto uporabljajo protitočne mešalce z navpično osjo. Os je postavljena ekscentrično glede na boben mešalca. V takih mešalcih se beton kakovostno zmeša v času od 30 do 60 sekund.

Proces določanja razmerij posameznih komponent betona in doziranja je v sodobnih betonarnah povsem avtomatiziran in računalniško voden. Cement in agregat se praviloma dozirata po masi - s sistemom tehtnic, voda in tekoči dodatki pa po principu meritve pretoka tekočine. Pri avtomatiziranem mešanju se odtehtane doze agregata in cementa suho zmešajo (slika 34) - najprej grobe frakcije agregata in cement, nato se dodajo drobne frakcije. V suho mešanico se dozira ustrezna količina vode in njej primešanih aditivov.



Slika 34: Suh agregat pripravljen za suho mešanje

#### 3.1.2.3.1.1 Priprava standardnih preizkušancev za preiskave

Standard SIST EN 12390-1 predpisuje obliko, dimenzije in dopustna odstopanja vgrajenih betonskih preizkušancev v obliki kock, valjev, prizem ter kalupov, ki so potrebni za njihovo izdelavo. Za potrebe tega standarda veljajo izrazi in definicije iz standarda ISO 1101. Razložena sta pojma:

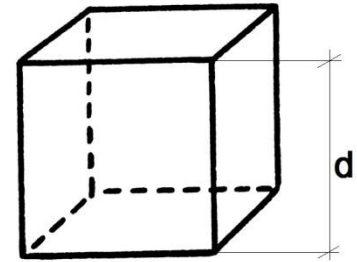
- nazivna velikost: splošno uporabljen opis velikosti preizkušanca,
- izbrana velikost: velikost preizkušanca v mm, ki jo izbere in se zanjo odloči uporabnik tega standarda iz dopustnega območja nazivne velikosti.

Splošno velja, da naj bo za vsako obliko preizkušanca (kocka, valj ali prizma), izbrana osnovna dimenzija  $d$  (slika 35), ki je enaka vsaj 3,5 - kratni nazivni velikosti največjega zrna agregata v betonu. Vrednosti možnih nazivnih velikosti kock so prikazane v tabeli 18.

Za potrebe izdelave diplomske naloge smo izdelali standardne preizkušance v obliki kocke z nazivno velikostjo 15 cm.

Tabela 18: Nazivne velikosti kocke

<b>d (mm)</b>	100	150	200	250	300



Slika 35: Kocka s stranico  $d$

Med opaženimi stranicami sme dopustno odstopanje od izbrane velikosti ( $d$ ) znašati največ  $\pm 0,5\%$ . Med zgornjo zglajeno stranico in spodnjo opaženo stranico sme dopustno odstopanje od izbrane velikosti znašati največ  $1,0\%$ . Pri pravokotnosti stranic kocke glede na osnovno ploskev sme dopustno odstopanje znašati največ  $\pm 0,5\text{mm}$ .

Pri pripravi preizkušancev smo uporabili plastične kalupe. Pravilo je, da morajo biti kalupi vodotesni in ne smejo vpijati vode.

#### 3.1.2.3.1.2 Vzorčenje svežega betona

Vzorčenje svežega betona smo izvedli po standardu SIST EN 12350-1. Pred uporabo smo očistili vso opremo. Z lopatico smo enakomerno po celotni šarži odvzeli vzorec (slika 36). Šarža je količina svežega betona, ki je zmešana v enem delovnem ciklu šaržnega mešalnika. Posamezne vzorce smo odlagali v posode in zabeležili datum in čas vzorčenja (slika 37). V vseh fazah vzorčenja, transporta in ravnanja z vzorci, smo vzorce svežega betona zaščitili pred onesnaževanjem, sprejemanjem ali oddajanjem vode zaradi velikih sprememb temperature in sicer tako, da smo jih pokrili s polivinilom.

Vsak vzorec je spremljalo poročilo osebe, odgovorne za jemanje vzorcev. Poročilo je vsebovalo:

- oznako vzorca,
- vrsto vzorca: zbirni ali naključni,
- opis mesta odvzema vzorca,
- datum in čas vzorčenja,
- vsako odstopanje od tega standarda,
- izjavo osebe, ki je strokovno odgovorna za to, da je bil vzorec dobljen v skladu s tem standardom.



Slika 36: Šarža



Slika 37: Vzorci svežega betona vgrajeni v kalupe in označeni

#### 3.1.2.3.1.3 Izdelava in nega vzorcev

Standard SIST EN 12390-2 podaja navodila za izdelavo in nego preizkušancev za preizkus trdnosti. Obravnava pripravo in polnjenje kalupov, zgoščanje betona, ravnanje površine, negovanje in transport preizkušancev.

Pred polnjenjem kalupa smo notranjo površino premazali s tanko plastjo nereaktivnega sredstva za lažje odstranjevanje kalupa, da bi preprečili prijemanje betona na kalup. Preizkušance smo takoj po vgraditvi (slika 38) zgostili tako, da je bila popolna zgostitev betona dosežena brez prekomernega izločanja cementnega mleka. Zgoščevali smo v najmanj dveh slojih, pri čemer debelina posameznega sloja ni presegala 100 mm. Zgoščevali smo z mehanskim vibriranjem. Sledilo je ravnanje zgornje površine. Odvečni beton nad zgornjim robom kalupa smo odstranili z dvema zidarskima žlicama, ki smo ju s kretnjami žaganja vodili drugo ob drugi po površini, nato pa površino skrbno poravnali. Preizkušance smo jasno in trajno označili, pri čemer smo pazili, da se niso poškodovali. Sledila je nega preizkušancev. Zaščitene pred udarci, tresljaji in izsušitvijo smo jih pustili v kalupu en dan pri temperaturi  $20 \pm 5$  °C. Po odstranitvi kalupa smo negovali preizkušance v klimatizirani komori pri temperaturi  $20 \pm 2$  °C in pri relativni vlažnosti 95 %. Nega je trajala 2 dni, 7 dni in 28 dni, odvisno od preiskav. V vseh fazah transporta je potrebno preprečiti izgubo vlage in odstopanja od zahtevane temperature. V našem primeru smo vzorce pokrili s plastičnimi vrečami.



Slika 38: Polnjenje kalupov z betonom

#### 3.1.2.3.2 Preskušanje konsistence sveže betonske mešanice

Konsistenca je skupek lastnosti svežega betona, ki vplivajo na njegove transportne lastnosti - vgradljivost, obdelavnost in zgostitev. S preskušanjem konsistence na mestu proizvodnje betona in zlasti še na mestu vgradnje se lahko, na posreden način, zelo uspešno kontrolira dejansko vodocementno razmerje na sveži betonski mešanici.

Glede na veljavne standarde določamo konsistenco betona na štiri načine:

- s poskusom poseda po standardu SIST EN 12350-2,
- s postopkom razleza po standardu SIST EN 12350-5,
- z aparatom Vebe po standardu SIST EN 12350-3,
- s postopkom zgoščevanja pri vibriranju po standardu SIST EN 12350-4.

V nadaljevanju sta opisani metodi določevanja konsistence betona s poskusom poseda po standardu SIST EN 12350-2 in s postopkom razleza po standardu SIST EN 12350-5, ki smo ju uporabili za določitev konsistence obravnavanih betonskih mešanic.

##### 3.1.2.3.2.1 Določevanje konsistence betona z metodo s posedom

Metodo določanja konsistence s posedom smo izvedli po standardu SIST EN 12350-2. Preskus s posedom je občutljiv na spremembe v konsistenci betona, ki ustrezajo posedom med 10 mm in 210 mm. Izven teh skrajnih vrednosti je merjenje poseda lahko neprimerno in je treba za določitev konsistence uporabiti druge metode. Če se posed po poteku prve minute po odstranitvi kalupa še spreminja, preskus s posedom ni primeren za merjenje konsistence. Preskus ni primeren tudi, če je velikost največjega zrna agregata v betonu večja od 40 mm.

Kalup in osnovno ploščo smo najprej navlažili. Kalup smo postavili na vodoravno osnovno ploščo. Med polnitvijo smo kalup močno pritisnili k osnovni plošči tako, da smo stopili na obe pločevinasti ušesi (slika 39). Kalup smo polnili v treh slojih tako, da je vsak sloj po zgoščevanju zavzel približno tretjino višine kalupa. Vsak sloj smo zgostili s 25 udarci zgoščevalne palice. Udarce smo razporedili



enakomerno po prečnem prerezu vsakega sloja. Pri spodnjem sloju smo zato palico nekoliko nagnili in približno polovico udarcev spiralno usmerili proti sredini. Drugi in vrhni sloj smo zgoščali vsakega po celi globini, tako da so udarci prodrli v spodaj ležeči sloj. Pri polnjenju in zgoščanju vrhnjega sloja smo naložili pred začetkom zgoščevanja beton preko vrha kalupa (s pomočjo lijaka). Nato smo očistili beton, raztresen na osnovni plošči. Kalup smo odstranili tako, da smo ga pazljivo dvignili v navpični smeri. Dviganje kalupa smo opravili v 5 do 10 sekundah z enakomernim vlečenjem navzgor, pri čemer smo pazili, da se premiki na stran in sukanje kalupa niso prenašali na beton. Celoten postopek od začetka polnjenja do odstranitve kalupa je bilo potrebno opraviti brez prekinitve v 150 sekundah. Takoj po odstranitvi kalupa smo izmerili in zabeležili posed  $h$  (sliki 40 in 41) tako, da smo določili razliko med višino kalupa in višino najvišje točke posednega preizkušanca. Slika 42 pa prikazuje oblike poseda: pravi posed in posed s strižno porušitvijo.

Kalup je izdelan iz kovine, ki ne reagira s cementno pasto in ni tanjši od 1,5 mm. Notranjost kalupa je gladka in brez izboklin. Kalup ima obliko votlega prisekanega stožca z naslednjimi dimenzijami:

- premer osnove:  $200 \pm 2$  mm,
- premer vrha:  $100 \pm 2$  mm,
- višina:  $300 \pm 2$  mm.

Osnova in vrh kalupa sta odprta, med seboj vzporedna in pravokotna na os stožca. Kalup ima pod vrhom dva ročaja, na spodnji strani pa sponke za pritrnitev ali ploščati ušesi na katerih stojimo, da se kalup ne premika. Pritrditev kalupa na osnovno ploščo je namreč sprejemljiva le, če je možno spoj popolnoma sprostiti brez premikov kalupa ali motenj pri posedanju betona.

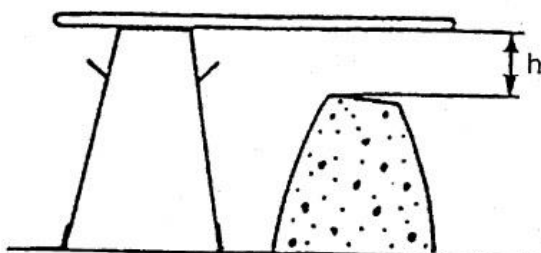
Zgoščevalna palica je ravna, jeklena, krožnega prereza, premera  $16 \pm 1$  mm in dolžine  $600 \pm 5$  mm, z zaobljenima koncema.



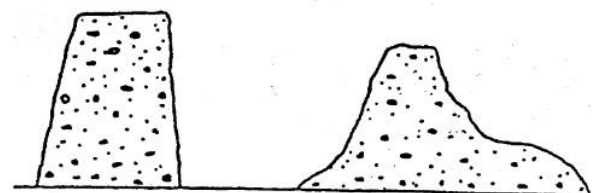
Slika 39: Vgradnja betona v kalup



Slika 40: Merjenje poseda v praksi



Slika 41: Merjenje poseda po standardu SIST EN 12350-2



Slika 42: Oblike poseda po standardu SIST EN 12350-2

(a) pravi posed (b) posed s strižno porušitvijo

### 3.1.2.3.2.2 Določevanje konsistence betona z metodo z razlezom

Standard SIST EN 12350-5 predpisuje metodo za določanje razleza svežega betona. Metoda ni uporabna za penobeton, za beton brez finih delcev in za beton z največjim zrnom agregata nad 63mm.

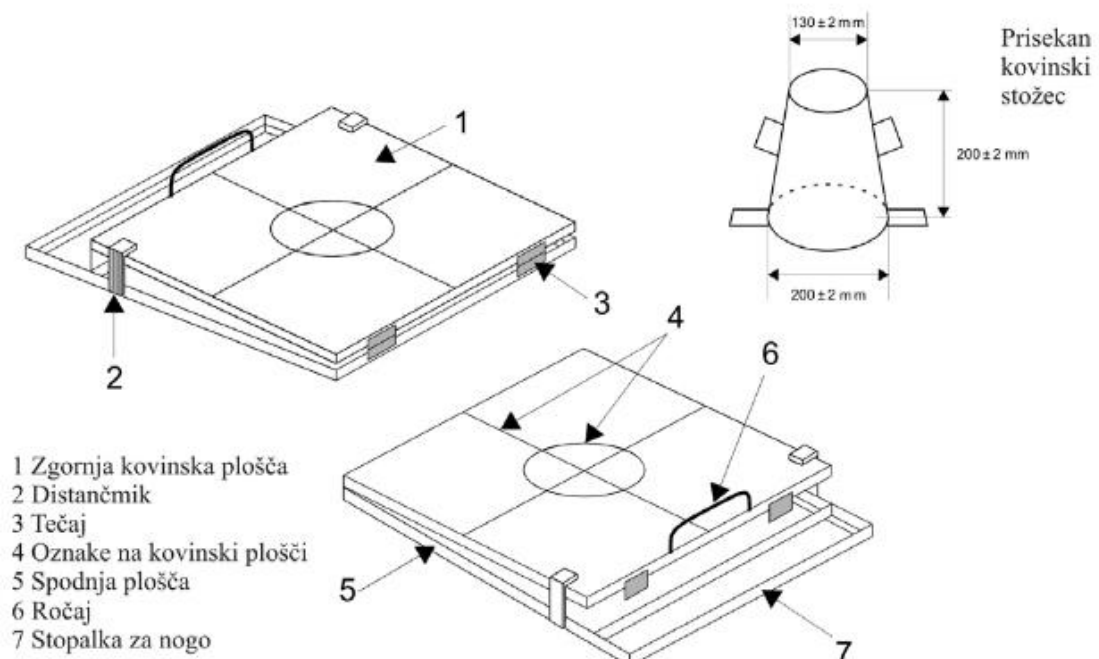
Razlezno mizo smo postavili na ravno in vodoravno površino, ki ni bila izpostavljena zunanjim vibracijam ali tresljajem, pri čemer se je s šarnirji spojeni zgornji del mize lahko dvignil do pravilne višine hoda in potem prosto padel na spodnji distančnik (slika 43). Mizo smo podprli tako, da je bila možnost odbijanja zgornjega dela mize po padcu na spodnji distančnik minimalna. Mizo in kalup smo očistili in ju tik pred izvedbo preizkusa navlažili, vendar brez odvečne vlage. Kalup smo postavili v sredino zgornjega dela mize in ga držali na mestu tako, da smo stali na obeh pločevinastih ušesih. Z lopatico smo napolnili kalup z betonom v dveh enakih slojih in vsakega poravnali z desetimi rahlimi udarci nabijala. Po potrebi smo dodali drugemu sloju več betona, tako da je bil kalup vedno napolnjen preko zgornjega roba. Z nabijalom smo poravnali površino betona z vrhom kalupa in očistili odvečni beton z vrhnje plošče mize. Ko je bila površina betona poravnana, smo počakali 30 sekund, nato pa po 3 do 6 sekundah z ročaji dvignili kalup navpično. Razlezno mizo smo stabilizirali tako, da smo stopili na stopalko na sprednji strani mize, nato pa počasi dvignili zgornji del mize dokler ta ni dosegel zgornjega distančnika, ki ga pri tem nismo smeli močno zadeti. Zgornji del mize smo nato spustili, da je prosto padel na spodnji distančnik. Ta postopek smo 15 krat ponovili, vsak cikel pa je trajal najmanj 2 s in največ 5 s. Z merilom smo izmerili največji dimenziji  $d_1$  in  $d_2$  razleza betona v dveh pravokotnih smereh, vzporednih s stranicami mize in zabeležili obe meritvi na 10 mm natančno. Rezultat smo podali kot povprečno vrednost razleza.

Kalup za oblikovanje preizkušanca je narejen iz kovine, ki je odporna proti agresivnemu delovanju cementne paste in ni tanjša od 1,5 mm. Notranjost kalupa je gladka in brez izboklin. Kalup ima obliko votlega stožca z notranjimi dimenzijami:

- premer osnove:  $200 \pm 2$  mm,
- premer vrha:  $130 \pm 2$  mm,
- višina:  $200 \pm 2$  mm.

Osnova in vrh kalupa sta odprta, med seboj vzporedna in pravokotna na os stožca. Kalup ima pod vrhom dva ročaja, na spodnji strani pa sponke za pritrditev oziroma ploščati ušesi, da se ne premika. Pritrditev kalupa na osnovno ploščo je sprejemljiva le, če je možno spoj popolnoma sprostiti brez premikov kalupa ali motenj pri posedanju betona.

Nabijalo je izdelano iz trdega materiala, kvadratnega prereza, s stranico  $40 \pm 1$  mm in dolžine približno 200 mm.



Slika 43: Oprema za preiskavo razleza po SIST EN 12350-5 [38]

### 3.1.2.3.2.3 Klasifikacija konsistence

Za klasifikacijo konsistence betona veljajo vrednosti, prikazane v tabeli 19 in 20, kot je določeno v standardu SIST EN 206-1.

Tabela 19: Klasifikacija poseda po standardu SIST EN 206-1

Stopnja	Posed v mm
S1	10 do 40
S2	50 do 90
S3	100 do 150
S4	16 do 210
S5	≥ 220

Tabela 20: Klasifikacija razleza po standardu SIST EN 206-1

Stopnja	Premer v mm
F1	≤ 340
F2	350 do 410
F3	420 do 480
F4	490 do 550
F5	560 do 620
F6	≥ 630



### 3.1.2.3.3 Določanje prostorninske mase svežega betona

Standard SIST EN 12350 podaja metodo za določanje gostote zgoščenega svežega betona v laboratoriju in na terenu.

Pri preiskavi smo uporabili posodo, ki je bila kalibrirana v skladu z dodatkom A standarda. Posodo smo stehali, določili njeno maso ( $m_1$ ) in zabeležili izmerjeno vrednost. Beton smo zgoščevali v dveh slojih. Zgoščevali smo ga takoj po vnosu v posodo tako, da smo popolno zgostitev betona dosegli brez prekomernega izločanja cementnega mleka. Vsak sloj smo zgostili z mehanskim vibriranjem. Mehansko vibriranje delimo na zgoščanje z notranjim vibriranjem z vibracijsko iglo in zgoščanje z vibracijsko mizo. Pri prvem sme vibriranje trajati samo toliko časa, kolikor je potrebno za popolno zgostitev betona. Pretiranemu vibriranju se je potrebno izogniti, ker lahko povzroči izgubo vnesenega zraka pri aeriranih betonih in segregacijo pri bolj tekočih betonskih mešanicah. Vibracijsko iglo je potrebno držati navpično in ne smemo dovoliti, da se dotakne dna ali stranic posode. Pri zgoščanju na vibracijski mizi sme vibriranje traja toliko časa, kolikor je potrebno za popolno zgostitev betona. Po možnosti, naj bo posoda na mizo pritrjena ali pa jo je treba na mizi trdno držati. Pretiranemu vibriranju se je potrebno izogniti, ker lahko povzroči izgubo vnesenega zraka. Po končanem zgoščevanju smo vrhnji sloj poravnali z vrhom posode s pomočjo jeklene gladilke. Površino in rob smo zgladili z ravnilom, zunanost posode pa smo do čistega obrisali. Sledilo je tehtanje ( $m_2$ ).

Gostoto smo izračunali po enačbi (10):

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (10)$$

kjer je:

$D$  - gostota svežega betona ( $\text{kg/m}^3$ ),

$m_1$  - masa posode (kg),

$m_2$  - skupna masa posode in betonskega preizkušanca v posodi (kg),

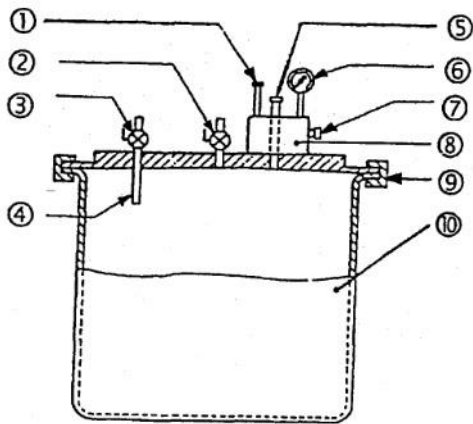
$V$  - prostornina posode ( $\text{m}^3$ ).

### 3.1.2.3.4 Določanje vsebnosti zraka v svežem betonu

Standard SIST EN 12350-7 opisuje dve metodi za določanje vsebnosti zraka v zgoščenem svežem betonu, ki je izdelan iz normalno težkega oziroma relativno gostega agregata z največjo velikostjo zrna 63 mm. Temeljita na načelu Boyle-Mariotteovega zakona. Zaradi razlikovanja se metodi označujeta kot metoda vodnega stolpca in manometriška metoda, napravi pa merilnik z vodnim stolpcem in merilnik z manometrom. Za preiskave smo uporabili manometriško metodo.

Pri manometriški metodi smo beton vgradili v posodo v treh plasteh približno enake debeline. Takoj po vgraditvi v posodo smo vsak sloj betona zgostili tako, da je bila popolna zgostitev sloja dosežena brez prekomernega izločanja cementnega mleka. Zgoščali smo z mehanskim vibriranjem. Količino uporabljenega materiala za zadnji sloj za napolnitev posode smo nanesli tako, da odstranjevanje odvečnega materiala ni bilo potrebno. Sledilo je merjenje vsebnosti zraka. Prirobnici na posodi in na pokrovu smo dobro očistili. Namestili smo pokrov in ga z zaklepom pritrdili. Zagotoviti je bilo treba dobro tesnitev med posodo in pokrovom. Zaprli smo glavni zračni ventil in odprli ventila A in B, kot je prikazano na slikah 44 in 45. Z brizgalko smo vbrizgali vodo skozi ventil A ali ventil B, dokler voda ni izstopila skozi drugi ventil. Napravo smo rahlo potolkli z lesenim kladivom, dokler se zajeti zrak ni izločil. Zaprli smo ventil za izpust zraka na zračni komori in s črpalko polnili zračno komoro z zrakom toliko časa, da je bil kazalec na manometru na oznaki za začetni pritisk. Ko se je po nekaj sekundah stisnjeni zrak ohladil na temperaturo okolice, smo kazalec na manometru na znački začetnega pritiska stabilizirali tako, da smo zrak po potrebi dodajali ali izpuščali. Med tem smo rahlo udarjali po manometru. Zaprli smo ventila A in B, nato pa odprli glavni zračni ventil in močno tolkli po steni posode. Med rahlim udarjanjem po manometru smo odčitali prikazano vrednost, ki je pomenila

navidezni odstotek zraka  $A_1$ . Odprli smo ventil A in B, da smo razbremenili pritisk ,preden smo odstranili pokrov naprave.



Slika 44: Naprava za manometriško metodo



Slika 45: Manometer v praksi

Legenda:

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. črpalka   | 6. manometer             |
| 2. ventil B  | 7. izpustni ventil zraka |
| 3. ventil A  | 8. zračna komora         |
| 4. cevni podaljšek za preverjanja pri kalibriranju | 9. zaklep                |
| 5. glavni zračni ventil                            | 10. posoda               |

### 3.1.2.3.5 Določanje vodocementnega razmerja svežega betona

Dodatek 3 v standardu SIST 1026 opisuje preskusno metodo za določanje vodocementnega ali vodovezivnega razmerja svežega betona s sušenjem vzorca svežega betona. Z meritvijo izgube mase med sušenjem svežega betona na plinskem gorilniku ali v mikrovalovni pečici se določi količina vode v vzorcu svežega betona. Celotna količina vode v svežem betonu in vrednost vodocementnega razmerja pa se določita z izračuni.

Pri samem poskusu smo najprej določili količino vode. Vzorec svežega betona smo odvzeli in pripravili v skladu s standardom SIST EN 12350-1. Vzorec svežega betona smo najprej stekali. Sledilo je sušenje svežega betona, ki smo ga izvedli s sušenjem na plinskem gorilniku (vzorci 2, 3 in 4, ki so vsebovali reciklirani agregat) - slika 46 oziroma s sušenjem v mikrovalovni pečici (vzorec 1 - etalon). Pri sušenju vzorca na plinskem gorilniku je bila masa vzorca svežega betona najmanj:

- $M_{bs} = 5\text{ kg}$  za betone z  $D_{\max} = 32$  in  $16\text{ mm}$ .

Vzorec svežega betona z maso  $M_{bs}$  smo pri sušenju do stalne mase v pločevinasti posodi na plinskem štedilniku stalno mešali z grebljico. Sušenje smo morali začeti najpozneje 30 min po prvem stiku cementa z vodo. Po sušenju in ohladitvi smo izmerili maso posušenega betona  $M_{bp}$ . Pri sušenju vzorca v mikrovalovni pečici smo vzorec svežega betona z maso  $M_{bs}$  posušili do stalne mase v posodi z ustreznim premerom. Masa vzorca je bila najmanj 2 kg, največje zrno agregata v betonski mešanici pa je bilo 16 mm. Sušenje smo morali začeti najpozneje 30 min po prvem stiku cementa z vodo. Po sušenju in ohladitvi smo izmerili maso posušenega betona  $M_{bp}$ .



Slika 46: Sušenje vzorca na plinskem štedilniku

Masni delež celotne količine vode v svežem betonu smo izračunali po enačbi (11):

$$v = \frac{M_{bs} - M_{bp}}{M_{bs}} \quad (11)$$

kjer so:

$v$  - masni delež celotne vode v svežem betonu (m/m %),

$M_{bs}$  - masa vzorca svežega betona (kg),

$M_{bp}$  - masa vzorca posušenega betona (kg).

Celotno količino vode v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona  $V$  smo izračunali po enačbi (12), pri čemer smo predhodno določili prostorninsko maso svežega betona  $\rho_{bs}$  po SIST EN 12350-6:

$$V = \rho_{bs} * v \quad (12)$$

kjer so:

$V$  - celotna količina vode v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona ( $\text{kg/m}^3$ ),

$\rho_{bs}$  - prostorninska masa svežega betona, določena po SIST EN 12350-6 ( $\text{kg/m}^3$ ),

$v$  - masni delež celotne količine vode v svežem betonu (mas %).

Vpijanje vode posameznih frakcij agregata  $WA_i$  smo predhodno določili po SIST EN 1097-6. Količina posameznih frakcij agregata  $M_{Ai}$  v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona je njena povprečna masa v tej vrsti betona, določena iz izpisov betonarne. Količino vode, ki jo vpije agregat (sestavljeno iz  $n$  frakcij) v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona  $V_{WA}$ , smo izračunali po enačbi (13):

$$V_{WA} = \sum_{i=1}^n WA_i * M_{Ai} \quad (13)$$

kjer so:

$WA_i$  - vpijanje vode  $i$ -te frakcije agregata, določeno po SIST EN 1097-6 (mas %),

$M_{Ai}$  - količina  $i$ -te frakcije v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona ( $\text{kg/m}^3$ ),

$V_{WA}$  - količina vode, ki jo vpije agregat v  $1 \text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona ( $\text{kg/m}^3$ ).

Efektivno vsebnost vode v  $1\text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona  $V_{ef}$  smo izračunali po enačbi (14):

$$V_{ef} = V - V_{WA} \quad (14)$$

kjer so:

$V_{ef}$  - efektivna vsebnost vode v  $1\text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

$V$  - celotna količina vode v  $1\text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

$V_{WA}$  - količina vode, ki jo vpije agregat v  $1\text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Količina veziva  $DV$  v  $1\text{ m}^3$  betona je njegova povprečna masa v tej vrsti betona, določena iz zapisov ali odčitanih količin na betonarni.

Izračun vodocementnega razmerja je podan z enačbo (15):

$$\frac{v}{c} = \frac{V_{ef}}{DV} \quad (15)$$

kjer so:

$v/c$  - vodocementno razmerje svežega betona,

$V_{ef}$  - efektivna vsebnost vode v  $1\text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

$DV$  - količina veziva v  $1\text{ m}^3$  vgrajenega svežega betona ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

#### 3.1.2.4 Preiskave strjenega betona

Mehanske lastnosti strjenega betona določajo njegovo kakovost in s tem tudi njegovo uporabnost v različnih konstrukcijah. Osnovne lastnosti strjenega betona, ki jih preskušamo po standardiziranih metodah so:

- gostota strjenega betona  $D$  po SIST EN 12390-7,
- tlačna trdost  $f_c$  po SIST EN 12390-3,
- upogibna natezna trdnost  $f_{cf}$  po SIST EN 12390-5,
- cepilna natezna trdnost  $f_{ct}$  po SIST EN 12390-6.

##### 3.1.2.4.1 Gostota strjenega betona

Standard SIST EN 12390-7 razlikuje tri stanja, pri katerih lahko določamo maso preizkušanca:

- dostavljeno -  $m_r$ ,
- nasičeno z vodo -  $m_s$  in
- posušeno v pečici -  $m_o$ .

Razlikuje tudi tri metode za določanje prostornine preizkušanca:

- z izrivanjem vode,
- z izračunom na podlagi dejanskih meritev in
- pri kockah na podlagi preverjenih označenih dimenzij.

Gostoto strjenega betona smo izračunali po enačbi (16):

$$D = \frac{m}{V} \quad (16)$$

kjer je:

$D$  - gostota vezana na stanje preskušanca in metodo določitve prostornine v  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,

$m$  - masa preskušanca v stanju, kakršnem je bil v času preskusa v kg,

$V$  - prostornina v  $\text{m}^3$ .

### 3.1.2.4.2 Tlačna trdnost betona

Preskus tlačne trdnosti betona smo izvedli po standardu SIST EN 12390-3.

#### Priprava in namestitvev preizkušancev:

Preden smo postavili preizkušanec v stiskalnico, smo obrisali z njegove površine odvečno vlago. Vse površine za prenos obtežbe na preskusni napravi smo očistili. Preizkušance v obliki kocke smo postavili tako, da je bila smer obremenjevanja pravokotna na smer vgrajevanja. Preizkušanec smo postavili na sredino spodnje plošče s točnostjo  $\pm 1\%$  od označene velikosti stranice kocke.

#### Obremenjevanje preizkušancev:

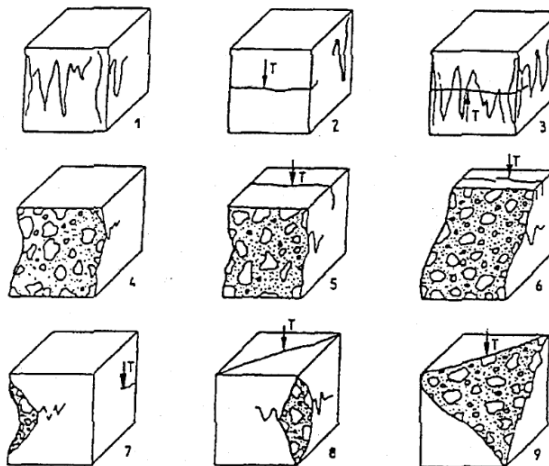
Izbrali smo konstantno hitrost obremenjevanja v območju od 0,2 MPa/s do 1,0 MPa/s. Obremenitev smo uvajali na preizkušanec brez sunkov in jo enakomerno povečevali z izbrano konstantno hitrostjo  $\pm 10\%$ , do največje možne obremenitve. Največjo izmerjeno obremenitev smo zabeležili.

Po obremenjevanju smo ocenili vrsto porušitve. Primeri porušitev preizkušancev, ki kažejo na zadovoljiv potek preskusov, so prikazani na sliki 47.



Slika 47: Zadovoljive porušitve preizkušancev v obliki kocke po standardu SIST EN 12390-3

Primeri nezadovoljivih porušitev preizkušancev v obliki kocke so prikazani na sliki 48.



Slika 48: Nezadovoljive porušitve preizkušancev v obliki kocke po standardu SIST EN 12390-3

Tlačno trdnost smo nato izračunali po enačbi (17):

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (17)$$

kjer je:

$f_c$  - tlačna trdnost v MPa,

$F$  - največja obremenitev ob porušitvi v N,

$A_c$  - ploščina preseka preizkušanca na katerega deluje tlačna sila v  $\text{mm}^2$ .

## 3.1.2.4.2.1 Uvrščanje v razred tlačne trdnosti betona

Za klasifikacijo betona glede na tlačno trdnost po SIST EN 206-1 velja tabela 21 za normalno težak in težak beton. Za klasifikacijo se lahko uporabi karakteristična tlačna trdnost kocke s stranico 150 mm po 28 dneh ( $f_{ck-cube}$ ).

Tabela 21: Razredi tlačne trdnosti za normalno težak in težak beton po SIST EN 206-1

Razred tlačne trdnosti	Minimalna karakteristična trdnost kocke $f_{ck-cube}$ (N/mm <sup>2</sup> )
C 8/10	10
C 12/15	15
C 16/20	20
C 20/25	25
C 25/30	30
C 30/37	37
C 35/45	45
C 40/50	50
C 45/55	55
C 50/60	60
C 55/67	67
C 60/75	75
C 70/85	85
C 80/95	95
C 90/105	105

## 3.1.2.4.3 Določanje globine prodora vode pod pritiskom

Standard SIST EN 12390-8 predpisuje metodo za določanje globine prodora vode pod pritiskom v strjenem betonu, ki je bil negovan v vodi.

Preizkušance, stare 28 dni, smo razkalupili in ploskev, ki bo izpostavljena vodnemu pritisku nahrapavili z žičnato krtačo. Preizkušanec smo postavili v napravo za določanje globine prodora vode (slika 49) in ga za  $72 \pm 2$  ur izpostavili delovanju vodnega pritiska s tlakom  $500 \pm 50$  kPa. Med preskusom smo kontrolirali površine preizkušanca, ki niso bile izpostavljene vodnemu pritisku, če ne postajajo mokre. V primeru, da bi opazili moker del, bi morali tak pojav zabeležiti. Ko je pretekel predpisan čas delovanja vodnega pritiska, smo odstranili preizkušance iz naprave. Površino, na katero je deloval vodni pritisk, smo obrisali in odstranili odvečno vodo. Preizkušanec smo razcepili na polovici pravokotno na površino (slika 50), na katero je deloval vodni pritisk. Pri cepitvi in med pregledom smo preizkušanec postavili tako, da je bila vodnemu pritisku izpostavljena ploskev preizkušanca spodaj. Takoj, ko se je razcepljena površina toliko posušila, da smo lahko jasno videli potek prodora vode, smo le-tega na preizkušancu označili. Izmerili smo največjo globino prodora vode in jo zabeležili na najbližji mm natančno.





Slika 49: Naprava za določanje globine prodora vode pod pritiskom



Slika 50: Preizkušanci, na katerih smo preverili globino prodora vode

#### 3.1.2.4.3.1 Dovoljene vrednosti prodora vode

V tabeli 22 so prikazane dovoljene vrednosti prodora vode v betonu, starem najmanj 28 dni, izmerjene v skladu s SIST EN 12390-8.

Tabela 22: Dovoljene vrednosti prodora vode po SIST 1026

Stopnja odpornosti proti prodoru vode	Največji dovoljeni prodor vode (mm)	Največji dovoljeni odklon (mm)
PV-I	50	+15
PV-II	30	+10
PV-III	20	+5

#### 3.1.2.4.4 Priprava in kemična analiza izlužka iz strjenega betona

Izlužek iz strjenega betona z recikliranim agregatom iz opeke iz stare Cinkarne smo pripravili in analizirali po treh dneh na treh vzorcih: na vzorcu 2 s 30 % agregata iz opeke, na vzorcu 3 s 60 % agregata iz opeke in na vzorcu 4 z 90 % agregata iz opeke. Preverjali smo le vsebnost svinca (Pb), ki je bil presežen v izlužku iz recikliranega agregata.

#### 3.1.2.5 Mejne vrednosti za sestavo betona

Po standardu SIST 1026 morajo zahteve za beton ustrezati vrsti in stopnji izpostavljenosti ter načrtovani življenjski dobi konstrukcije, določeni v projektu in predpisani z naslednjimi parametri sestave svežega betona:

- dovoljenimi vrstami in razredi osnovnih materialov,
- največjim vodocementnim razmerjem  $(v/c)_{max}$ , ki med proizvodnjo betona ne sme biti prekoračeno,
- vsebnostjo cementa,
- dodatnimi zahtevami za agregat, če mora biti beton odporen tudi proti zmrzovanju/taljenju ali proti obrabi.

Če so površine konstrukcijskega elementa, ki se načrtuje graditi z isto vrsto betona, izpostavljene različnim vplivom okolja ali če je površina elementa izpostavljena tudi dodatnim vplivom ( $XA$  in  $XM$ ), je treba predpisane parametre prilagoditi višjim zahtevam.

V tabeli 23 so prikazane zahtevane posebne lastnosti strjenega betona in priporočene vrednosti parametrov sestave svežega betona za posamezne stopnje izpostavljenosti ter priporočene mejne vrednosti največjega vodocementnega razmerja  $(v/c)_{max}$  in najmanjše vsebnosti cementa, če je velikost največjega zrna agregata ( $D_{max}$ ) 22 ali 32 mm, ki pri posameznih stopnjah delovanja okolja oziroma izpostavljenosti betona po izkušnjah zagotavljajo življenjsko dobo 50 let. Trdnosti razred betona ne sme biti, razen za stopnjo izpostavljenosti X0, nižji od C20/25.



Tabela 23: Zahtevane posebne lastnosti strjenega betona - tabela N.4 v standardu SIST 1026

Stopnja agresivnosti okolja		Stopnja izpostavljenosti po SIST EN 206-1	Posebne lastnosti betona za preverjanje izbranih parametrov sestave svežega betona			Priporočeni parametri sestave svežega betona	
			XC, XD, XS, XA	XF	XM	(v/c) <sub>max</sub>	Najmanjša vsebnost cementa (kg/m <sup>3</sup> )
I	nizka	X0	-	-	-	0,75	-
		XC1	-	-	-	0,65	260
II	zmerna	XC2, XC3	PV-I	-	-	0,55	300
		XC2+XF1	PV-I	NOZT-100	-	0,55	300
III	normalna	XD1, XS1, XA1, XM1	PV-I		OO-1	0,55	320
		XD1+XF2	PV-I	OPZT-S10	-	0,60	300
				-	-	0,55	320
IV	močna	XC4, XD2, XS2, XA2, XM2	PV-II		OO-2	0,50	340
		XC4+XF3	PV-II	NOZT-150	-	0,55	320
				-	-	0,50	340
V	zelo močna	XD3, XS3, XA3, XM3	PV-III		OO-3	0,45	360
		(XD2, XD3)+XF4	PV-II	OPZT-S25	-	0,50	360

**Legenda:**

(v/c)<sub>max</sub> - največje efektivno vodocementno razmerje, ki pri določeni stopnji izpostavljenosti po izkušnjah omogoča 50-letno življenjsko dobo,

PV - prodor vode iz tabele 22,

OO - odpornost proti izrabi,

NOZT100, NOZT150 - notranja odpornost proti zmrzovanju / taljenju (po 100 ali 150 ciklih),

OPZT-S10, OPZT-S25 - odpornost površine proti zmrzovanju / taljenju (po 10 ali 25 ciklih).

V tabeli 24 so prikazani razredi in stopnje izpostavljenosti po SIST EN 206-1, kjer je razložen pomen kratic iz tabel 12 in 23.

Tabela 24: Razredi in stopnje izpostavljenosti – tabela N.1 v standardu SIST 1026

Razred in stopnja izpostavljenosti ter opis okolja		Informativni primeri za določitev razreda in stopnje izpostavljenosti v Republiki Sloveniji
<b>1) Ni nevarnosti korozije</b>		
X0	Pri nearmiranem betonu ali betonu brez vgrajenih delov: vsi razredi izpostavljenosti razen zmrzovanja / taljenja, obrabe in kemijskega delovanja	Nearmirani elementi znotraj stavb ali popolnoma vkopani v neagresivno zemljino ali popolnoma potopljeni v neagresivno vodo, npr. nearmirani temelji, izravnalni betoni,...
	Pri armiranem betonu ali betonu z vgrajenimi deli: zelo suho	Beton znotraj stavb z zelo nizko vlažnostjo zraka. Armirani elementi znotraj stavb, če je relativna vlažnost do 35%, če ni nevarnosti zmrzovanja in kemičnega delovanja in ni zahtevana odpornost proti obrabi.
<b>2) Korozija zaradi karbonatizacije</b>		
XC1	Suho	Beton znotraj stavb z nizko vlažnostjo zraka. Elementi v notranjosti stavb, v prostorih z običajno vlažnostjo, vključno kuhinje in kopalnice v stanovanjskih stavbah.
	Trajno mokro	Beton, stalno potopljen v vodi. Elementi, ki so trajno potopljeni v neagresivni vodi, npr. temelji, zgradbe v vodi,...
XC2	Mokro, le redko suho	Betonske površine v dolgotrajnem stiku z vodo - mnogi temelji. Popolnoma vkopani elementi v neagresivni zemljini, npr. temelji, piloti, kletni zidovi,...
XC3	Zmerno vlažno	Beton znotraj stavb z zmerno ali visoko vlažnostjo zraka. Elementi stavb, ki so stalno v stiku z zunanjim zrakom. Elementi v notranjosti stavb, v prostorih z visoko vlažnostjo, npr. obratne kuhinje in pralnice, javna kopališča, hlevi,.. Zunanji elementi stavb, zaščiteni pred dežjem, npr. zaščitene fasade, deli zunanjih stopnišč in balkonov,... Elementi inženirskih zgradb zaščiteni pred dežjem, npr. elementi premostitvenih objektov in predorov na cestah, ki se pozimi ne solijo ter na železnicah. Nosilne plasti na voziščih, ki se pozimi ne solijo.
XC4	Izmenično mokro in suho	Površine betona v stiku z vodo, ki ne sodijo v stopnjo izpostavljenosti XC2. Zunanji elementi stavb, izpostavljeni dežju, npr. nezaščitene fasade, zunanja stopnišča, balkoni,... Prometne površine, npr. ploščadi in tlaki, izpostavljeni dežju. Sem spadajo tudi elementi inženirskih zgradb, izpostavljeni dežju, npr. elementi premostitvenih objektov in predorov na železnicah in cestah, ki se pozimi ne solijo, deli HE objektov.
<b>3) Korozija zaradi kloridov, ki ne izvirajo iz morske vode</b>		
Če je armiran beton ali beton z vgrajenimi deli v stiku z vodo, ki vsebuje kloride, vključno soli za tajanje, ki ne izvirajo iz morske vode in če ni nevarnosti zmrzovanja.		

se nadaljuje...

... nadaljevanje tabela 24

XD1	Zmerna vlažnost	Betonske površine, izpostavljene kloridom, ki jih prenaša zrak. Elementi premostitvenih objektov in predorov, izpostavljeni slanemu zraku, ali ki so lahko posredno izpostavljeni delovanju slanice. Sem spadajo tudi elementi zgradb na cestah, ki so lahko posredno izpostavljeni delovanju slanice, npr. nosilne plasti vozišč na cestah, ki se pozimi solijo.
XD2	Mokro, le redko suho	Plavalni bazeni. Beton, izpostavljen industrijskim vodam, ki vsebujejo kloride.
XD3	Izmenično mokro in suho	Deli mostov, izpostavljeni pršcu, ki vsebuje kloride, krovne plasti vozišč, plašč v parkirnih hišah,... Sem spadajo prometne površine, ki se pozimi solijo, npr. parkirne ploščadi, tlaki, obrabne plasti vozišča,... Navpični in vodoravni elementi, izpostavljeni neposrednemu delovanju slanice: <ul style="list-style-type: none"> <li>- na premostitvenih objektih, predorih in drugih zgradbah na cestah, ki se pozimi solijo,</li> <li>- v parkirnih hišah.</li> </ul>
<b>4) Korozija zaradi kloridov iz morske vode</b>		
Če je armirani beton ali beton z vgrajenimi deli v stiku s kloridi z morske vode ali z zrakom, ki prenaša soli iz morske vode.		
XS1	Sol v zraku, brez neposrednega stika z morskovo vodo	Konstrukcije blizu obale ali ob njej. Sem spadajo zunanji elementi stavb in inženirskih zgradb blizu morske obale ali ob njej (do 1km).
XS2	Trajno potopljeno	Deli morskih zgradb. Sem spadajo elementi stavb in inženirskih zgradb, ki so trajno in popolnoma potopljene v morje, npr. potopljene deli pristaniških zgradb in mostov.
XS3	Območje plimovanja, pljuskanja in pršenja	Deli morskih zgradb. Sem spadajo elementi stavb in inženirskih zgradb v območju plimovanja, pljuskanja in pršenja morske vode, npr. deli pristaniških zgradb in mostov, izpostavljeni tem pojavom.
<b>5) Zmrzovanje / taljenje s sredstvi za taljenje ali brez njih</b>		
XF1	Zmerna nasičenost z vodo brez sredstva za taljenje	Navpične betonske površine, izpostavljene dežju in zmrzovanju - navpični in več kot 10% nagnjeni zunanji elementi stavb, izpostavljeni dežju. Sem spadajo elementi inženirskih zgradb, izpostavljeni dežju, če je stopnja nasičenosti zmerna, npr. elementi cestišča, premostitvenih objektov in predorov na cestah, ki se pozimi ne solijo, ter na železnicah, delih hidroelektrarn,...
XF2	Zmerna nasičenost z vodo, ki vsebuje sredstvo za taljenje	Navpične betonske površine konstrukcij na cestah, izpostavljene zmrzovanju in sredstvom za taljenje, ki se prenašajo po zraku. Sem spadajo elementi premostitvenih objektov in drugih zgradb na cestah, ki so izpostavljene slanemu zraku, nosilne plasti vozišča, voziščna plošča,...
XF3	Močna nasičenost z vodo brez sredstva za taljenje	Vodoravne betonske površine, izpostavljene dežju in zmrzovanju - vodoravni in manj kot 10% nagnjeni zunanji elementi stavb.

se nadaljuje...

... nadaljevanje tabele 24

		Sem spadajo elementi inženirskih zgradb, izpostavljeni dežju, če je stopnja nasičenosti visoka, npr. elementi cestišča, premostitvenih objektov in predorov na cestah, ki se pozimi ne solijo, ter na železnicah in delih hidroelektrarn. Sem sodijo tudi prometne površine, ki se pozimi ne solijo, npr. obrabne plasti vozišča, parkirne ploščadi, tlaki,...
XF4	Močna nasičenost z vodo, ki vsebuje sredstvo za taljenje, ali z morsko vodo	Sem spadajo krovne plasti na cestah in mostne ploščadi, izpostavljene sredstvom za taljenje, betonske površine, izpostavljene neposrednemu pršču, ki vsebuje sredstva za taljenje in zmrzovanju, območja pljuskanja na morskih zgradbah, ki so izpostavljene zmrzovanju.
<b>6) Obraba površine betona</b>		
XM1	Zmerna obremenitev	Nosilni industrijski tlaki za vozila s pnevmatskimi kolesi
XM2	Močna obremenitev	Sem spadajo nosilni industrijski tlaki za viličarje s polnimi gumijastimi kolesi, krovne plasti vozišč za lahko in srednje prometno obremenitev in konstrukcije v hitro tekoči vodi.
XM3	Zelo močna obremenitev	Sem spadajo nosilni industrijski tlaki za viličarje z jeklenimi kolesi, krovne plasti vozišč za težko in zelo težko prometno obremenitev in konstrukcije v hitro deroči vodi, ki nosi pesek.

### 3.2 Rezultati in diskusija

Na podlagi rezultatov opravljenih preiskav smo ovrednotili vpliv količine recikliranega opečnega agregata na posamezne lastnosti svežega in strjenega betona in tudi samo kakovost in uporabnost izdelanih betonov.

#### 3.2.1 Preiskave agregata

##### 3.2.1.1 Analiza izlužka

V tabeli 25 so podani rezultati kemične analize izlužka iz recikliranega agregata iz opeke iz območja stare Cinkarne.

Tabela 25: Koncentracije izlužka opeke iz območja stare Cinkarne Celje

Kemični element	Zn*	Cd*	Pb*	Mo*	Sulfati	pH
	(mg/kg s.s.)					
Dovoljene konc. po kriteriju za inertnosti	4	0,04	0,5	0,5	1000	-
<b>Recikliran agregat iz opeke</b>	<0,05	<0,04	<b>0,88</b>	<0,5	429	7,8

Rezultati kemične analize izlužka agregata iz opeke so pokazali, da je v vzorcu povečana koncentracija svinca (Pb). Vrednosti za ostale parametre so nižje, kot je največja dovoljena vsebnost po kriteriju za inertnost.

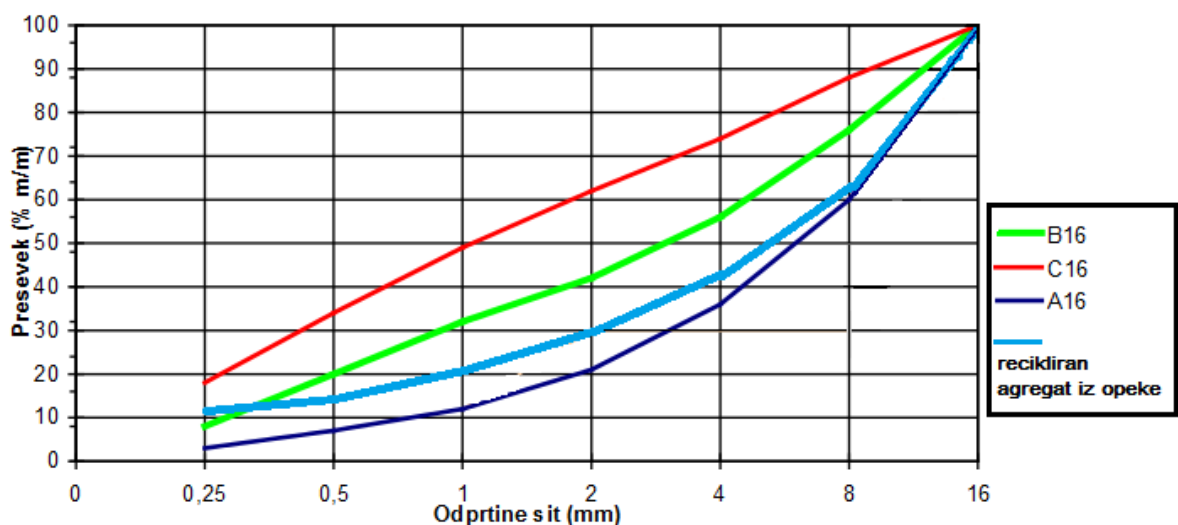
##### 3.2.1.2 Določevanje zrnivosti s sejanjem

V tabeli 26 in na sliki 51 je prikazana zrnivost recikliranega agregata.

Tabela 26: Zrnavost recikliranega agregata

Sito	Ostanek na situ $R_j$ (g)	Presevek (mas. %)	Delež posamezne frakcije (mas. %)
16	14	<b>99,3</b>	0,7
11,2	462	<b>77,8</b>	21,5
8	344	<b>61,8</b>	16,0
4	433	<b>41,7</b>	20,1
2	252	<b>30,0</b>	11,7
1	197	<b>20,8</b>	9,2
0,5	128	<b>14,9</b>	5,9
0,25	79	<b>11,2</b>	3,7
0,125	65	<b>8,2</b>	3,0
0,063	39	<b>6,4</b>	1,8
P - dno	12	-	0,5
<b>Skupna masa (<math>R_j + P</math>)</b>	<b>2011</b>		

Rezultati analize zrnivosti so pokazali, da odstotek finih delcev pod 0,063 mm znaša 6,42 mas %, izguba materiala pri suhem sejanju pa znaša 0,59 %, kar je manj od dovoljene vrednosti, ki znaša 1 %. Slika 51 prikazuje krivuljo zrnivosti recikliranega agregata (svetlo modra barva), ki se v večjem delu umešča med krivulji A in B. Kot prikazuje slika, recikliran agregat vsebuje relativno velik delež finih delcev pod 0,25 mm.



Slika 51: Priporočene mejne krivulje zrnivosti za mešanico agregata 0/16 mm po SIST 1026 in zrnavostna sestava recikliranega opečnega agregata

## 3.2.1.3 Določevanje oblike zrn agregata - modul oblike

Rezultati določanja oblike zrn so prikazani v tabeli 27.

Tabela 27: Rezultati določevanja modula oblike

<b>Frakcija</b>	<b>Masa zrn (g)</b>	<b>Masa Zrna neugodne oblike (g)</b>	<b>Delež neustreznih zrn (%)</b>
<b>4/8</b>	117,4	36,9	<b>31,4</b>
<b>8/16</b>	1068,2	266,0	<b>24,9</b>

Rezultati določevanja modula oblike so pokazali, da je pri frakciji 4/8 mm znašal modul oblike (delež ploščatih zrn) 31,4 mas %, pri frakciji 8/16 mm pa 24,9 mas %. Razmeroma visok rezultat je po vsej verjetnosti posledica drobljenja v čeljustnem drobilcu. Naprave za predelavo agregata imajo običajno konusne ali udarne drobilce, kar močno izboljša obliko zrn. Domnevamo lahko, da bi bila oblika zrn, če bi bila opeka predelana v primernem industrijskem drobilcu, bolj izometrična.

## 3.2.1.4 Določevanje prostorninske mase in vpijanja vode

Rezultati prostorninske mase in vpijanja vode so podani v tabeli 28.

Tabela 28: Rezultati prostorninske mase in vpijanja vode

<b>Nazivna frakcija</b>	<b>0/4 mm</b>	<b>4/16 mm</b>
<b>Navidezna prostorninska masa (<math>\text{Mg/m}^3</math>)</b>	2,62	2,60
<b>Prostorninska masa suhega vzorca (<math>\text{Mg/m}^3</math>)</b>	1,99	1,99
<b>Prostorninska masa nasičenega površinsko suhega vzorca (<math>\text{Mg/m}^3</math>)</b>	2,23	2,23
<b>Vodovpojnost (mas. %)</b>	12,0	11,6



### 3.2.1.5 Odpornost na delovanje atmosferilij z magnezijevim sulfatom

Rezultati analize preskusa z magnezijevim sulfatom so prikazani v tabeli 29.

Tabela 29: Rezultati analize preskusa z magnezijevim sulfatom

	<b>Paralelka</b>	
	<b>1</b>	<b>2</b>
Masa vzorca pred preskusom (g)	427,58	421,72
Masa vzorca po preskusu (g)	179,36	169,28
Izguba mase (%)	58,05	59,86
<b>Povprečna izguba (%)</b>	<b>58,95</b>	

Preskus na  $\text{BaCl}_2$  je negativen.

Vrednost izgube mase pri preskusu, ki predstavlja simulacijo kristalizacije soli v poreh prostoru agregata, je visoka. To kaže na to, da je agregat slabo odporen na notranje pritiske zaradi kristalizacije soli in ledu. Znano je tudi, da je sama metoda zelo rigorozna in morda ni povsem primerna za napovedovanje obnašanja agregata v realnem okolju, ko so ti vgrajeni v različne kompozite (beton, asfalt). Z ozirom na to, da so moderni betoni gosti in malo prepustni, je ogroženost agregata zaradi morebitne degradacije pod vplivom soli verjetno majhna. Potrebno je preveriti predvsem mikrostrukturo teh betonov, predvsem stik med agregatom in cementno matrico. Pričakuje se, da bo zaradi pucolanske reakcije in morebitnega vsrkanja cementnega mleka v opečna zrna stik v primerjavi s stikom med naravnim agregatom in cementno matrico, bistveno izboljššan.

### 3.2.2 Preiskave svežega betona

#### 3.2.2.1 Preskušanje konsistence sveže betonske mešanice

##### 3.2.2.1.1 Posed svežega betona

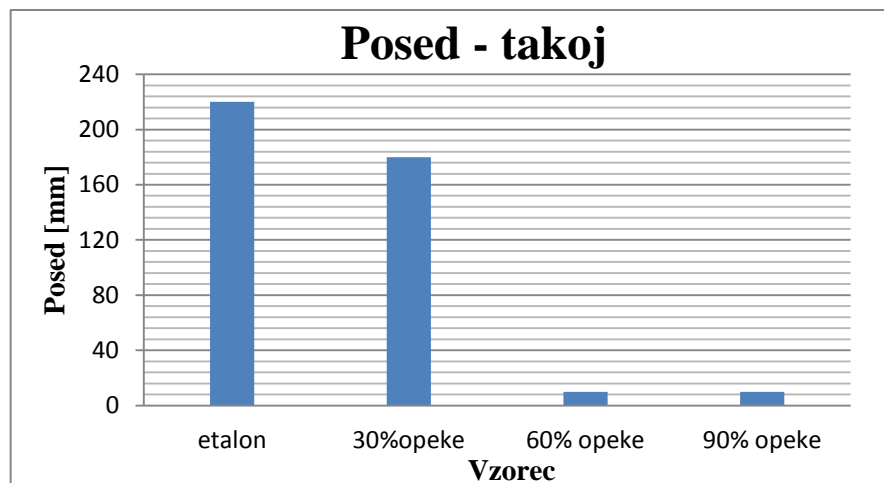
Rezultati poseda so prikazani v tabeli 30 in na slikah 58 in 59.

Tabela 30: Rezultati poseda

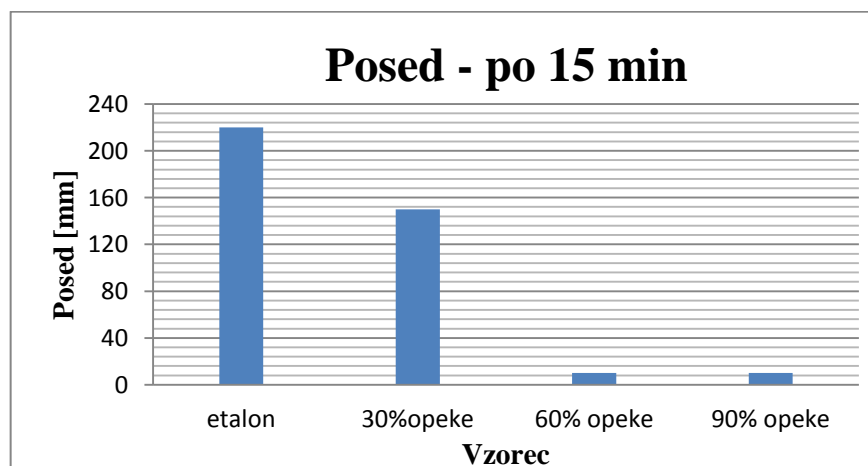
	Vzorec 1	Vzorec 2	Vzorec 3	Vzorec 4
<b>Posed takoj (mm)</b>	220	180	10	10
<b>Posed po 15 min (mm)</b>	220	150	10	10
<b>Oblika poseda</b>	Pravilna	Pravilna	Pravilna	Pravilna
<b>Razred</b>	S5	S4	S1	S1

Po standardu SIST EN 12350-2, ki navaja, da je metoda primerna za posede med 10 mm in 210 mm, ustrezajo tem kriterijem vzorci s 30 %, 60 % in 90 % recikliranega agregata iz opeke. Najboljše rezultate izkazuje vzorec 2 s 30 % agregata iz opeke, saj padejo rezultati med obe kritični meji, tako pri posedu »takoj«, kot tudi po 15 min.

Glede na tabelo 19 smo vzorec etalona uvrstili v razred S5, vzorec s 30 % recikliranega agregata iz opeke v S4, vzorca s 60 % in 90 % recikliranega agregata iz opeke pa v razred S1.



Slika 52: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti poseda svežega betona - "takoj"



Slika 53: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti poseda svežega betona - po 15 min

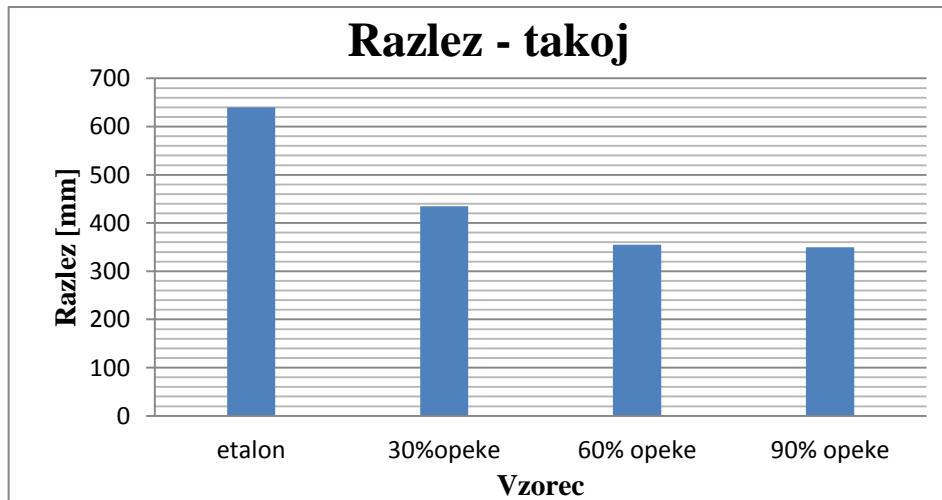
### 3.2.2.1.2 Razlez svežega betona

Rezultati razleza so prikazani v tabeli 31 in na slikah 54 in 55.

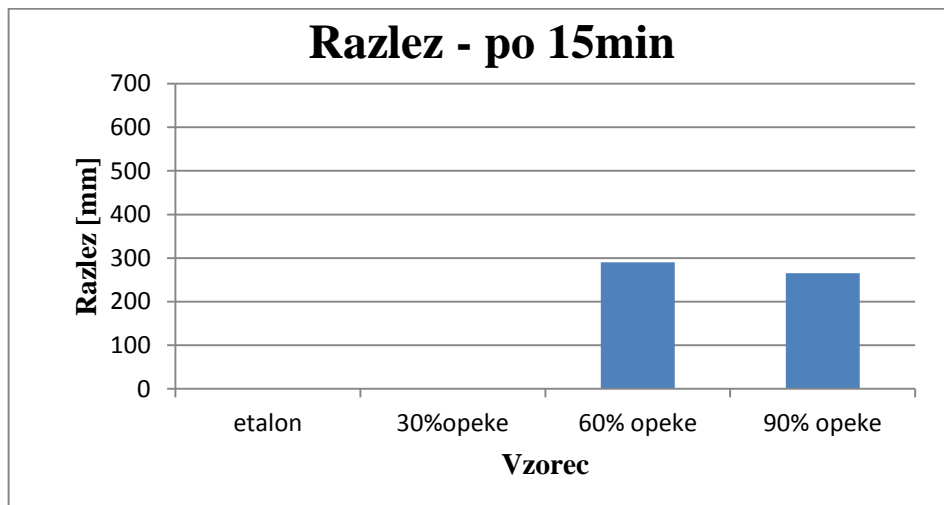
Tabela 31: Rezultati razleza

Oznaka vzorca	Vzorec 1	Vzorec 2	Vzorec 3	Vzorec 4
d <sub>1</sub> takoj (mm)	640	440	350	340
d <sub>2</sub> takoj (mm)	640	430	360	360
<b>Razlez takoj (mm)</b>	<b>640</b>	<b>435</b>	<b>355</b>	<b>350</b>
<b>Razred</b>	F6	F3	F2	F2
d <sub>1</sub> po 15 min (mm)	-	-	300	270
d <sub>2</sub> po 15 min (mm)	-	-	380	260
<b>Razlez po 15min (mm)</b>	-	-	<b>290</b>	<b>265</b>
<b>Razred</b>	-	-	F1	F1

Čas med končanim stresanjem in meritvijo je bil v vseh primerih 10 s. Glede na tabelo 20 smo vzorec etalona uvrstili v razred F6, vzorec s 30 % recikliranega agregata iz opeke v F3, vzorca s 60 % in 90 % recikliranega agregata iz opeke pa takoj po odstranitvi v razred F2, po času 15min pa v razred F1.



Slika 54: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti razleza svežega betona - "takoj"



Slika 55: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti razleza svežega betona - po 15 min

Standard SIST EN 12350-5 navaja, da je metoda določanja konsistence z razlezom primerna za betone, pri katerih je razlez v mejah med 350 in 620 mm. V našem primeru je etalon dosegel razlez 640 mm, torej vrednost izven priporočenega območja veljavnosti metode. Podobno je bilo pri posedu, kjer pa je izmerjen posed 220 mm še znotraj dovoljenih odstopanj od zgornje meje razreda S4. To pomeni, da je etalonska mešanica že na meji, ko običajni beton tekoče konsistence preide v lahko gradljivi beton. Pri betonih z vključenim recikliranim opečnim agregatom pa so konsistence v območju, ki je značilno za običajne betone. Če jih opišemo kvalitativno [37], ima Vzorec 2 takoj po zamešanju in po 15 minutah mehkoplastično konsistenco (če upoštevamo rezultate za posed in razlez), Vzorec 3 in Vzorec 4 pa takoj po zamešanju in po 15 minutah trdoplastično konsistenco (ob upoštevanju poseda in razleza). Kot lahko vidimo, vključitev opečnega agregata relativno neugodne oblike bistveno spremeni reološke lastnosti svežega betona, ki ga ni več mogoče vgrajevati s črpanjem, so pa možni drugi načini vgrajevanja. Problem bi lahko predstavljalo tudi spreminjanje (slabšanje) konsistence s časom, ki je verjetno posledica tega, da porozen opečni agregat vpija vodo. Vodo odvzema cementni pasti, ki postaja slabše obdelavna, kar vpliva tudi na obdelavnost betona.

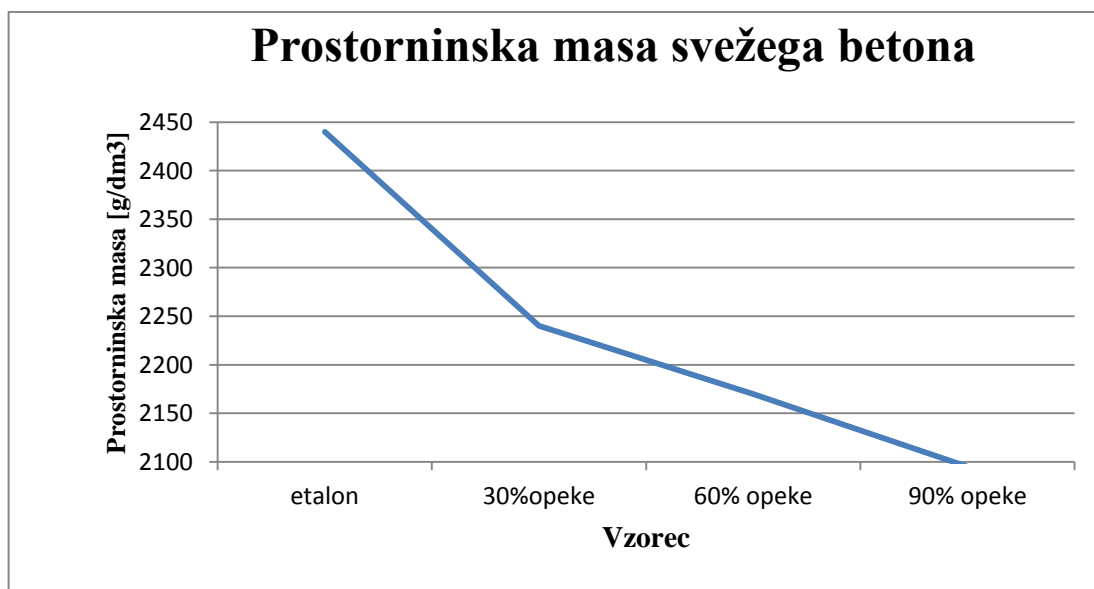
### 3.2.2.2 Prostorninska masa svežega betona

Rezultati prostorninske mase svežega betona so prikazani v tabeli 32 in na sliki 56.

Tabela 32: Rezultati prostorninske mase svežega betona

Vzorec	Vzorec 1	Vzorec 2	Vzorec 3	Vzorec 4
Gostota - D (g/dm <sup>3</sup> )	2440	2240	2170	2095

Prostorninska masa svežega betona se z večanjem količine agregata iz opeke zmanjšuje, kar je prikazano tudi na sliki 56. Etalon ima prostorninsko maso 2440 kg/m<sup>3</sup>, beton z 90 % agregata iz opeke pa 2095 kg/m<sup>3</sup>.



Slika 56: Grafični prikaz izmerjenih prostorninskih mas v svežem betonu

Vpliv vključitve recikliranega opečnega agregata v beton je z vidika njegovega vpliva na prostorninsko maso ugoden, saj zmanjša lastno težo betona. Čim večji je delež opečnega agregata, tem manjša je njegova prostorninska masa. Če primerjamo izmerjene rezultate za prostorninsko maso svežega betona in teoretično izračunane vrednosti, na podlagi podatkov v tabelah 14 do 17 in ob upoštevanju dejansko izmerjenih poroznosti, lahko ugotovimo, da se izmerjeni in teoretični rezultati dobro ujemajo, saj se razlike gibljejo od -20 kg/dm<sup>3</sup> do +40 kg/dm<sup>3</sup>.

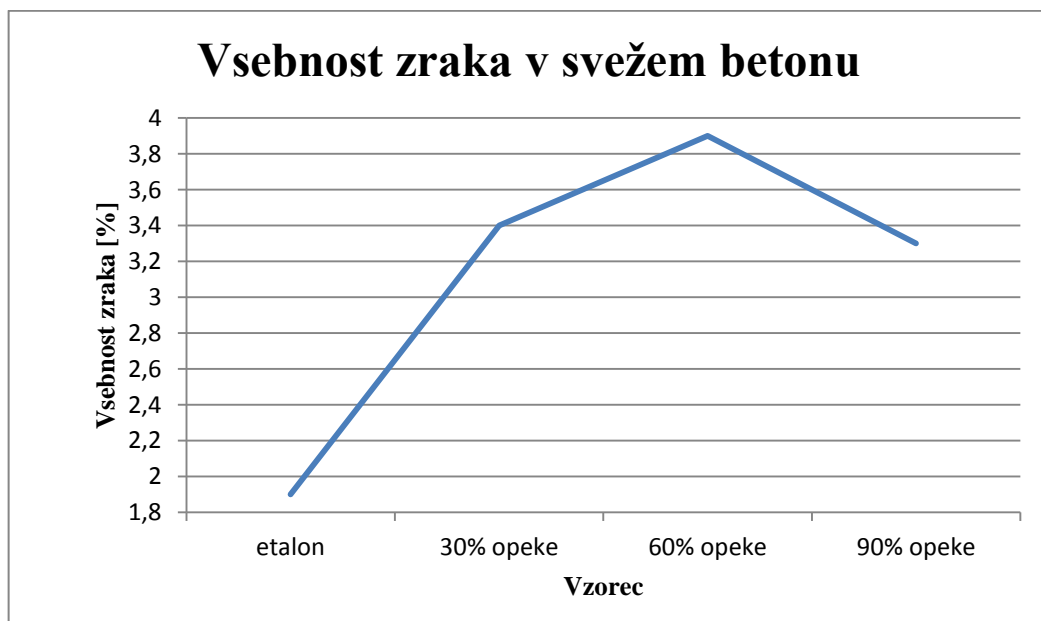
### 3.2.2.3 Vsebnost zraka v svežem betonu

Rezultati vsebnosti zraka v svežem betonu so prikazani v tabeli 33 in na sliki 57.

Tabela 33: Rezultati vsebnosti zraka v svežem betonu

Vzorec	Vzorec 1	Vzorec 2	Vzorec 3	Vzorec 4
Izmerjena vsebnost zraka (%)	1,9	3,4	3,9	3,3

Rezultati so pokazali, da je vsebnost zraka v svežem betonu, izdelanem iz naravnega agregata, bistveno manjša (okrog 2 %) kot v svežem betonu, v katerega smo vključili recikliran opečni agregat (od 3,3 do 3,9 %). Največjo vsebnost zraka smo izmerili pri betonu s 60 % opečnega agregata. Na podlagi dobljenih rezultatov pa za enkrat ne moremo oceniti morebitnega vpliva deleža recikliranih opečnih zrn v betonu na njegovo poroznost.



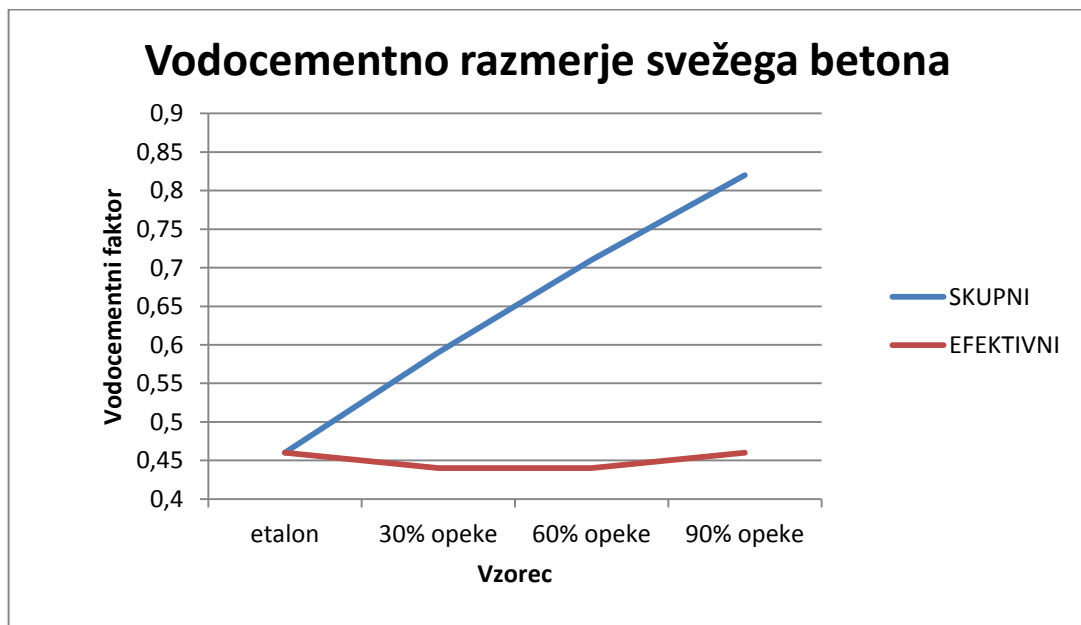
Slika 57: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti vsebnosti zraka v svežem betonu

### 3.2.2.4 Vodocementno razmerje svežega betona

Rezultati preiskave za določitev vodocementnega razmerja svežega betona so prikazani v tabeli 34 in na sliki 58.

Tabela 34: Rezultati vodocementnega razmerja svežega betona

Vzorec	Vzorec 1	Vzorec 2	Vzorec 3	Vzorec 4
<b>SKUPNO</b> vodocementno razmerje	<b>0,46</b>	<b>0,59</b>	<b>0,71</b>	<b>0,82</b>
<b>EFEKTIVNO</b> vodocementno razmerje		<b>0,44</b>	<b>0,44</b>	<b>0,46</b>



Slika 58: Grafični prikaz izmerjenih vrednosti vodocementnega razmerja svežega betona

Po pričakovanju so rezultati preiskave pokazali, da je skupno vodocementno razmerje pri betonu, izdelanem iz naravnega agregata najmanjše, z večanjem količine recikliranega agregata iz opeke pa se skupno vodocementno razmerje veča. Efektivno vodocementno razmerje je pri vseh štirih vzorcih približno enako, kar pomeni, da je vpijanje vode recikliranega agregata, ne glede na njegovo količino, vseskozi približno enako (lastnost opečnega materiala).

### 3.2.3 Preiskave strjenega betona

#### 3.2.3.1 Porušne metode

##### 3.2.3.1.1 Tlačna trdnost betona

Tlačna trdnost je osnovna mehanska lastnost, ki karakterizira beton. Nosilnost betonske konstrukcije je neposredno odvisna od tlačne trdnosti. Vrednost tlačne trdnosti nam lahko pove, ali je beton izdelan iz recikliranega agregata iz opeke, primeren za konstrukcijske namene. Tlačna trdnost preiskanih vzorcev betona je podana v tabelah 35-37 ter na sliki 59.

Tabela 35: Rezultati tlačne trdnosti po 2 dneh

Vzorec	Oznaka preskušanca	Sila pri poružitvi (kN)	Tlačna trdnost preskušanca (MPa)	Povprečna tlačna trdnost (MPa)
<b>Vzorec 1</b>	1	727	<b>32,3</b>	<b>32,8</b>
	2	733	<b>32,6</b>	
	3	753	<b>33,5</b>	
<b>Vzorec 2</b>	1	751	<b>33,4</b>	<b>31,8</b>
	2	715	<b>31,8</b>	
	3	682	<b>30,3</b>	
<b>Vzorec 3</b>	1	597	<b>26,5</b>	<b>25,9</b>
	2	564	<b>25,1</b>	
	3	584	<b>26,0</b>	
<b>Vzorec 4</b>	1	496	<b>22,0</b>	<b>21,5</b>
	2	478	<b>21,2</b>	
	3	481	<b>21,4</b>	

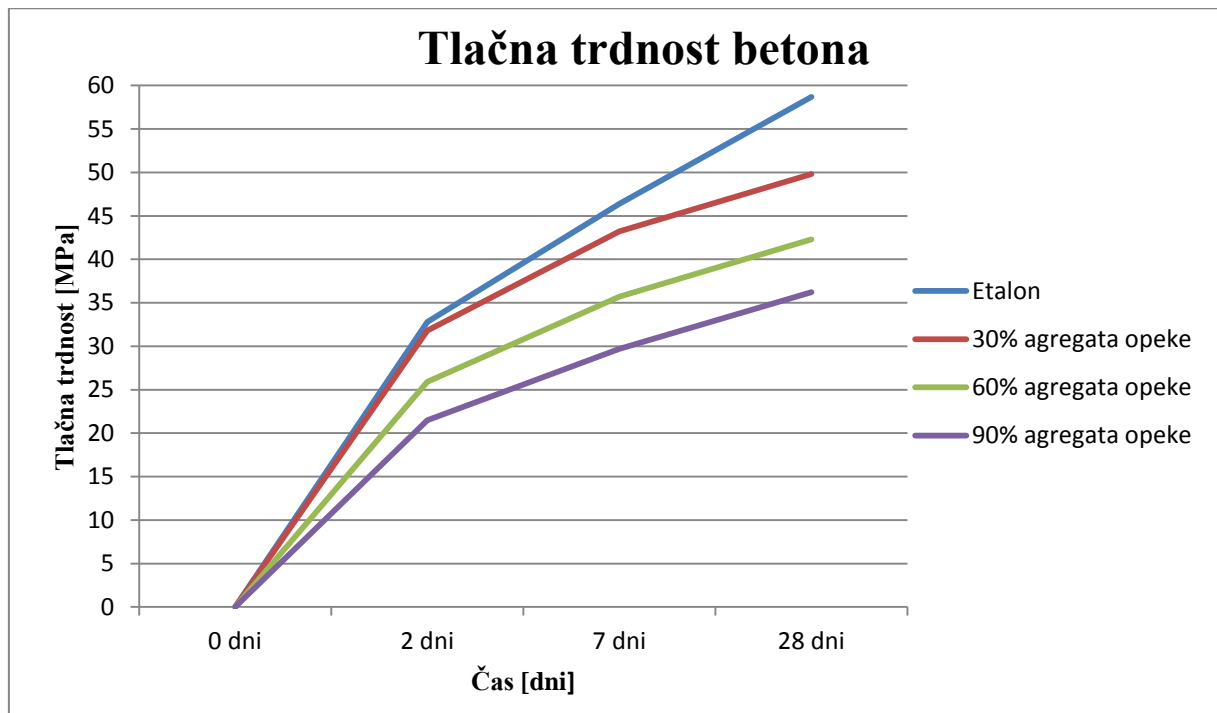
Tabela 36: Rezultati tlačne trdnosti po 7 dneh

Vzorec	Oznaka preskušanca	Sila pri poružitvi (kN)	Tlačna trdnost preskušanca (MPa)	Povprečna tlačna trdnost (MPa)
<b>Vzorec 1</b>	4	1060	<b>47,1</b>	<b>46,4</b>
	5	1033	<b>45,9</b>	
	6	1038	<b>46,1</b>	
<b>Vzorec 2</b>	4	968	<b>43,0</b>	<b>43,2</b>
	5	959	<b>42,6</b>	
	6	992	<b>44,1</b>	
<b>Vzorec 3</b>	4	805	<b>35,8</b>	<b>35,7</b>
	5	814	<b>36,2</b>	
	6	793	<b>35,2</b>	
<b>Vzorec 4</b>	4	685	<b>30,4</b>	<b>29,7</b>
	5	664	<b>29,5</b>	
	6	660	<b>29,3</b>	



Tabela 37: Rezultati tlačne trdnosti po 28 dneh

Vzorec	Oznaka preskušanca	Sila pri poružitvi (kN)	Tlačna trdnost preskušanca (MPa)	Povprečna tlačna trdnost (MPa)
Vzorec 1	8	1323	58,8	58,7
	9	1318	58,6	
Vzorec 2	7	1126	50,0	49,8
	8	1140	50,7	
	9	1095	48,7	
Vzorec 3	7	960	42,7	42,3
	8	930	41,3	
	9	967	43,0	
Vzorec 4	7	790	35,1	36,2
	8	850	37,8	
	9	805	35,8	



Slika 59: Grafični prikaz tlačne trdnosti betona v odvisnosti od časa

Primerjave dobljenih rezultatov kažejo, da se tlačne trdnosti betonov z večanjem količine recikliranega agregata iz opeke manjšajo. S starostjo se sicer tlačna trdnost betonov pričakovano povečuje, se pravi starejši kot je beton, večja je njegova tlačna trdnost (velja za vse vrste betonov).

Če klasificiramo vzorce betona s tlačnimi trdnostmi po 28 dneh po standardu SIST EN 206-1 (tabela 21), spada etalon v razred tlačne trdnosti C35/45 (morda C40/50, vendar potrebujemo več rezultatov preiskav), vzorec s 30 % recikliranega agregata iz opeke v razred C30/37, vzorec s 60 % recikliranega agregata iz opeke v razred C25/30 in vzorec s 90 % recikliranega agregata opeke v razred C20/25 (morda C25/30, vendar potrebujemo več rezultatov preiskav).

Ugotovimo lahko da so, kar se tiče tlačne trdnosti, za konstrukcijske namene primerne betonske mešanice z vključenim deležem recikliranega opečnega agregata do vključno 60%, pri katerih lahko zagotovimo razred tlačne trdnosti vsaj C25/30. Za vgrajevanje na gradbišču, kjer je zelo pomembna

ustrezno plastična konsistenca betona, je primeren le beton z do vključno 30% recikliranega opečnega agregata, za deleže recikliranega agregata med 30 in 60% pa je beton bolj primeren za predizdelane konstrukcijske elemente ali za v obratu izdelane konstrukcijske elemente.

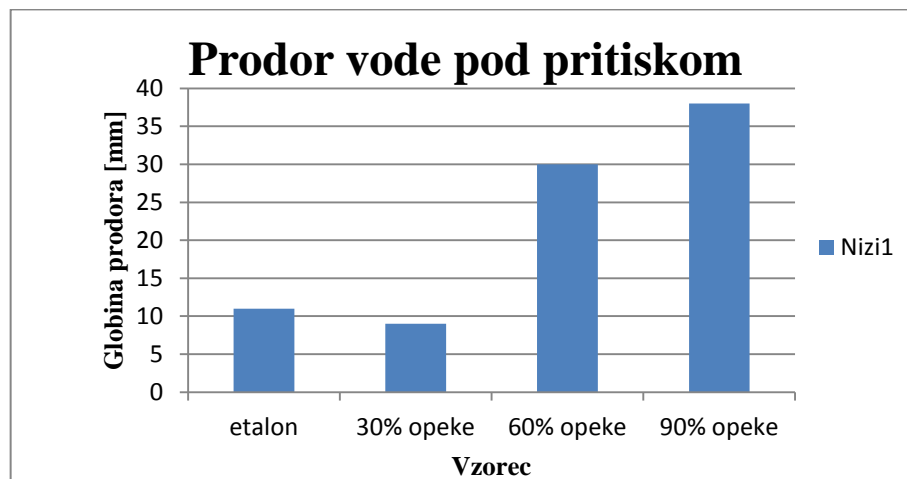
### 3.2.3.1.2 Globina prodora vode pod pritiskom

Rezultati globine prodora vode pod pritiskom so prikazani v tabeli 38 in na sliki 60.

Tabela 38: Maksimalna globina prodora vode pod pritiskom

Vzorec	Max prodor vode (mm)	Povprečna vrednost prodora vode (mm)
Vzorec 1	10	11
	15	
	8	
Vzorec 2	9	9
	6	
	13	
Vzorec 3	35	30
	24	
	30	
Vzorec 4	32	38
	37	
	44	

Rezultati analize kažejo, da je bil prodor vode pod pritiskom največji v betonu z največjo vsebnostjo recikliranega agregata, kar je v skladu s pričakovanji. Najmanjša globina prodora vode pripada vzorcu s 30 % recikliranega agregata. Izmerjena vrednost je takorekoč enaka vrednosti, ki smo jo dobili pri etalonu. Zaradi relativno slabe ponovljivosti preskusne metode je namreč raztros rezultatov pogosto velik, zato je dovolj ugotovitev, da imata etalonska mešanica in beton s 30 % recikliranega agregata najvišjo stopnjo odpornosti proti prodoru vode (PV-III) v skladu s SIST 1026:2008. Beton s 60 % deležem recikliranega agregata ustreza stopnji PV-II, beton z 90% deležem recikliranega agregata pa stopnji PV-I. To pomeni, da se globina prodora vode večja z večanjem deleža recikliranega opečnega agregata nad 30 %. Posledično se manjša obstojnost betona povezana s prodorom škodljivih snovi in vode v strukturo betona.



Slika 60: Grafični prikaz globine prodora vode pod pritiskom

### 3.2.3.1.3 Kemična analiza izlužka iz strjenega betona

Izvedena je bila le analiza svinca, kot kritičnega elementa, ki je v recikliranem agregatu presegal vrednost za inertnost. Rezultati kemične analize izlužka iz strjenega betona po treh dneh so prikazani v tabeli 39.

Tabela 39: Rezultati vsebnosti svinca v izlužku strjenega betona po treh dneh

<b>Vzorec</b>	<b>Mejna vrednost za Pb (mg/kg s.s.)</b>	<b>Rezultat za Pb (mg/kg s.s.)</b>
<b>Vzorec 2</b>	0,5	<0,05
<b>Vzorec 3</b>	0,5	<0,05
<b>Vzorec 4</b>	0,5	<0,05

Iz zgoraj podanih rezultatov lahko zaključimo, da je svinec, ki je bil v izlužku recikliranega agregata iz opeke presežen (tabela 25), v cementni matrici uspešno imobiliziran. Vrednost svinca v izlužku je celo pod mejo detekcije. Odpadek iz kontaminirane opeke iz območja stare Cinkarne Celje je s tega vidika primeren agregat za izdelavo konstrukcijskih in nekonstrukcijskih betonov.

### 3.2.4 Skupni rezultati

V tabeli 40 je podan pregled mehansko fizikalnih lastnosti svežega in strjenega betona.

Tabela 40: Izbor mehansko fizikalnih lastnosti svežega in strjenega betona

Lastnost	Vzorec 1	Vzorec 2	Vzorec 3	Vzorec 4
<b>Vsebnost cementa (kg)</b>	380	380	380	380
<b>Posed takoj (mm)</b>	220	180	10	10
<b>Posed po 15 min (mm)</b>	220	150	10	10
<b>Razlez takoj (mm)</b>	640	435	355	350
<b>Razlez po 15 min (mm)</b>	-	-	290	265
<b>Gostota (g/dm<sup>3</sup>)</b>	2440	2240	2170	2095
<b>Izmerjena vsebnost zraka (%)</b>	1,9	3,4	3,9	3,3
<b>EFEKTIVNO vodocementno razmerje</b>	0,46	0,44	0,44	0,46
<b>Povprečna tlačna trdnost po 28 dneh (MPa)</b>	58,7	49,8	42,3	36,2
<b>Povprečna globina prodora vode (mm)</b>	11	9	30	38

Na podlagi kriterijev podanih v standardih SIST EN 206-1 in SIST 1026 smo klasificirali vse štiri vzorce betonov, izdelanih v sklopu diplomskega dela, v ustrezne razrede ter na podlagi njih določili stopnjo izpostavljenosti, na katero naj bi bil beton odporen. Pomen oznak za stopnje izpostavljenosti je razložen v Tabeli 24. Tukaj je potrebno poudariti, da bi bilo v prihodnje potrebno opraviti še določene preiskave na strjenih betonih, kot so odpornost proti zmrzovanju/tajanju brez in v prisotnosti talilnih soli, krčenje in lezenje, odpornost na obrabo, drsnost, itd. Šele ob upoštevanju rezultatov teh preiskav in ponovitvi preiskav, opravljenih v okviru te diplomske naloge, na večjem številu vzorcev, bi lahko z gotovostjo določili stopnje izpostavljenosti za obravnavane betone, ki vsebujejo recikliran opečni agregat s področja stare Cinkarne.

Vzorec 1 (etalon) ima efektivno vodocementno razmerje 0,46. Povprečna globina prodora vode je 11 mm, kar pomeni, da ga lahko uvrstimo v razred PV-III. Povprečna tlačna trdnost betona je 58,7 MPa, kar ga uvrsti v razred tlačne trdnosti vsaj C35/45. V svežem stanju je beton enostavno vgradljiv, saj ga lahko že uvrstimo v skupino lahkovgradljivih betonov, pri katerih potrebujemo minimalne vibracije za zgostitev v opažu.

Vzorec 2 s 30 % recikliranega agregata iz opeke ima efektivno vodocementno razmerje 0,44, kar pomeni, da je cementna pasta nekoliko manj porozna kot pri etalonski mešanici. Povprečna globina prodora vode je 9 mm, kar pomeni, da ga lahko uvrstimo v razred PV-III, tako kot etalonski beton. Povprečna tlačna trdnost betona je 49,8 MPa, kar ga uvrsti v razred tlačne trdnosti C30/37. Nižji razred tlačne trdnosti je posledica kombinacije večjega deleža zajetega zraka, šibkih opečnih agregatnih zrn ter njihove neugodne oblike. Če upoštevamo predpostavko, da beton ni zmrzlinško obstojen in ni odporen na kristalizacijo soli, ker na te vplive ni odporen recikliran opečni agregat, lastnosti betona izpolnjujejo zahteve za stopnje izpostavljenosti X0, in XC1- XC4, v skladu s SIST EN 206-1 (Tabela 12). Glede na Tabelo 23 (tabela N.4 v SIST 1026) pa lahko Vzorec 2 uvrstimo v razreda X0 ali XC1, kjer je stopnja agresivnosti nizka ter XC2 in XC3, kjer je stopnja agresivnosti okolja zmerna. To pomeni, da je Vzorec 2 primeren vsaj za izdelavo tistih konstrukcijskih betonskih elementov, ki morajo biti odporni na stopnjo izpostavljenosti XC3. Glede na doseženo konsistenco svežega betona lahko le tega vgrajujemo tako na gradbišču kot v obratu za predizdelane elemente.

Vzorec 3 s 60 % recikliranega agregata iz opeke ima efektivno vodocementno razmerje 0,44 in povprečno tlačno trdnost 42,3 MPa, kar ga uvrsti v razred tlačne trdnosti C25/30. Povprečna globina prodora vode pod pritiskom je 30 mm, kar pomeni, da ga lahko uvrstimo v razreda PV-II. Glede na določila SIST EN 206-1 (Tabela 12) lahko tak beton vgradimo v konstrukcijske elemente, odporne na

stopnje izpostavljenosti X0 ter XC1 in XC2, glede na določila SIST 1026 (Tabela 23) pa poleg teh še na stopnjo izpostavljenosti XC3. Razlika od Vzorca 2 pa je v konsistenci, ki je trdoplastična in zato primerna le za vgraditev v predizdelane konstrukcijske elemente v obratih.

Vzorec 4 z 90 % recikliranega agregata iz opeke ima efektivno vodocementno razmerje 0,46 in povprečno tlačno trdnost 36,2, kar ga uvrsti v razred tlačne trdnosti C20/25, morda celo LC20/25 (lahki beton). Na strjenem betonu prostorninske mase v okviru te diplome nismo določali, zato ni mogoče z gotovostjo reči, da spada Vzorec 4 že med lahke betone. V svežem stanju pa je njegova prostorninska masa blizu  $2000 \text{ kg/dm}^3$ , kar je blizu zgornje meje za lahke betone. Povprečna globina prodora vode je 38 mm, ena od treh izmerjenih vrednosti pa je 44 mm, kar pomeni, da lahko beton uvrstimo v razred PV-I. Glede na določila SIST EN 206-1 (Tabela 12) lahko tak beton vgradimo v konstrukcijske elemente, odporne na stopnje izpostavljenosti X0 in XC1, glede na določila SIST 1026 (Tabela 23) pa poleg teh še na stopnji izpostavljenosti XC2 in XC3. Tako kot pri Vzorcju 3 je tudi pri Vzorcju 4 konsistenca trdoplastična in zato primerna le za vgraditev v predizdelane konstrukcijske elemente v obratih.

### 3.2.5 Primerjava rezultatov diplomske naloge z rezultati preiskav na Portugalskem

V nadaljevanju bom rezultate mojih preiskav primerjala z rezultati Cachima [38] iz Portugalske, ki je prav tako izvajal raziskave na recikliranem agregatu iz opeke in betonih, izdelanih s tem agregatom. V članku so prikazani rezultati za betonska kompozita, kjer je recikliran agregat iz opeke nadomestil 15 mas % in 30 mas % naravnega agregata, pri dveh različnih vodocementnih razmerjih, in sicer 0,45 in 0,5. Določena je bila prostorninska masa svežega betona, tlačna trdnost, natezna trdnost, modul elastičnosti in napetostno-deformacijsko obnašanja strjenega betona.

Cachima ugotavlja, da se lastnosti betona ob zamenjavi 15 % naravnega agregata z recikliranim agregatom iz opeke ne spremenijo, medtem ko pri večjih deležih zamenjave do njih pride. Vrednost vpijanja vode za recikliran agregata je bila 16 % in 19 %, indeks oblike zrn 30 % in 16 % in prostorninska masa 2146 za vzorec s 15 % agregata iz opeke in 2233 kg/m<sup>3</sup> za vzorec s 30% agregata iz opeke. Tlačna trdnost betona je z večanjem količine recikliranega agregata padala in je po 28 dneh znašala od 24,5 do 38,5MPa.

V okviru diplomske naloge, kjer smo uporabili nekoliko večja razmerja zamenjave naravnega agregata z recikliranim agregatom iz opeke pa smo ugotovili, da najboljše rezultate izkazuje kompozit s 30 % agregata iz opeke. Lastnosti betona se skorajda niso razlikovale od betona z naravnim agregatom - etalonom. Prostorninska masa se giblje med 2095 kg/m<sup>3</sup> za vzorec z 90 % agregata iz opeke do 2440 kg/m<sup>3</sup> za vzorec z 0 % agregata iz opeke. Tlačna trdnost po 28 dneh je znašala od 36,2 pri 90 % deležu recikliranega agregata iz opeke do 58,7MPa pri etalonu. Ugotovili smo, da se z večanjem količine recikliranega agregata iz opeke v betonu njegova tlačna trdnost zmanjšuje.

Cachim navaja, da je tak beton potencialno uporaben za izdelavo predizdelanih elementov (armiranobetonske industrijske hale, namenjene za izvedbo različnih industrijskih objektov, delavnic, skladišč, trgovskih centrov, telovadnic,...), kar je v skladu z našimi ugotovitvami za betona s 60 % in 90 % deležem recikliranega agregata. Beton s 30 % deležem agregata pa bi lahko uporabili tudi za izdelavo monolitnih armiranobetonskih konstrukcij na gradbišču, še posebej, če bi uporabili predhodno navlažen recikliran opečni agregat.

V tabelah 41 - 44 so prikazane primerjave vrednosti projektiranih in doseženih vrednosti poseda, prostorninske mase, poroznosti in vodocementnega razmerja za vse štiri vzorce.

Tabela 41: Karakteristike betona - vzorec 1

<b>KARAKTERISTIKE</b>	<b>PROJEKTIRANO</b>	<b>DOSEŽENO</b>	
Posed	12 cm	0min: 22cm	po 15min: 22cm
Prostorninska masa	2418 kg/m <sup>3</sup>	2440 kg/m <sup>3</sup>	
Poroznost	2,0%	1,9%	
v/c - vodocementno razmerje	0,48	Skupno: 0,46	

Tabela 42: Karakteristike betona - vzorec 2

<b>KARAKTERISTIKE</b>	<b>PROJEKTIRANO</b>	<b>DOSEŽENO</b>	
Posed	12 cm	0min: 18cm	po 15 min: 15cm
Prostorninska masa	2306 kg/m <sup>3</sup>	2240 kg/m <sup>3</sup>	
Poroznost	2,0%	3,4%	
v/c - vodocementno razmerje	0,60	Skupno: 0,59	Efektivno: 0,44

Tabela 43: Karakteristike betona - vzorec 3

<b>KARAKTERISTIKE</b>	<b>PROJEKTIRANO</b>	<b>DOSEŽENO</b>	
Posed	12 cm	1cm	
Prostorninska masa	2188 kg/m <sup>3</sup>	2170 kg/m <sup>3</sup>	
Poroznost	2,0%	3,9%	
v/c - vodocementno razmerje	0,74	Skupno: 0,71	Efektivno: 0,44

Tabela 44: Karakteristike betona - vzorec 4

<b>KARAKTERISTIKE</b>	<b>PROJEKTIRANO</b>	<b>DOSEŽENO</b>	
Posed	12 cm	1cm	
Prostorninska masa	2108 kg/m <sup>3</sup>	2095 kg/m <sup>3</sup>	
Poroznost	2,0%	3,3%	
v/c - vodocementno razmerje	0,83	Skupno: 0,82	Efektivno: 0,46

## 4 ZAKLJUČEK

Agregati so ena izmed najpomembnejših skupin gradbenih materialov. Agregat predstavlja kar 60 - 80 vol. % cementnega ali asfaltnega betona. Potreba po trajnostnem ravnanju z viri in problemi z nastajanjem in odlaganjem velike količine odpadkov nas silijo v razmišljanje in aktivnosti glede možnosti uporabe novih virov, kot so npr. reciklirani agregati. K temu pa nas obvezujejo tudi okoljski cilji, ki jih je prevzela in se k njim zavezala država, kot je npr. 70 % recikliranje gradbenih odpadkov do leta 2020.

V diplomskem delu smo skušali ovrednotiti vpliv recikliranega agregata, pridobljenega iz opeke iz območja stare Cinkarne v Celju, na obnašanje svežega in strjenega betona. V ta namen smo opravili sklop laboratorijskih preiskav na recikliranem agregatu ter svežem in strjenem betonu. Pozornost smo posvetili tudi vplivom na okolje, saj je kemična analiza recikliranega agregata iz opeke pokazala povečano vsebnost svinca, zaradi česar odpadke ne spada več v skupino inertnih odpadkov, ampak ga uvrščamo med nenevarne odpadke.

Rezultati analiz recikliranega agregata iz opeke so pokazali, da je recikliran agregat v pogledu zrnavosti primeren za vgradnjo v betonske kompozite, saj se krivulja zrnavosti lepo umešča med mejni krivulji A in C po SIST 1026, medtem ko je odpornost na kristalizacijo soli in zmrzljinska odpornost recikliranega agregata slaba, saj je bila izguba materiala zaradi kristalizacije soli zelo velika. Prav tako smo, glede na referenčni naravni agregat, opazili povišano vsebnost vpijanja vode in delež zrn nepravilne oblike. Je pa tukaj potrebno poudariti, da smo za določitev lastnosti recikliranega agregata uporabili metode, ki se uporabljajo za naravne mineralne agregate, zato določeni rezultati niso popolnoma relevantni. Tukaj bi izpostavili le sejalno analizo agregata, ki lahko povzroči drobljenje ali vsaj brušenje zrn recikliranega opečnega agregata med preiskavo, kar je lahko vzrok za povečan delež zrn manjših od 0,25 mm. Pričakovati je, da bodo v bližnji prihodnosti za reciklirane agregate stopile v veljavo nove analitske metode, ki bodo bolj realno opredelile in vrednotile lastnosti teh agregatov. Do takrat pa je morda bolje, da se uporabljajo vsaj modifikacije obstoječih preskusnih metod, ki so bile razvite za določanje lastnosti lahkih agregatov.

Preiskave svežih betonskih mešanic so pokazale, da izmed betonov z vključenim recikliranim opečnim agregatom najboljše rezultate glede konsistence izkazuje vzorec, kjer smo naravni agregat zamenjali s 30 % recikliranega agregata iz opeke. Tak beton je mogoče vgraditi tudi na gradbišču v monolitne armiranobetonske konstrukcije, še posebej, če je možno uporabiti predhodno navlažen agregat. Vzorca s 60 % in 90 % recikliranega agregata iz opeke, pri katerih je bil posed blizu 0 (trdoplastična ali zemeljsko vlažna konsistenca) pa sta primerna za predizdelane elemente v obratih, kjer zgoščujejo beton v opažih s pomočjo opažnih vibratorjev. Vsebnost zraka v svežem betonu se pri vseh treh vzorcih z recikliranim agregatom iz opeke giblje okoli 3,5 %, kar nekoliko zmanjša trdnost betona, v primerjavi z betonom brez recikliranega agregata. Efektivno vodocementno razmerje je ob prisotnosti agregata iz opeke okoli 0,44, kar zagotavlja ustrezno trdnost in obstojnost cementnega kamna.

Preiskave na strjenem betonu so pokazale, da tlačne trdnosti s starostjo betona naraščajo v vseh vzorcih, kar je v skladu s pričakovanji, medtem ko se tlačna trdnost manjša z večanjem vsebnosti recikliranega agregata. Tako je bila povprečna tlačna trdnost betona po 28 dneh na etalonskem vzorcu 59 MPa, na vzorcu s 30 % recikliranega agregata iz opeke 50 MPa, na vzorcu s 60 % recikliranega agregata iz opeke 42 MPa in na vzorcu z 90 % recikliranega agregata 36 MPa. Ugotovimo lahko, da sta vzorca s 30 % in 60 % recikliranega agregata iz opeke vsekakor primerna za izdelavo konstrukcijskih betonov, saj je ocenjena karakteristična tlačna trdnost betonov pri starosti 28 dneh, na podlagi katere določimo razred tlačne trdnosti betona, večja od 30 MPa. V skladu z določili v Aneksu A Fpr EN 206:2013 se namreč karakteristična tlačna trdnost betona določi kot povprečna tlačna trdnost zmanjšana za 2-kratnik standardne deviacije, ki se giblje med 3 in 6 MPa. Ker lahko sklepamo, da bo z uporabo recikliranega opečnega agregata standardna deviacija lastnosti betona večja, kot pri betonih iz naravnih mineralnih agregatov (to so pokazale že naše preiskave), lahko predpostavimo za obravnavane betone standardno deviacijo 5 ali 6 MPa. Karakteristična tlačna trdnost betona z 90 % deležem recikliranega opečnega agregata je tako enaka 25 MPa in je na spodnji meji za konstrukcijske



betone ter je v času današnje tehnologije na področju betona primerna le za omejena področja uporabe, na primer za gradnjo pomožnih objektov, kot so manjše garaže, nadstreški, itd.

Na podlagi rezultatov dosedanjih preiskav lahko ugotovimo, da so za konstrukcijske namene primerni predvsem betoni z do 60 % vključenega recikliranega opečnega agregata iz opeke, ki je bila po naših predpostavkah vgrajena v objekte stare Cinkarne Celje. Pri manjših deležih recikliranega agregata je možna uporaba betona za izdelavo monolitnih armiranobetonskih konstrukcij, pri večjih deležih pa je bolj primerna uporaba betona za konstrukcijske elemente izdelane v obratu (montažne konstrukcije). Seveda ta ugotovitev temelji na recikliranem opečnem agregatu, kot je bil uporabljen v diplomski nalogi (neugodna oblika zrn in suha zrna, ki so vpila veliko vode). Izbira bolj primernega drobilca, s katerim bi dobili zrna bolj ugodne oblike in predhodno navlaženje recikliranega agregata, ki bi zmanjšalo vpijanje vode s strani agregatnih zrn med mešanjem betona ter spreminjanje konsistence s časom, bi verjetno omogočila izdelavo betonov z recikliranim opečnim agregatom, ki bi dosegali ustrezne lastnosti v svežem in strjenem stanju tudi pri večjih deležih recikliranega agregata.

Konstrukcijski betoni iz recikliranega opečnega agregata so za vse tri obravnavane betonske mešanice odporni na pogoje okolja, določene s stopnjami izpostavljenosti X0 in XC1, pri največ 60 % deležu recikliranega agregata tudi na stopnjo XC2 ter pri največ 30 % deležu recikliranega agregata tudi na stopnji XC3 in XC4 (upoštevamo le določila SIST EN 206-1). V skladu z Dodatkom 1 standarda SIST 1026 bi torej te betone lahko uporabili za gradnjo različnih stavb in inženirskih objektov. Tukaj bi izpostavili le nekatere objekte, za katere bi lahko (morda ne za vse konstrukcijske elemente) uporabili betone z deležem recikliranega opečnega agregata do 60 %: industrijske in športne hale, nakupovalni centri, skladišča, garažne hiše, razstavišča, stolpi, itd. Dodatne preiskave na strjenih betonih, s pomočjo katerih bi preverili še odpornost betonov z recikliranim opečnim agregatom na zmrzovanje/tajanje brez in v prisotnosti talilnih soli, njihovo odpornost na delovanje različnih kemikalij itd., bi lahko pokazale, da so tovrstni betoni odporni tudi na druge stopnje izpostavljenosti. V tem primeru bi bil seveda nabor objektov, za gradnjo katerih bi lahko uporabili tovrstne betone, bistveno večji.

Najvažnejši rezultat glede okoljevarstvenih ukrepov je vsekakor inerten izlužek iz strjenega betona. Rezultati analize so namreč pokazali, da čeprav je izlužek iz recikliranega opečnega agregata vseboval koncentracijo svineca nad mejno vrednostjo za inertnost, je bila koncentracija svineca v izlužku iz betona, pripravljenega s tem agregatom, pod mejo detekcije. Nevarno snov (svinec), ki jo je vseboval odpadke opeke, smo tako imobilizirali.

Kljub navedenemu pa si glede na izkušnje iz preteklih let z betoni, ki so vsebovali radioaktiven EF pepel, radioaktivno žlindro, azbest, ... gradbeniki ne moremo privoščiti, da bi se čez nekaj deset let pokazalo, da se potencialno nevarne snovi za zdravje ljudi zaradi propadanja materiala izločijo v okolje. Zato velja v gradbeništvu neke vrste »etični kodeks«, ki pravi, da se v stanovanjskih zgradbah, šolah, vrtcih itd ne uporabljajo materiali, ki bi lahko postali v prihodnosti oporečni, čeprav rezultati preiskav s pomočjo metod, ki jih poznamo danes ter kriteriji, ki veljajo danes kažejo, da material ni nevaren za zdravje ljudi. Obstaja namreč veliko drugih možnosti uporabe takega betona v gradbeništvu, ki sem jih predhodno že navedla.

## VIRI

- [1] Preverba okoljskih razmer na širšem območju Stare Cinkarne. 2000. PVO1/00, poročilo št. D3/636, ZZV Celje: 24 - 25.
- [2] Šajn, R. 1999. Geokemične lastnosti urbanih sedimentov na ozemlju Slovenije = Geochemical properties of urban sediments on the territory of Slovenia. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: VII, str. 136.
- [3] Uršič, A., Gobec, M., Antončič, J., Bošnjak, K. 2013. Poročilo o preiskavah vzorcev. Naročnik: Mestna občina Celje, Lokacija nastanka: Območje Gaberje-Jug. Celje, Zavod za zdravstveno varstvo Celje. Št. poročila: 6030202-13-003.
- [4] Ribarič Lasnik, C., Grabner, B., Sirše, T., Grilc, V., Husić, M. 2005. Ocena o stanju okolja na območju »stare Cinkarne« - vmesno poročilo. Celje, Ekoremediacijski tenološki center. Pogodba 10/2005.
- [5] Grilc, V., Venturini, S. 2005. Geotehnično poročilo in poročilo kemijskih analiz. Ljubljana, i-n-i Podjetje za geotehnični & gradbeni inženiring d.o.o. Poročilo št.: 1913/2005.
- [6] Grilc, V., Husić, M., Jazbinšek, A. 2005. Ocena onesnaženosti zemljine in podzemne vode z lokacije Stare Cinkarne, Celje. Ljubljana: Kemijski inštitut Ljubljana Slovenija. KI-DP-2348.
- [7] Vovk Korže, A., Sajovic, A. 2009. Občinski program varstva okolja za mestno občino Celje (2009 -2013). Celje, Inštitut za promocijo varstva okolja, Maribor. Št. pogodbe: NMV-015/08-S.
- [8] Lobnik, F., Maček, J., Prus, T., Ruprecht, J., Hodnik, A., Hrustl-Majcen, M., Zupan, M. 1989. Agronomske raziskave in varstvo okolja. V: Lah, A. (ur.). Slovenija 88: [okolje in razvoj : zbornik]. Ljubljana, Slovenska akademija znanosti in umetnosti: str. 220-239.
- [9] Zupan, M., Hudnik, V., Lobnik, F., Kadunc, V. 1997. Accumulation of Pb, Cd and Zn from contaminated soil to various plants and evaluation of soil remediation with indicator plant (*Plantago lanceolata* L.). V: PROST, R. (ur.). 3rd International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Paris (France), May 15-19, 1995. Contaminated soils : [proceedings], (Les Colloques, -No. 85): str. 325-335.
- [10] Zupan, M., Grčman, H., Tič, I., Lobnik, F., Šporar, M., Kralj, T. 2009. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije v letu 2008. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Center za pedologijo in varstvo okolja. 3 zv. str. 55, 198, 147 f.
- [11] Zupan, M., Hudnik, V., Lobnik, F., Grčman, H. 1996. Akumulacija kadmija, svinca in cinka v nekaterih kmetijskih rastlinah. V: Raspor, P. (ur.), Pitako, D. (ur.), Hočevar, I. (ur.). 1. slovenski kongres o hrani in prehrani z mednarodno udeležbo, Bled, 21.-25. april 1996. Tehnologija, hrana, zdravje: knjiga izvlečkov: book of abstracts. Ljubljana, Društvo živilskih in prehranskih strokovnih delavcev Slovenije: = Association of Food and Nutrition Specialists of Slovenia.
- [12] Zakon o varstvu okolja. Uradni list RS št. 41/2004, št. 001-22-49/04: 4818.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200441&stevilka=1694> (Pridobljeno 15.6.2013.)
- [13] Uredba o odpadkih. Uradni list RS št. 103/2011: 13935.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=2011103&stevilka=4514> (Pridobljeno 15.6.2013.)

- [14] Leban, J. 2013. Razvrščanje odpadkov, razlika med odpadkom, stranskim proizvodom in odpadkom, ki mu je prenehal status odpadka. Delavnica Pravilno ravnanje z odpadki. Gospodarska zbornica Slovenije, Ljubljana: str. 5.
- [15] Leban, J. 2013. Usmeritev politike na področju odpadkov in virov: stanje & zakonodaja. Delavnica Pravilno ravnanje z odpadki - breme, odgovornost ali priložnost. Gospodarska zbornica Slovenije, Ljubljana: str. 13-19.  
<http://www.re-birth.eu/koledar-dogodkov/delavnice/?id=23> (Pridobljeno 13.6.2013.)
- [16] Evropska komisija. 2012. Sklep evropskega parlamenta in sveta o splošnem okoljskem akcijskem programu Unije do leta 2020 „Dobro živeti ob upoštevanju omejitev našega planeta“: str 3.  
[http://ec.europa.eu/environment/newprg/pdf/7EAP\\_Proposal/sl.pdf](http://ec.europa.eu/environment/newprg/pdf/7EAP_Proposal/sl.pdf) (Pridobljeno 28.7.2013.)
- [17] Uredba o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih. Uradni list RS št 34/2008: 3245.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200834&stevilka=1360> (Pridobljeno 15.6.2013.)
- [18] Uredba o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov. Uradni list RS št. 34/2008: 3258.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200834&stevilka=1363> (Pridobljeno 15.6.2013.)
- [19] Pravilnik o bistvenih zahtevah za gradbene objekte, ki jih je treba upoštevati pri določitvi lastnosti gradbenih proizvodov. Uradni list RS št. 9/2001: 850.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=20019&stevilka=567> (Pridobljeno 15.6.2013.)
- [20] Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in sveta o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS: str. 34.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:SL:PDF> (Pridobljeno 28.7.2013.)
- [21] Zakon o gradbenih proizvodih. Uradni list RS št. 52/2000: 6936.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200052&stevilka=2448> (Pridobljeno 15.6.2013.)
- [22] Mauko, A., Japelj, M. 2013. Od odpadkov do gradbenih proizvodov - Zakonodaja o gradbenih proizvodih. Delavnica Pravilno ravnanje z odpadki - breme, odgovornost ali priložnost. Gospodarska zbornica Slovenije, Ljubljana: 2, 3.  
[http://www.re-birth.eu/data/pdf/3\\_Mauko\\_A.\\_Zakonodaja\\_o\\_gradbenih\\_proizvodih.pdf](http://www.re-birth.eu/data/pdf/3_Mauko_A._Zakonodaja_o_gradbenih_proizvodih.pdf) (Pridobljeno 14.7.2013)
- [23] Uredba o ravnanju z odpadki. Uradni list RS št. 34/2008: 3194.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200834&stevilka=1358> (Pridobljeno 15.6.2013.)
- [24] Cotič, Z., 2013. Selektivno rušenje. Delavnica Pravilno ravnanje z odpadki - breme, odgovornost ali priložnost. Gospodarska zbornica Slovenije, Ljubljana: str. 4, 5, 14, 17.  
[http://www.re-birth.eu/data/pdf/5\\_Cotic\\_Z.\\_Selektivno\\_rusenje.pdf](http://www.re-birth.eu/data/pdf/5_Cotic_Z._Selektivno_rusenje.pdf) (Pridobljeno 14.7.2013)
- [25] Založnik, R. 2008. Ravnanje z gradbenimi odpadki. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba R. Založnik): 49 - 50.
- [26] Pravilnik o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih. Uradni list RS št. 3/2003: str. 34.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=20033&stevilka=14> (Pridobljeno 9.7.2013.)
- [27] Šprinzer, M., 2013. Ravnanje z gradbenimi odpadki in zemeljskimi izkopi. Delavnica Predavanje o uporabi odpadkov v gradbeništvo. Gospodarska zbornica Slovenije, Ljubljana:

- str. 17.  
<http://www.re-birth.eu/koledar-dogodkov/delavnice/?id=20> (Pridobljeno 14.7.2013)
- [28] Pavšič Mikuž, P., 2007. Ravnanje z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih zaradi gradnje, rekonstrukcije, adaptacije, obnove ali odstranitve objekta. E-NET OKOLJE d.o.o.: str. 1.  
[http://www.novogradnje.com/Clanki/Ravnanje\\_z\\_odpadki\\_ki\\_nastajajo\\_pri\\_gradbenih\\_delih\\_zaradi\\_gradnje\\_rekonstrukcije\\_adaptacije\\_obnove\\_ali\\_odstranitve\\_objekta\\_/](http://www.novogradnje.com/Clanki/Ravnanje_z_odpadki_ki_nastajajo_pri_gradbenih_delih_zaradi_gradnje_rekonstrukcije_adaptacije_obnove_ali_odstranitve_objekta/) (Pridobljeno 29.6.2013.)
- [29] Odpadki - podatki - seznam oseb, ki ravnaajo z odpadki. 2013.  
<http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/odpadki/podatki/> (Pridobljeno 28.7.2013.)
- [30] Direktiva 75/442/EEC o odpadkih. 1975: 10 str.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1975L0442:20031120:EN:PDF> (Pridobljeno 4.7.2013.)
- [31] Mladenovič, A., 2013. Reciklirani agregati - lastnosti in uporabnost. Delavnica Pravilno ravnanje z odpadki. Gospodarska zbornica Slovenije, Ljubljana: 17-21.  
[http://www.re-birth.eu/data/pdf/6\\_Mladenovic\\_A\\_Reciklirani\\_agregati\\_lastnosti\\_in\\_uporabnost.pdf](http://www.re-birth.eu/data/pdf/6_Mladenovic_A_Reciklirani_agregati_lastnosti_in_uporabnost.pdf) (Pridobljeno 11.6.2013.)
- [32] Zakon o gradbenih proizvodih. Uradni list RS št. 52/2000: 6936.  
<http://www.uradni-list.si/1/content?id=26370> (Pridobljeno 17.6.2013.)
- [33] TSC 06.800:2001. Ponovna uporaba materialov v cestogradnji - recikliranje: 6 str.
- [34] Cuznar, A. 2002. Uporabnost recikliranega betona kot agregat v betonu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (Samozaložba A. Cuznar): 8-12.
- [35] Mnenje strokovnjaka. 2010. Kemijski dodatki za beton, malte in injekcijske mase: 1-2 str.  
<http://www.mapei.com/public/SI/documents/904/attach/kemijski%20dodatki%20za%20beton,%20malte%20in%20injekcijske%20mase.pdf> (Pridobljeno 17.6.2013.)
- [36] Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih. Uradni list RS št. 61/2011: 8878-8879.  
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201161&stevilka=2892> (Pridobljeno 15.6.2013.)
- [37] Žarnič, R., Bosiljkov, V., Bokan Bosiljkov, V. 2009. Gradiva vaje. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 13-16, 57.
- [38] Žnidaršič, M. 2007. Vpliv konsistence, aeriranja in trajanja mokre nege na odpornost betona z večjim deležem kamene moke proti zmrzovanju/tajanju v prisotnosti soli. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (Samozaložba M. Žnidaršič): 50.
- [39] Cachim, P. 2007. Mechanical properties of brick aggregate concrete. Članek. University of Aveiro, Portugalska: 1-6.

## Standardi

SIST EN 933-1:2012. Preskusi geometričnih lastnosti agregatov – 1. del: Ugotavljanje zrnivosti – Metoda sejanja.

SIST 1026:2008. Beton – 1. del: specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost – Pravila za uporabo SIST EN 206-1.

SIST EN 933-4:2008. Preskusi geometričnih lastnosti agregatov – 4. del: Določevanje oblike zrn – Modul oblike.

SIST EN 1097 -6 / 2002 / AC:2004/ A1: 2005. Preskusi mehanskih in fizikalnih lastnosti agregatov – 6. del: Določevanje prostorninske mase zrn in vpivanja vode.

SIST EN 206-1:2003/A2:2005. Beton – 1.del: Specifikacija, lastnosti, proizvodnja in skladnost.

SIST EN 1367-2:2010. Preskusi lastnosti agregatov zaradi termičnih in vremenskih vplivov – 2. del: Preskus z magnezijevim sulfatom.

SIST EN 12390-1:2009. Oblika, dimenzije in druge zahteve za preizkušance in kalupe.

SIST EN 12350-1:2009. Preskušanje svežega betona – 1. del: Vzorčenje.

SIST EN 12390-2:2009. Izdelava in nega preizkušancev za preskuse trdnosti.

SIST EN 12350-2:2009. Preskušanje svežega betona – 2. del: Preskus s posedom.

SIST EN 12350-5:2009. Preskušanje svežega betona – 5. del: Preskus z razlezom.

SIST EN 12350-6:2009. Preskušanje svežega betona – 6. del: Gostota.

SIST EN 12350-7:2009. Preskušanje svežega betona – 7. del: Metode s pritiskom.

SIST EN 12390-3:2009. Določanje tlačne trdnosti preizkušancev.

SIST EN 12390-8:2009. Določevanje globine prodora vode pod pritiskom.

SIST EN 12390-7:2009. Določanje gostote strjenega betona.

SIST EN 1744-3. Preskusi kemičnih lastnosti agregatov – 3. del: Priprava izlužkov agregatov.

SIST EN ISO 17294-2:2005. Kakovost vode – Uporaba induktivno sklopljene plazme z masno selektivnim detektorjem (ICP-MS) – 2. del: Določevanje 62 elementov (ISO 17294-2:2003).

SIST EN 932-1: Preskusi splošnih lastnosti agregatov – 1. del: Metode vzorčenja.

SIST EN 932-2: Preskusi splošnih lastnosti agregatov – 2. del: Metode zmanjševanja laboratorijskih vzorcev.

SIST EN 12457-4:2004. Karakterizacija odpadkov – Izluževanje – Preskus skladnosti za izluževanje granuliranih odpadkov in blata – 4. del: Enostopenjski šaržni preskus pri razmerju tekoče/trdno 10 l/kg za materiale z velikostjo delcev pod 10 mm (brez drobljenja ali z njim).