

УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУНУМ
БЕОГРАД
ДЕПАРТМАН ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

**МОГУЋНОСТИ СУПСТИТУЦИЈЕ ПРИРОДНИХ КАМЕНИХ
АГРЕГАТА РЕЦИКЛАЖОМ ГРАЂЕВИНСКОГ ОТПАДА
РАДИ ПОВЕЋАЊА ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ И
ОДРЖИВОГ КОРИШЋЕЊА ПРИРОДНИХ РЕСУРСА**

МЕНТОР:

Проф. др Мирослав Поповић

СТУДЕНТ:

Филип Б. Абрамовић

Број индекса: 485030/2022

Београд, 2024.

UNIVERSITY SINGIDUNUM

BELGRADE

DEPARTMENT FOR POSTGRADUATE STUDIES

DOCTORAL DISSERTATION

**POSSIBILITIES OF SUBSTITUTION OF NATURAL STONE
AGGREGATES BY RECYCLING OF CONSTRUCTION AND
DEMOLITION WASTE FOR INCREASED ENVIRONMENTAL
PROTECTION AND SUSTAINABLE USE OF NATURAL
RESOURCES**

MENTOR:

STUDENT:

Prof. dr Miroslav Popović

Filip B. Abramović

BROJ INDEKSA: 485030/2022

Belgrade, 2024

МЕНТОР:

Проф. др Мирослав Поповић, ванредни професор, Универзитет Сингидунум, Животна средина и одрживи развој

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Проф. др Владимир Симић

Доц. др Маја Вујчић-Тркуља

Датум одбране: __. __.2024. године

ПОДАЦИ О ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Наслов докторске дисертације:

„Могућности супституције природних камених агрегата рециклажом грађевинског отпада ради повећања заштите животне средине и одрживог коришћења природних ресурса“

Резиме:

Циљ истраживања овог рада заснива се на чињеници да у свету, као и у нашој земљи, не постоје довољне количине природних агрегата за садашње потребе, а камоли за одрживо коришћење, у смислу обезбеђивања будућих генерација и потреба. Такође, постоји и мањак законске регулативе и инфраструктуре за третман и одлагање грађевинског отпада, за који нема довољно уређених локација за сакупљање ни постројења за третман.

Основни циљ ове докторске дисертације је детаљна анализа постојећег стања у области резерви и могућности коришћења природних агрегата, као и испитивање могућности смањења употребе природних агрегата и супституције рециклираним агрегатима добијеним рециклажом грађевинског отпада, што је од великог економског и научног значаја, али и од пресудног значаја за заштиту животне средине. У раду је на експерименталним примерима приказана оправданост коришћења грађевинског отпада након рециклаже у грађевинарству.

Током експерименталних активности за време израде ове дисертације, прикупљене су и рециклиране узорковане количине и одабране врсте грађевинског отпада, након чега су тако добијене фракције испитане за примену у грађевинарству, у складу са правилима еколошке и грађевинске струке. На основу извршених анализа, у Дисертацији су разматрани састав и својства добијених материјала, који би се даље могли применити у области грађевинарства као замена природних ресурса.

Кључне речи:

- одрживи развој;
- одрживо коришћење;
- заштита животне средине;
- рециклажа;
- камени агрегати;
- техногени агрегати;
- грађевински отпад.

Научна област:

Животна средина и одрживи развој

Ужа научна област:

Управљање отпадом

УДК: INFORMATION ABOUT DOCTORAL DISSERTATION

Doctoral Dissertation:

„Possibilities of substitution of natural stone aggregates by recycling of construction and demolition waste for increased environmental protection and sustainable use of natural resources“

Resume:

The research objective of this work is based on the fact that in the world, as well as in our country, there are not sufficient quantities of natural aggregates for current needs, let alone for sustainable use in terms of providing for future generations and needs. There is also a lack of legal regulations and infrastructure for the treatment and disposal of construction waste, for which there are not enough locations arranged for collection.

The main goal of this doctoral dissertation is a detailed analysis of the current situation in the area of reserves and the possibility of using natural aggregates, as well as an examination of the possibility of reducing the use of natural aggregates and substitution with recycled aggregates obtained by recycling construction waste, which is of great economic, scientific and crucial importance for environmental protection. The paper demonstrates the justification of the possibility of using construction waste after recycling in the construction industry with an experimental part on a sample example.

During experimental activities throughout the preparation of this dissertation, sampled amounts and selected types of construction waste were collected and recycled, after which the thus obtained fractions were tested for application in the construction industry, in accordance with the rules of the ecological and construction profession. Based on the analyzes performed, the composition and properties of the obtained materials were discussed in the Dissertation, which could further be applied in the field of construction as a substitution of natural resources.

Key words:

- sustainable development;
- sustainable usage;
- protection of environment;
- recycling;
- stone aggregates;
- construction waste.

Scientific field:

Environment protection and sustainable development

Narrower scientific field:

Waste management

UDC

***Ова дисертација је посвећена мојој супрузи
Љубици, без чије несебичне подршке, помоћи
и мотивације не би ни постојала!***

САДРЖАЈ:

<i>Curriculum Vitae</i>	9
<i>Прилог бр.1</i>	10
<i>Прилог бр.2</i>	11
<i>Прилог бр.3</i>	12

1. УВОД.....13

1.1. Природни агрегати.....17

1.1.1. Проспекција и експлоатација природних агрегата у Републици Србији и ЕУ.....	17
1.1.2. Геологија из аспекта налазишта и потенцијалних налазишта агрегата – стратешке и геолошке основе за успешно планирање коришћења агрегата.....	18
1.1.3. Општи преглед извора камених агрегата у Србији.....	19
1.1.4. Експлоатисане количине камених агрегата у Србији	21
1.1.5. Одрживо планирање коришћења агрегата у Србији.....	21
1.1.6. Постојећи капацитети природних агрегата у Србији.....	22
1.1.7. Резерве других важних неметалних минералних ресурса.....	29
1.1.8. Преглед релевантних секторских прописа ЕУ и Србије.....	30

1.2. Грађевински отпад.....32

1.2.1. Количине генерисаног грађевинског отпада у Републици Србији.....	33
1.2.2. Извори добијања секундарних камених агрегата.....	34

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА44

3. ПРОИЗВОДЊА И УПОТРЕБА КАМЕНИХ АГРЕГАТА У БЕОГРАДУ.....46

3.1. Прикупљање и употреба грађевинског отпада у Београду	47
3.2. План развоја града Београда у погледу рециклаже грађевинског отпада	48
3.3. Потреба за побољшањем снабдевања природним агрегатима у граду Београду.....	49
3.4. Потрошња природних агрегата у Београду.....	53

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ПРОТОКОЛ.....59

4.1. Лабораторијска испитивања узорак – методе.....	59
4.1.1. Отпорност на дробљење (Лос Анђелес)	
4.1.2. Одређивање шупљина и запреминске масе у растреситом стању	
4.1.3. Приближно одређивање загађености органским материјама	
4.1.4. Одређивање отпорности на хабање (микро-ДЕВАЛ)	
4.1.5. Анализа геометријских својстава агрегата: одређивање облика зрна (индекс пљоснатости)	
4.1.6. Испитивање отпорности према деловању мраза	
4.1.7. Одређивање стварне запреминске масе и упијања воде	
4.1.8. Испитивање дробљивости у цилиндру	
4.1.9. Испитивање отпорности против удара апаратом Третон	
4.1.10. Гранулометријска анализа	
4.2. Локације и методе узорковања и припреме узорак са депоније Винча.....	66
4.3. Методе испитивања узорак са депоније Винча.....	68
4.4. Методе узорковања и припреме узорак са новог рециклажног постројења.....	68

5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

5.1. Резултати	72
5.2. Дискусија.....	75
5.2.1. Могућност супституције природних агрегата рециклираним.....	79
5.2.2. Еколошко-економски бенефити рециклаже и супституције природних агрегата.....	79
5.2.3. Утицаји на животну средину.....	81
5.2.3.1. Утицај одлагања грађевинског отпада на депоније.....	82
5.2.3.2. Утицај прераде грађевинског отпада у агрегате на животну средину.....	82
5.2.4. Закључна разматрања.....	83

6. ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕДЛОЗИ ДАЉИХ АКТИВНОСТИ

РЕФЕРЕНЦЕ.....	88
<i>Прилог 4.....</i>	<i>95</i>
<i>Прилог 5.....</i>	<i>96</i>

CURRICULUM VITAE

Филип Абрамовић је рођен 03.11.1975. године у Београду. Основну и средњу Машинску школу завршио је у Београду. Дипломирао је на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду 2004. год. и стекао звање дипломирани инжењер геологије на смеру Истраживање лежишта минералних сировина.

Академске магистарске студије је уписао 2005. године, а звање MSc стекао 2007. године. Докторске студије уписује 2008. године на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, у оквиру студијског програма „Геологија“, а фебруара 2023. године прелази на докторске студије Универзитета Сингидунум, на студијски програм „Заштита животне средине“. На Машинском факултету Универзитета у Београду 2010. године завршио специјализацију из области „Управљања чврстим отпадом“ као и EU Environmental academy - двогодишње специјалистичке студије. Аутор многих научних стручних радова из области геологије и заштите животне средине.

Од 2017. године је запослен у Министарству заштите животне средине. Тренутно је на позицији руководиоца групе за хармонизацију прописа са Европском унијом у области отпада и отпадних вода. Пре тога је обављао послове помоћника министра и руководиоца Сектора за управљање отпадом и отпадним водама. У Скупштини града Београда је на позицији шефа Кабинета председника скупштине Града Београда као и помоћника Секретара за заштиту животне средине и директора Дирекције за управљање отпадом града Београда.

Учествовао у реализацији пројекта јачања капацитета и стручног усавршавања кадрова „SPEAK EUROPAEN“ (стипендија ЕУ-3 месеца стажирања у институцијама ЕУ-Велика Британија-Greater Manchester Waste Disposal Authority и PFI компанија Viridor Laing 2011. године – у склопу пројекта ЕУ и Владе Републике Србије; учествовао је у израдама Локалног плана управљања отпадом за територију града Београда за период 2011-2020. и 2020-2030, као и у другим пројектима од круцијалне важности за управљање отпадом на територије Републике Србије.

Обављао је и функције члана Управног одбора Републичког фонда за иновативну делатност 2006-2011, члана Савета Рударско-геолошког факултета у два мадата, члана Управног одбора Рударско-геолошког факултета од 2000 до 2002.

Члан је МЕНСЕ. Говори енглески језик, служи се руским и француским језиком. Ожењен је Љубицом и отац Мије.

Прилог број 1.

Изјава о ауторству

Потписани _____ Филип Абрамовић _____

број индекса _____ 485030/22 _____

Изјављујем

да докторска дисертација под насловом „Могућности супституције природних камених агрегата рециклажом грађевинског отпада ради повећања заштите животне средине и одрживог коришћења природних ресурса“:

- јесте резултат мог личног истраживачког рада,
- није била предложена за добијање било које друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа, нити у целости, нити у деловима;
- садржи коректно наведене резултате и
- не крши ауторска права, као ни интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Прилог број 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора ФИЛИП АБРАМОВИЋ

Број индекса 485030/22

Студијски програм ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Наслов рада „Могућности супституције природних камених агрегата рециклажом грађевинског отпада ради повећања заштите животне средине и одрживог коришћења природних ресурса“

Ментор проф. др Мирослав Поповић

Потписани: Филип Абрамовић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета Сингидунум**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци у вези са добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета.

Потпис Докторанда

У Београду, _____

Прилог број 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку да у Дигитални репозиторијум Универзитета Сингидунум унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„МОГУЋНОСТИ СУПСТИТУЦИЈЕ ПРИРОДНИХ КАМЕНИХ АГРЕГАТА РЕЦИКЛАЖОМ ГРАЂЕВИНСКОГ ОТПАДА РАДИ ПОВЕЋАЊА ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ И ОДРЖИВОГ КОРИШЋЕЊА ПРИРОДНИХ РЕСУРСА“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета Сингидунум могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

Потпис докторанда

У Београду, _____

1. УВОД

Убрзано и експоненцијално увећање становнишва и знатно повећање привредног раста и индустрије у свету довели су и до великог повећања коришћења свих природних ресурса. Постојећи модели потрошње и производње природних агрегата нису одрживи те се морају прилагодити захтевима данашњице и принципима одрживог развоја и искоришћења. Сам концепт „одрживости“ подразумева да интензитет потрошње не превазилази капацитете регенерације тј. ефикасну употребу природних ресурса, супституцију секундарним где је то могуће, а уз смањење негативних утицаја на животну средину. Овакав коцепт захтева избалансиран приступ како би се избегле потенцијалне кризе и очували ресурси, како за постојеће, тако и будуће генерације.

Из оваквог приступа потекла је и најчешће навођена дефиниција одрживог развоја, која се налази у извештају који је сачињен на захтев Комисије Уједињених нација за живону средину и развој - Брунтландске комисија, још године 1987-е у коме се наводи да је одрживи развој у ствари развој који мора да задовољи потребе данашњице, а који неће довести у ризик ресурсе будућих генерација и потребе њиховог времена[7-10]. Да би се код нас ефикасно успоставили одрживи модели коришћења ресурса, неопходно је усклађивање националних интереса са европским и светским концептима и сагледавање проблема и могућности системског решења - од глобалног до локалног нивоа[6].

Градови никада нису били самоодрживи. Они зависе од ресурса свог окружења те се њихова одрживост може разматрати у контексту друштвених, привредних политичких и еколошких процеса који проузрокују урбани раст. Битан аспект у вези са градском средином је да постоји велика концентрација људских активности на релативно малој површини, али то и пружа значајне предности у виду организације ефикаснијег коришћења ресурса.

Критеријуми одрживости коришћења могу бити: анализа потрошње и елиминација непотребне потрошња материјала, испитивање могућности коришћења обновљивих или секундарних ресурса [2], побољшање коришћења необновљивих ресурса итд. Дакле, морају бити усклађени различити интереси пословног сектора, заштите животне средине и развоја и живота самог града.

Камени агрегати као исцрпљиви и необновљиви минерални ресурси по економској вредности су веома значајни за многе привредне гране, нарочито за грађевину, стамбену градњу и путоградњу [2]. У овој групи неметаличних минералних ресурса, налазе се песак, технички камен, , минерали групе глина, магнезити, шљункови, и украсни (архитектонско-грађевински) камен.

У домену грађевине, дошло је и до интензивирања градње, при чему се не води довољно бриге о утицају објеката на стање животне средине, као и о очувању необновљивих природних ресурса, ни у једној од фаза њиховог експлоатационог века, закључно гледано са декомпозицијом објекта и одлагањем отпада од рушења. Искључиво из тих разлога, отпад је постао један ако не и највећи еколошки проблем, како у Србији, тако и у скоро целом свету [100].

Као одрживо решење за проблеме грађевинског отпада и редукцију исцрпљивања лежишта природних камених агрегата, уведени су поступци рециклаже и поновне употребе искоришћених грађевинских материјала. ЕУ је кроз директиве дефинисала циљеве који захтевају, у овом тренутку, 70% рециклирања [6] и поновне употребе од укупне тежине генерисаног грађевинског отпада са тенденцијом раста искоришћења.

Обновљиви ресурси укључују ваздух, воде и биомасу. Ипак, неки од њих могу постати необновљиви, уколико се брже троше од циклуса обнављања (нпр. подземне воде). Обновљивим ресурсима припадају и дрво и кожа. Необновљивим ресурсима сматрају се природни ресурси који не могу поново настајати, као што су фосилна горива, у која спадају угаљ, нафта и природни гас, разне врсте камена, метали, уран и други материјали и минерали[7-10].

У Европској унији урађене су класификација природних ресурса и оне обухватају поделе на исцрпљиви и неисцрпне, и подподелу на обновљиве и необновљиве ресурсе [100].

Неисцрпни обновљиви ресурси могу бити:

- а) расути ресурси као што су: енергије ветра, Сунца и таласа...
- б) акумулирајући као што су: веће водене масе и ваздух.

Неисцрпни необновљиви ресурси су рециклабилни ресурси су: метали, поједини минерали и земљиште.

Исцрпљиви, али обновљиви ресурси могу бити:

- а) ресурси биолошког типа нпр: шума и биомасе;
- б) акумулирајући ресурси: издани, слатководни басени и земљишта.

Исцрпљиви необновљиви ресурси су ресурси који се могу рециклирати и повратити: метали, минерали и земљиште.

Секундарне сировине су значајне, не само са становишта заштите животне средине и смањења количине насталог отпада, већ и са економског аспекта и због могућности поновног искоришћења различитих сировина, као што су метали, стакло, папир, пет-амбалажа и друго. Значајна употреба секундарних сировина у Србији није довољно развијена па дефинитивно постоји могућност за побољшање пословних активности које подразумевају одлагање отпада, сортирање, а посебно рециклажу, у

циљу поновног коришћења. Ови процеси представљају директну линију ка уштеди других природних ресурса који се њима могу заменити.

Осим грађевинског отпада, требало би поменути и техногене сировине које се налазе у оквиру јаловишта од експлоатације, онда у оквиру флотационих јаловишта, као и у оквиру пепелишта и шљачишта термоелектрана а која би се могла користити као потенцијална за супституцију природних ресурса. Као пример, треба навести коришћење пепелишта и шљачишта која имају, осим еколошке димензије, и комерцијалну страну услед могућности примене тих сировина у производњи грађевинских материјала и цементној индустрији. Постојећа јаловишта, пепелишта и шљачишта интересантна су за инвестирање ради економског развоја и уклањања потенцијалних извора различитих врста загађења.

Одрживо снабдевање агрегатима је важан изазов због ограничене расположивости и остваривања циља одрживог коришћења. Такође, и због регионалних разлика и историјског развоја, постоје различити приступи политици планирања и управљања агрегатима уопште а поготову у нашем региону - југоисточној Европи, чиме се омета ефикасност коришћења ресурса и економски развој, гледајући регионално.

Политика и планови коришћења природних агрегатних ресурса се не обрађују јединственим документом. Они су дисперговани међу многим различитим правним документима, што њихову координацију и свеобухватно планирање и коришћење чини знатно компликованијим. Такође, ту је готово потпуни недостатак координације у планирању и понуди примарних и секундарних агрегата на тржишту.

Захтеве индустрије и тржишта би у циљу одрживог коришћења требало планирати мешавином коришћења примарних агрегата (песак, шљунак, дробљени камен) и секундарних агрегата (рециклирани грађевински и отпад од рушења, произведени агрегати, извађени материјал из грађевинских радова и сл).

Регион југоисточне Европе се приликом планирања коришћења агрегата сучељава са значајним бројем проблема и питања од којих су најважнији: недостатак ажурираних података за планирање, недовољан капацитет институција и недовољна координација, како на националном, тако и регионалном нивоу за планирање потреба агрегата. На последњем месту, али не имање важан би био и сектор задужен да сви плански документи буду у складу.

При томе, прерађивачка индустрија је ограничена на подручја где има познатих економски значајних лежишта минералних сировина. Присуство лежишта минералних сировина је директно функционално пропорционално степену геолошке истражености, то јест, инвестиција у геолошка истраживања свих нивоа. Стога, индустрија не може да ради само на подручјима где нема конфликта интереса у вези сарасполагањем одређеним природним површинама, мишљењем јавности, заштићеним подручјима, пределима, или где ће експлоатација бити видљива.

Нарочито је важан и значај просторног планирања, затим брига о диверзитету, компликована процедура добијања дозвола, одабир локација, недостатак добро обучене радне снаге и наравно захтеви из области заштите животне средине, заштите на раду и здравствене заштите.

1.1. Природни агрегати

1.1.1. *Проспекција и експлоатација природних агрегата у Републици Србији и ЕУ*

Проспекција и сама експлоатација не енергетских минералних сировина као веома битних стратешких необновљивих природних ресурса, услед разних фактора постаје све теже, од којих је један од најрестриктивнијих фактор прописа заштите животне средине. Код нас се у земљи врло често аутоматски и често недовољно стручно примењују неки критеријуми приликом одлучивања о потенцијалним новим локацијама за истраживање и експлоатацију не енергетских минералних сировина.

Наравно наша земља није једина са оваквим проблемом. Сличне проблеме има и Европска унија. Као реакцију на ову ситуацију, ЕУ је донела два основна документа по питању снабдевања минералним сировинама која су у складу са принципа одрживог развоја. Први је Иницијатива о минералним сировинама (Raw materials initiative), из 2008 године, и позната Натура 2000, која се односи на заштиту биодиверзитета. Такође, 2010. године припремљен је и Водич о експлоатацији неенергетских минералних сировина и Натура 2000 (Екстракција не енергетских минерала и Натура две хиљаде – Водич). Што се тиче неког искључења експлоатације агрегата прописаних овим документима, и то унутар или у близини подручја дефинисаним у оквиру документа Натура 2000 не постоји, али сами рестриктивни прописи и разни фактори у Европској унији су утицали да ипак дође до смањења производње агрегата на подручју Европе. [100].

Као најважније агрегате у Европској унији и Србији издвајају се сировине за грађевинске материјале (песак, шљунак...), кречњаци, доломити, дијабаз андезит дацит (путеви), глине, лапорци, зеолити, дијатомит, фелдспати, магнезити, борне минерали, као и литијумови минерали. Метаморфне стене се претежно користе као пуниоци.

У последњој декади, у Србији је истражено и припремљено за експлоатацију око тридесетак нових лежишта па је њихов укупан број сада око сто педесет. Од тих тридесетак нових пет лежишта се користе за агрегате за цементну индустрију, седам за креч, а седам за дробљени агрегат, што ће у даљем раду бити детаљније приказано.

Употреба рециклираних агрегата је ограничена на Р4 категорију индустријског отпада, а опет се на коришћењу истих, у Европској унији оствари годишњи обрт од преко 50 милијарди евра, док основна индустрија рециклаже грађевинског отпада обезбеђује око триста хиљада радних места.

1.1.2. Геологија из аспекта налазишта и потенцијалних налазишта агрегата – стратешке и геолошке основе за успешно планирање коришћења агрегата

Прецизни приказ геолошке грађе терена представља основ за добро планирање и доношење квалитетних и одрживих стратегија и планова коришћења камених агрегата.

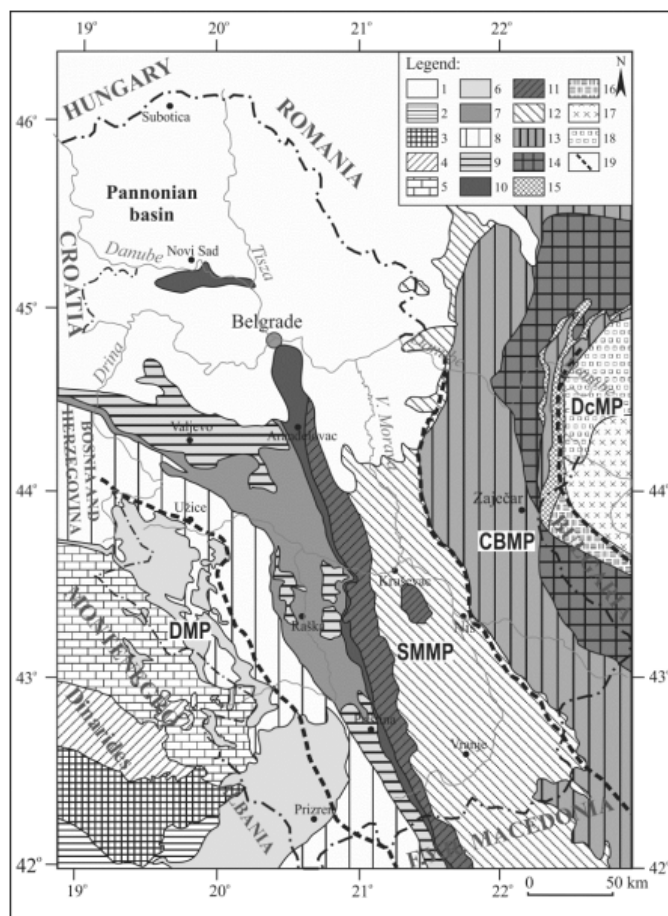
Од стратешких докумената на националном нивоу донета је Стратегија управљања минералним сировинама. Ради одрживог планирања и коришћења камених агрегата неопходно би било донети и Минерални план као и План снабдевања агрегатима. Квалитетне геолошке карте, као подлоге, представљају најважнији предуслов за правилно дугорочно планирање у индустрији агрегата.

У Србији, као најбитније за планирање и експлоатацију камених агрегата, израђене су ОГК размере 1:100.000 и Минералгенетска карта Србије у размери 1:300.000 (слика 1) [81].

Ради што прецизнијег планирања геолошке карте, требало би радити на што нижем нивоу, од регионалног па чак и до локалног нивоа. Такође, неопходно је да се детаљно разраде поглавља о резервама, утицају на животну средину, ГИС локације експлоатационих поља, литографије и потенцијалних подручја перспективних за даља истраживања и експлоатацију.

Примери добре праксе овакве организације израде геолошких подлога су Аустрија и Велика Британија, које овакав приступ успешно користе већ више деценија.

Овакав приступ планирању коришћења минералних сировина, а самим тим и камених агрегата, могло би да се успешно примени и у Србији, наравно, уз одговарајуће измене у складу са специфичностима наше државе.



Слика 1. Основне геотектонске и металогенетске јединице Србије (модификовано после Димитријевића, 2000; Schmidt и др. 2008) CBMP – Карпатско-балканска металогенетска провинција, DcMP - Дачијска металогенетска провинција, DMP - Динарска металогенетска провинција, SMMP - Српско-македонска металогенетска провинција. [90]

1.1.3. Општи преглед извора камених агрегата у Србији

Одржива животна средина у Србији, као и у свету уопште, највише зависи од начина коришћења ресурса

Један од важнијих стратешких ресурса су камени агрегати, којих данас нема на територији Србије у количинама које би задовољиле све потребе коришћења.

Поготову када се узме у обзир велико смањење производње агрегата у односу на 1990. годину које је приближно 20-30% (на основу информација из Годишњег статистичког извештаја Србије), једино је производња песка, шљунка и цемента на приближно истим нивоима последњих година, док је креч на нивоу од ~45% [100].

Посебна разлика се види узимајући у обзир смањење производње агрегата гледано како је било 1990. године. На основу информација из Годишњег статистичког извештаја Србије, бележи се смањење од чак 20-30%. Једино је производња песка,

шљунка и цемента остала последњих година на приближно истим нивоима, док је креч на нивоу од приближно 45%. Креч се у Србији производи од калцитног мермера (прекрстализовани кречњак).

У Србији постоји евидентирано 141 лежиште камених агрегата, од којих 113 има дозволу за експлоатацију, а 28 је још у фази истраживања. У ове бројке не улазе налазишта песка и шљунка.

Највећи број ових лежишта су лежишта кречњака и доломита, којих има чак 77. Од њих су 30 лежишта магматских стена, а 34 лежишта су метаморфне стене, углавном мермер. Овај мермер се користи као украсни камен (експлоатисан у 10 лежишта).

Постоји и 7 налазишта дијабаза и мања налазишта базалта, андезита и дацита (која се користе у путној индустрији). За производњу минералне вуне користе се два лежишта - једно базалта и једно дијабаза. [100].

Практично сва налазишта гранита се користе за декорацију - украсни камен, а само неколико за сировину у керамичкој индустрији.

Цементаре експлоатишу 5 лежишта агрегата за своје потребе, а 7 лежишта произвођачи креча, али у свих тих 7 каменолома се производе и камени агрегати.

Постоје и нека лежишта која користе крајњи корисници -а пример Борска топионица бакра или производња металног магнезијума из доломитских лежишта.

Метаморфне стене се углавном користе као пунила (15 лежишта претежно калцит) или у мањој мери као грађевински агрегати (8 лежишта - доломитски мермери).

Процентуално гледано седиментне стене се скоро искључиво користе у индустрији камених агрегата (73 од 77 лежишта) и то претежно за потребе грађевинарства (чак 54 лежишта).

Дистрибуција камених агрегата на територији Србије одражава геологију подручја. Војводина, на пример, нема агрегатних ресурса стена, осим песка и шљунка експлоатисаних из главних река, што захтева дугорочну одрживу комбинацију планирања и снабдевања за одржавање свих активности које захтевају употребу камених агрегата. [67]

Директива 86/109/ЕЕС Европске уније о грађевинским материјалима, дели агрегате на природне, рециклиране и вештачке (техногене). Код нас је у употреби подела само на природне и техногене камене агрегате.

Природни агрегати су песак, шљунак и дробљени камен који представљају необновљиве минералне сировине, а који се углавном користе у грађевинарству, путоградњи. Њихово коришћење на одржив начин зависи највише од планирања и замене у што већој мери рециклираним грађевинским отпадом.

Рециклирани агрегати представљају агрегате произведене поступцима рециклаже отпада и активностима које не подразумевају њихову експлоатацију из

лежишта тј, каменолома, шљункара итд. Грађевински отпад представља велики ток отпада и велики потенцијални извор агрегата.

Према неким проценама, бетонски отпад и нус - производи отпада заузимају око 20% депонијског простора. Његовим искоришћењем као супститута за природне камене агрегате смањује се и депоновање отпада, деградација простора, контаминација животне средине, али и експлоатација природних каменних агрегата и повећава одрживост.

1.1.4. Експлоатисане колиине каменних агрегата у Србији

У складу са званичним подацима Републичког статистичког завода - „Статистички годишњак Републике Србије 2022“ у Србији су током 2021. године експлоатисане следеће количине природних агрегата:

- 117 295 м³ експлоатисано ломљен или дробљен камен, облутак, шљунак – 2022. г.
- 109 794 м³ експлоатисано ломљен или дробљен камен, облутак, шљунак – 2021. г.
- облаци, шљунак, ломљен или дробљен камен, 9 014 000 м³ - 2021. година [110].

1.1.5. Одрживо планирање коришћења агрегата у Србији

Обезбеђење одрживог снабдевања каменним агрегатима је важан изазов због њиховог огромног економског значаја, али и потенцијалних еколошких и социјалних утицаја њихове производње, нарочито на локалном нивоу.

Камени агрегати су од стратешког значаја у савременом друштву због огромних количина које се сваке године користе пре свега у радовима на инфраструктури - у грађевинарству и изградњи путева. Осим тога, специфична својства дробљених агрегата од кречњака и доломита, у гранулисаном или прашкастом облику, имају различите области примене: у производној индустрији, индустрији стакла, хемијској индустрији (боје, пластика), итд. Све ово чини сектор агрегата далеко највећим у неенергетској екстрактивној индустрији.

У регулаторно планском смислу, наша држава нема Минералну политику, а ни политику и план усклађеног националног / регионалног планирања снабдевања агрегатима, у којем су дефинисане међусекторске надлежности и интеракције и осигурана постојаност докумената. Поред тога Србија има још увек гломазну, компликовану и застарелу законску регулативу са честим преплитањима надлежности и неусаглашеностима појединих чланова и одредби различитих закона. Евидентно је одсуство интегрисаног планирања за примарне и секундарне агрегате које је значајно због ефикасности ресурса, као и недовољно укључивање партнера и процеса консултација како би планирање осигурало уважавање потреба и брига свих заинтересованих страна.

Такође, Србија заостаје и у многобројним геолошким подлогама потребним за планирање снабдевања каменим агрегатима, као што су специјализоване карте минералних ресурса, карте квалитета, просторни планови на регионалном и локалном нивоу и сл. Ту је затим питање који подаци тренутно недостају када је у питању планирање као што су предвиђене потребе за агрегатима у различитим временским интервалима, кретање цена агрегата, подаци о потенцијалним секундарним агрегатима.

Велики проблем је и расположивост постојећих података (све што се финансира из буџетских средстава требало би да буде јавно доступно у електронском облику), као и каквом облику су расположиви подаци (уколико уопште и јесу). Веома важно питање је и каква је процедура прикупљања података, то јест ко прикупља, чува, обрађује, иновира и извештава о одређеним подацима потребним за планирање.

1.1.6. Постојећи капацитети природних агрегата у Србији

С обзиром на потенцијал минералних сировина и чињеницу да је употреба минералних сировина веома заступљена, неопходно је прво утврдити постојеће стање, количину резерви које се користе на годишњем нивоу, а затим анализирати могућу супституцију необновљивих извора секундарним изворима, агрегатима и техногеним материјалима.

У Београду се кречњак експлоатише углавном као техничко-грађевински камен, а мањим делом као сировина за креч и за хемијску индустрију. Економски типови лежишта су углавном егзогена лежишта, седиментног типа.

Од различитих врста техничког камена у укупном делокругу коришћења је: 70% - карбонатне стене (кречњак, доломитни мермер, мермер), 20% - вулканске стене (углавном дацити и андезит) и 10% су остале врсте камена [100].

Истражене и експлоатисане сировине а које спадају у камене агрегате на подручју Србије су претежно цементни лапорац, доломит, кречњак, кварцни песак, шљунак и песак, ломљени камен.

Процењена производња свих врста агрегата годишње је око 3 тоне по становнику, а, примера ради, просечно годишње коришћење агрегата у европској унији је 6-7 т по глави становника [104].

Утврђена лежишта су приказана подељена према агрегатном ресурсу којем припадају:

1) Кречњак

МИНЕРАГЕНЕТСКА ПРОВИНЦИЈА РОДОП КРИСТАЛИНА

Лежиште “Стражевица” (A+B+C1) $\approx 9.773.604 \text{ m}^3$ · карактеристике приказане у табели 1.

Табела 1 - Физичке и механичке карактеристике Лежиште Стражевица

Физичке и механичке карактеристике		Дробљени агрегат:	
Стена:			
1. JUS B.B8.012 [117] / компресиони притисак (М Ра)		11. JUS B B8.045 / отпорност на хабање, Los Angeles (%)	
- суво стање	184	- класа "А"	21,86
- водом засићено стање	170	- класа "В"	22,55
- после мржњења	150	- класа "С"	26,10
2. JUS B.B8.015/ отпорност на хабање (cm ³ /50cm ²)	14,0	12. JUS B.B8.031/ абсорбција воде (%)	-
3. JUS B.B8.019/отпорност на динамичке ударе (%)	18,7	13. JUS B.B8.032/ отпорност на мраз	1,7-6,9
4. JUS B.B8.010/абсорпција воде (%)	0,27	14. Отпорност према високим температурама	отпоран
5. JUS B.B8.002/отпор на мраз	отпоран	15.DIN-1966/абсорпција битумена	добар
6. Лабораторијска метода/отпорност према високим температурама	отпоран	1. JUS B.B8.040 Хемијска анализа:	
7. JUS B.B8.032 / густина (gr/cm ³)	2,70	- сулфати, SO ₄	-
8. JUS B.B8.032/густина са порама и шупљинама (gr/cm ³)	2,69	- сулфиди, SO ₄	-
9. JUS B.B8.032/порозност (%)	1,12	- хлориди, Cl	-
10. JUS B.B8.032/густина (%)	98,88	- нитрати, NO ₂	-

Минерално поље „Велика Моштаница”

Лежиште “Бели камен” ≈25.000 т, физ-мех карактеристике приказане у табели 2.

Табела 2 - Физичке и механичке карактеристике Лежиште Бели Камен

Физичке и механичке карактеристике			
Стена :		Дробљени агрегат:	
1. JUS B.B8.012/ компресиони притисак [117] (МПа)		11. JUS B B8.045/отпорност на хабање, Los Angeles (%)	
- суво стање	92	- класа "А"	-
- водом засићено стање	87	- класа "В"	16,86
- после мржњења	-	- класа "С"	-
2.JUS B.B8.015/отпорност на хабање - grind (cm ³ /50cm ²)	27,2	12. JUS B.B8.031/ абсорпција воде (%)	0,37
3. JUS B.B8.019/отпорност на динамичке ударе (%)	-	13.JUSB.B8.032/ отпорност на мраз	1,7-6,9
4. JUS B.B8.010/абсорпција воде (%)	1,63	14 Отпорност на високе температуре	отпоран
5. JUS B.B8.002/отпорност на мраз	отпоран	15.DIN-1966/абсорпција битумена	добар
6. Лабораторијска метода/ отпорност на високе температуре	отпоран	1. JUS B.B8.040 Хемијска анализа :	
7. JUS B.B8.032/густина (gr/cm ³)	2,64	- сулфати, SO ₄	-
8. JUS B.B8.032/густина са шупљинама (gr/cm ³)	2,35	- сулфиди, SO ₄	-
9. JUS B.B8.032/порозност (%)	11,00	- хлориди, Cl	0,02
10. JUS B.B8.032/густина (%)	89,00	- нитрати, NO ₂	-

Друге локације

Извесне количине и резерве кречњака постоје и на следећим лежиштима, која још увек нису истражена: Барајево, Бељина, Губеревац, Кнежевац - Грујина страна, Поповић, Лештани, Рипањ 1, Рипањ 2, Рољска Ковина, Рушањ, Сремчица, Остружница.

Такође, Лежиште „Пећине” има резерве процењене на 6.046.000 т, а лежиште „Влашко Брдо” код села Раље има резерве од око (А+В) 84.000.000 т цементног лапорца и кречњака.

Лежиште "Влашко Брдо" , хемијске кар. приказане у табели 3.

Табела 3 - Хемијске карактеристике Лежиште Влашко брдо

Хемијска анализа (%)		Пуцоланске карактеристике	
SiO ₂	15,28	- Силикатни модул (Si)	2,92
Al ₂ O ₃	3,97	- Алуминијумски модул (Al)	3,12
Fe ₂ O ₃	1,27	- Хидраулички модул (Hm)	2,06
CaO	42,27	- Ниво сатурације (SZ)	0,86
MgO	0,33		
CaCO ₃	75,48		
MgCO ₃	1,42		
SO ₃	0,33		
G.Ž.	35,01		

Пешчар

Лежиште “Врановац” 10.000 m³, физ кар. приказане у табели 4.

Табела 4 - Физичке карактеристике Лежиште Врановац

Физичке карактеристике	
Стена	
1. JUS B.B8.012/компресивни притисак (МПа)	
- суво стање	325
- водом засићено стање	304
- после мржњења	274
2. JUS B.B8.015/отпорност на хабање - grind (cm ³ /50cm ²)	5,77
3. JUS B.B8.019/отпорност на динамичке ударе (%)	-
4. JUS B.B8.010/абсорпција воде (%)	0,15
5. JUS B.B8.002/отпорност на мраз	постојан

6. Лабораториска метода/отпорност на високе температуре	постојан
7. JUS B.B8.032/густина (gr/cm ³)	2,70
8. JUS B.B8.032/густина са порама и шупљинама (gr/cm ³)	2,68
9. JUS B.B8.032/порозност (%)	0,70
10. JUS B.B8.032/густина (%)	99,30

Лежиште „Бучје - Пречица” 75.000 m³, кар. приказане у табели 5.

Табела 5 - Физичке карактеристике Лежиште Пречица

Физичке карактеристике	
Стена	
1. JUS B.B8.012/компресивни притисак (МПа)	
- суво стање	226
- водом засићено стање	207
- после мржњења	193
2. JUS B.B8.015/отпорност на хабање grind (cm ³ /50cm ²)	11,07
3. JUS B.B8.019/отпорност на динамичке ударе (%)	-
4. JUS B.B8.010 абсорпција воде (%)	0,51
5. JUS B.B8.002/отпорност на мраз	постојан
6. Лабораторијска метода/отпорност на високе температуре	постојан
7. JUS B.B8.032/густина (gr/cm ³)	2,68
8. JUS B.B8.032/густина са порама и шупљинама (gr/cm ³)	2,65
9. JUS B.B8.032/порозност (%)	1,12
10. JUS B.B8.032/густина (%)	98,88

Минерално поље ... „Велика Моштаница“

Лежиште „Хајдуковац” 400.000m³

Потенцијал локације је мали. Има ограничену употребу у грађевинској индустрији као техничко-грађевински камен.

Песак и шљунак

Минерагенетска формација колубарског угљеног басена

Лежиште “Тамнава-I” шљунак 50.000.000m³, мин-пет састав приказан у табели 6.

Табела 6 - Минералошко петрографски састав Лежиште Тамнава I

Минералошко петрографски састав:					
	Назив минерала	Фракција (мм) – учешће у % у укупној маси			
		0/4	4/8	8/16	16/31,5
Минерали	Кварц	50,0			
	Фелдспат	8,0			
Магматске стене	Спилит	6,0	29,16	26,15	25,15
	Диорит	1,50	4,14	3,85	13,43
Седиментне стене	Кречњак	0,50	1,66	1,15	3,92
	Пешчар	19,0	32,87	32,31	13,15
	Cherts	4,50	10,77	8,85	3,92
Метаморфне стене	Серпентинит	0,50	4,42	4,62	3,76
	Кварцит	10,0	25,98	22,69	27,95
	dilapidated grain	-	-	0,38	0,93

Друге локације детаљно приказане у табели 7 :

Табела 7 – Друге локације

Лежиште	врста агрегата	резерве
Трстена бара 1	песак	n/a
Трстена бара 2	песак	n/a
Грочица	песак	n/a
Парцане	песак	n/a
Рукавац	песак	n/a
Дунав 1	песак и шљунак	n/a
Дунав 2	песак и шљунак	n/a
Нови Београд	песак и шљунак	n/a

Лапорац

Лежиште “ „Раља-Влашко Брдо”.....(A+B) 80.000.000 t, хемијски приказ у табели 8.

Табела 8 - Хемијски састав лапорца „Влашко Брдо”

15,28 %	SiO ₂
3,97%	Al ₂ O ₃
1,27%	Fe ₂ O ₃
42,27%	CaO
0,72%	MgO
0,33%	SO ₃
77,03%	CaO +MgCO ₃

Минерално поље „Остружница”

Лежиште „Остружница” 30.000.000 m³, хемијски приказ у табели 9.

Табела 9 - Хемијски састав лапорца „Остружница

11,30 %	SiO ₂
39,89	Al ₂ O ₃
1,62%	Fe ₂ O ₃
5,12%	CaO
2,74%	MgO
0,28%	SO ₃
39,01%	GZ

Друге локације:

Лежиште „Пећинска бара” има је још увек неиспитано и има неодређене резерве лапорца.

1.1.7. Резерве других важних неметалних минералних ресурса

Минерагенска регија родопске кристалине поред наведених локација агрегатних лежишта има лежиште „Бубања” са процењеним резервама дацита од 100.000 m³ и лежиште „Тешиха Мајдан” са процењеним резервама керсантита од 160.000 m³.

Минерагенска формација Колубарског угљеног басена садржи знатне количине керамичке глине, кварцног песка и дијатомејске земље. Лежиште „Барошевац” има око 900.000t дијатомејске земље.

Минерално поље „Рудовац” има лежиште „Рудовци” са 3.600.000 t керамичке глине, а минерално поље Барошевац има лежиште „Зеоке-Поље „Д” са 100.000.000 t кварцног песка.

Од појава и лежишта неметалних минералних сировина које нису у потпуности дефинисане, значајно је поменути лежишта кварцног песка „Дрлупе” и „Влашко поље”, лежиште „Паун Бара-Венчац” са лежиштима мермера, керамичке глине, „Лукавички Поток” са близу 1 400 000 тона керамичке глине и „Дрен” са око 360 000t керамичке глине.

Лежиште „Ропчево” општина Сопот има мермерну бречу, а лежиште „Велики црљени” у општини Лазаревац има обиље кварцног песка.

Потенцијал наноса песка у кориту:

Обале река Саве и Дунава су законом заштићене и свако ископавање песка и шљунка је забрањено, али се њихово корито може, под одређеним условима и на више локација, експлоатисати. Међутим, у кориту реке има само песка, али не и шљунка. Процењене потенцијалне резерве песка у Дунаву, у овом тренутку, су око 1.000.000 m³. Ископавање се може вршити методом багеровања, а затим транспортовати баржама.

Експлоатација речног наноса врши се са „водених земљишта“, на локацијама где је у интересу очување или побољшање водног режима.

Дакле, потенцијалне резерве песка, добијене из речног корита, врло тешко је проценити тј. квантификовати и њих није могуће узети у обзир када за конструкцију реалних процена потенцијала и залиха изворишта песка.

1.1.8. Преглед релевантних секторских прописа ЕУ и Србије

Начин организације управљања каменим агрегатима у Србији, и природним и техногеним је од круцијалног значаја за одрживо управљање и развој целе области, а директно је условљено добром законском регулативом. Гледајући по нивоима, на организацију ове области утиче регулатива и директиве Европске уније[124], законска регулатива Републике Србије са пратећим подзаконским актима и Одлуке јединица локалних самоуправа. Такође, постоји велико укрштање у хоризонталном законодавству између сектора рударства, геологије, заштите животне средине, грађевине и урбанизма, комуналних делатности, финансија, и у мањој мери других сектора који покривају друге области.

У оквиру области заштите животне средине као кровни закон релевантан за област управљања агрегатима је закон који регулише управљање отпадима [30] који, поред осталог, уређује у целини теме менаџмента отпадима, и грађевинским отпадом, као главном темом овог разматрања. Управљање отпадом у целини, дакле и грађевинским отпадом.

Циљ ових легислативних прописа је, када се разматра управљање и грађевинским отпадом, да се нађе најбоља:

- мера смањења генерисања грађевинског отпада;
- шема рецикловања грађевинског отпада, за делове који се не могу рециклирати;
- правилна одлагања грађевинског отпада, када је неопходно;
- санацију неуређених одлагалишта отпада, коришћењем грађевинског отпада.

У оквиру области заштите животне средине, за тему, релевантни су прописи који покривају све сегменте управљања отпадима, дакле од најопштијих до веома детаљних правилника који се баве садржајима дозвола, начинима паковања, евидентирања и пријављивања, извештајима, извозу и увозу као и пролазу кроз нашу земљу отпада из других земаља, начинима санација и ремедирања контаминираних зона земљишта, гаранцијама и финансијским аспектима, категоризацијама класификацијама али и уредбама које надопуњују у техничком смислу законска решења и које се баве депонијама, термичком аспекту третирања итд.

У ширем смислу ту су и прописи/закони који се дотичу и регулишу процене утицаја, спречавањима загађивања, водама али и градњи и надзору као и разни који се баве урбанизмима на разним нивоима.

Пример релевантног прописа узорковане јединице локалне самоуправе тј. града Београда је Одлука којом се регулише одржавање чистоће [51] и која говори о начинима организовања посла у комуналној делатности на територији града Београда.

Други, сличан релевантни пропис јединице локалне самоуправе (града Београда) је Одлука којом се дефинишу правила о комуналном реду.

Кључне директиве[124] ЕУ у релевантним областима:

- ° Директива (ЕУ) 2018/851 Европског парламента и Већа од 30. маја 2018;
- ° О измени Оквирне Директиве о отпаду 2008/98/ЕЗ;
- ° Директива (ЕУ) 2018/850 Европског парламента и Већа од 30. маја 2018;
- ° О измени Директиве 1999/31/ЕЗ о депонијама;
- ° Директива (ЕУ) 2018/852 Европског парламента и Већа од 30. маја 2018;
- ° О измени Директиве 94/62/ЕЗ о амбалажи и амбалажном отпаду;
- ° Директива (ЕУ) 2018/849 Европског парламента и Већа од 30. маја 2018;

1.2. Грађевински отпад

Грађевински отпад је класифициран у Групи 17 Листе категорија отпада ,и он се углавном састоји од неопасних компонента, чак и ископа земље, онда цигли, разних типова бетона, стакл итд), и нешто органских супстанци као пластике, дрвних елемената, итд), затим металних отпадака Fe, Cu, Al.... и умешаног отпада као из домова. Ипак он може садржати и неке опасне компоненте нпр азбесте и то и као цемента и као изолационе материјале, катране и аспфалте, живу и многе друге елементе препознате већ у стручној и законским литературама и прописма као хазардне.

Овде можемо навести и мали поглед у индексне бројеве различитих врста грађевинског отпада који нам показује да су неопасни обележени без а опасни са звездом у седамнаестој групи саме листе свих отпада. Бројеви се крећу од четвороцифрених 17 01 до шестоцифрених 17 09 02,17 09 03. У листи се налазе сви отпади који могу настати при грађењу објеката или њиховом уклањању.

Дакле дефиниција грађ. отпада је у самом закону о управљању отпадом али ту се не прописује детаљно поступање са њиме, нити још постоје сви подзаконски акти неопходни да третирају ову специфичну област у нашој држави. Можемо констатовати да **Законодавноправни систем у потпуности још није формиран и да многоо прописа и унапређених прописа дефинитивно недостаје данас.**

1.2.1. Количине генерисаног грађевинског отпада у Републици Србији

Композиција грађевинских отпада је процењен као:

- земља - ископна - око 75%;
- C D W - 16 - 25%;
- отпадни аспфалт и бетони - 5 - 10%.

Према подацима Републичког статистичког завода, 2020-те год., код нас је генерирано 729.000t отпада од грађења и рушења [32] .

Ипак може се применити компарација и са количином грађевинског отпада генерисаног у земљама ЕУ. Ту свакако треба знати да су пријављене количине генерисаног грађевинског отпада дефинитивно вишеструко веће од расположивих података, с обзиром на нелегално одлагање и непријављивање стварних података. Ако се за оријентир узме само БДП Републике Србије, количина грађевинског отпада у нашој земљи се процењује на распон од 1,6 до 3,6 милиона тона.

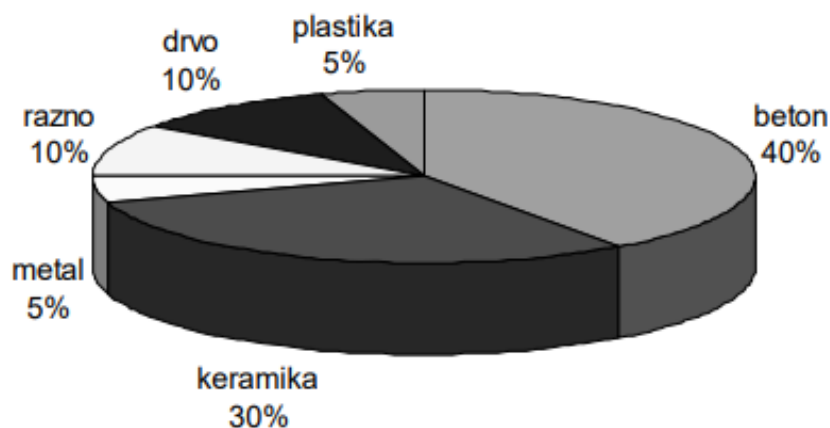
Овај износ је прорачунат на основу укупних грађевинских радова, укупних инвестиција у изградње објеката у Републици Србији, БДП-а грађевинског сектора, као и грађевинску активност извођача грубих и финих грађевинских радова на територији Р. Србије, али и површине уклоњених зграда (по подацима општина и региона у Р. Србији за 2020. и 2021. годину). Дакле, ако се у обзир узму наведени параметри, добијају се и следећи резултати:

- 1) учешће грађевинарства у БДП – око 6 %; [30] .
- 2) број запослених у сектору грађевинарства у Р. Србији – око 106.000;
- 3) издате грађевинске дозволе у Р. Србији – 22.625;
- 4) укупна инвестициона улагања у објекте – 471.639.883 РСД;
- 5) завршене зграде - површина – 1.961.112 m²;
- 6) срушене зграде - површина (m²) – 129.599 m².
- 7) непријављене генерисане количине- ??? [30] .

Оно што се мора навести као поражавајућа чињеница, јесте да је постојећа инфраструктура за третман грађевинског отпада у Србији је по капацитету мања од свега 1.000t годишње!

1.2.2. Извори добијања секундарних камених агрегата

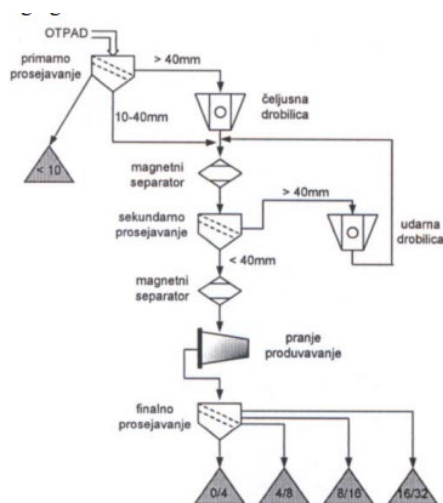
Када се гледа начин прорачунавања и у земаљама европске уније онда би могле да максимални квантитет овог грађ. отпада у Србији годишње достигне чак и до 3,65 милиона т.



Слика 2 . - Просечна структура грађевинског отпада

Просечно се годишње у Београду изда око 7.000 грађевинских дозвола[67].На слици 2 је приказана просечна структура грађевинског отпада.

Осам оператера на територији града Београда поседује дозволу за третман грађевинског отпада. А град Београд је потписао и Уговор о јавно-приватном партнерству за услуге третмана и одлагања комуналног отпада са „The Consortium of SUEZ Groupe SAS, & I-Environment Investments limited” и њиховом ћерка фирмом „Бео Чиста енергија”. Они су на локалитету старе депоније у Винчи, поставили постројење за третман грађевинског отпада, капацитета 200.000 т годишње [67]. Шема рада таквог постројења је приказана на слици број 3.



Слика 3 -Шематски приказ процеса ресиклаже грађевинског отпада

Рушење постојећих зграда и инфраструктура нуди друштву шансу да поврати заробљену енергију грађевине – ресурсе оригинално коришћене у производњи материјала и конструкцији саме грађевине. У подручјима са добрим рециклажним тржиштима, чак до 95 посто материјала неке грађевине предвиђене за рушење може се рециклирати. Чак и у областима са неразвијеним тржиштем, сматра се да се 50% може рециклирати кроз програме управљања отпадом. Такви програми захтевају прецизност у процењивању свих производа у грађевинском отпаду и отпаду од рушења који је доступан за рециклажу, али и посвећен рад у проналажењу тржишта за њих.

Произвођачи све више користе рециклирани отпад у новим производима. Економске и маркетиншке предности коришћења рециклираног садржаја су главни покретачи ових активности. Извођачи су ти који могу промовисати већу употребу рециклираног садржаја у грађевинским материјалима тако што ће сами куповати такве производе. У табели 10 су приказане типичне употребе рециклираног грађевинског отпада.

Табела 10 - типичне употребе рециклираног грађевинског отпада

Ресурс	Употреба
Бетон	Агрегат за нови бетон, путоградња...
Дрво	Компостирање, иверица, гориво...
Асфалт	За нови асфалт, за закрпе путева...
Гипс	Цементни адитив, земљиште, за суве зидове...
Метал	Као сировина за разне металне материјале

1.2.2.1. Карактеристике бетона

Бетон са светском производњом између 21 и 31 милијарде тона предњачи над свим материјалима. Бетон је грађевински материјал који је створио човек и који је се користи у тој мери широм света за све типове грађевина и инфраструктура због својих физичких и естетских особина.

Бетон се прави од грубог агрегата (шљунак или дробљени камен), финог агрегата (песак), воде, цемента и адитива. Цемент је хидраулички везив који се стврдњава када му се дода вода и представља између 6% и 15% бетонске мешавине, у зависности од намене, док агрегати представљају 80% масе а вода око 8%.

Структурални бетон се појављује готово искључиво у форми армираног бетона што је композитни материјал који садржи бетон и челик. Док бетон обезбеђује материјалу компресивну снагу, челик му даје еластичну снагу у облику греда или мреже. Армирани бетон се користи за све врсте структура (мостови, аутопутев, аеродромске писте) као и за зграде али се генерално користи за ношење великих терета као што су темељи и носећи стубови.

Два типа бетона се издвајају:

„Тешки бетон” који се користи за градњу индустријских и комерцијалних зграда и свих инфраструктурних пројеката, јак је и трајан, отпоран на ватру, има добру звучну изолацију, апсорбцију вибрација и термалне карактеристике.

„Лаки бетон” који се производи у форми блокова и користи се за зидање свих врста приватних домова. Због својих особина, бетонски блокови који се користе за преградне зидове обично не захтевају додатну звучну изолацију и заштиту од ватре.

1.2.2.2. Могућности за поновно искоришћење бетона

У појединим земљама је остварен рекордни ниво рециклаже (Данска – 80%, Холандија – 75%, Јапан 65%)[67]. Да би оствариле овакав напредак, поменуте земље су организовале селективно рушење објеката и сортирање различитих материјала. Међутим, иако је у појединим деловима света евидентан висок степен употребе рециклираних материјала, агрегат од рециклираног бетона се још увек доминантно користи за израду тампонна и подлога у градњи путева. Изузетак Јапан, где се скоро 65% демолираног бетона користи као рециклирани агрегат за производњу новог бетона. Сличан покушај чини се и у Великој Британији, где је државна политика усмерена на повећање примене рециклираног агрегата, очување природних ресурса и унапређење животне средине.

1.2.2.3. Постојеће опције третирања бетонског отпада

Иако се значајан део бетонског отпада и даље одлаже на депоније у ЕУ, ова пракса се значајно напушта. Главне опције за поновну употребу и рециклажу бетонског отпада описане су испод:

А) Поновна употреба

Сакупљање употребљивих префабрикованих бетонских конструкција и блокова захтева посебну пажњу и обзир приликом рушења или растављања грађевинског објекта чији су саставни део. Овако вођена операција рушења може да потраје, али је на крају исплатива због одсуства потребе за набавком нових материјала који су по правилу знатно скупљи. На располагању су различите технике рушења чији је заједнички смисао максимално избећи оштећивање материјала у обиму који би онемогућио његову поновну употребу.

Б) Рециклажа бетона

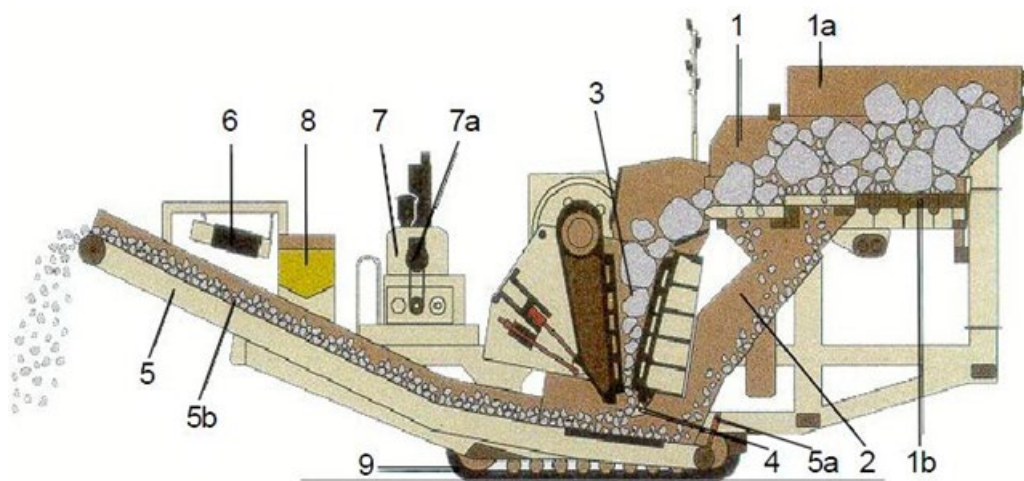
Бетон се може користи као замена за кречњак. Добре стране ове замене материјала често се посматрају кроз призму присуства налазишта кречњака у близини градилишта, узимајући у обзир чињеницу да трошкови транспорта могу да буду значајна ставка финансијског биланса. Крупни агрегати су за завршне слојеве неасфалтираних путева нижих редова.

Финиагрегати се а могу се користити као замена песка у малтерима. Међутим, употреба финих агрегата од рециклираног бетона може утицати директно на садржај малтера и може изазвати његово скупљање услед веће апсорпције воде. Ово може повећати ризик од пуцања и из тог разлога, фини рециклирани агрегати се не користе у производњи структурног бетона.

Концепт добијања рециклата креће од рушења објекта и транспорта до постројења а онда следи дробљење на величину од 0.4 m до 0.8 m и про-сејавање. По потреби може се радити и одвајање металног контаминираниости магнетним сепаратором или ручним или механичким уклањањем контаминирајућих материјала.

Рециклажна постројења се деле на стационарна и мобилна. Структура једног релативно софистицираног мобилног постројења са чељусном дробилицом је приказана на слици 15. Основни недостаци ове методе су: немогућност вишестепеног дробљења, прања и продувавања агрегата. Зато се ова постројења обично користе у случају рушења и поновне употребе рециклираног агрегата на истом месту.

Армирани и неармирани бетон прелази преко сита (слика 4) да би се одвојила фракција 0-45 mm (која се дели на 0-4 mm и 4-45 mm). Преостали материјал онда одлази у дробилицу, а потом излази и пролази кроз магнетни сепаратор да би се одвојили ферозни метали пре него што се просеје и одвоји на фракције 0-45 mm и >45 mm. Фракција >45 mm се смешта на привремену гомилу за касније поновно дробљење, док се 0-45 mm фракција просејава на подфракције 0 - 4 mm, 4 - 8 mm, 8 - 16 mm, 16 - 32 mm и 32 -45 mm. Ове подфракције се касније рекомбинују у миксеве које дефинише корисник или у одређене брендиране миксеве.



Слика 4 -Мобилно постројење за рециклажу бетона

Ради уклањања цементног камена са зрна агрегата, развијено је много технологија. На пример техником загревања и стругања се добија 35% до 45% квалитетног великог агрегата, 30% до 35% као и квалитетног агрегата мање величине и 18% до 35% прашкастог у зависности од температуре загревања (300-700°C).

1.2.2.4. Својсва агрегата од рециклираног бетона

Агрегат од рециклираног бетона се генерално састоји од оригиналног агрегата и залепљеног слоја малтера. Физичка и механичка својства рециклираног агрегата зависе како од особина, тако и од количине преосталог малтера. Наиме познато је да је залепљени малтер око зрна агрегата порозан материјал, чија порозност зависи од водоцементног факторарециклираног бетона.

На количину малтерске компоненте доминантно утичу процес дробљења (уситњавања) „старог“ бетона и димензије рециклираног агрегата. Количина малтера може да се креће у распону 25% - 65%.

У наставку су приказана нека својства рециклираног агрегата.

Упијање воде зависи од квалитета и дебљине залепљеног малтерског слоја око зрна агрегата. Поређења ради, природни речни и дробљени агрегати имају упијање воде око 1%. Повећано упијање воде рециклираног агрегата утиче на конзистенцију бетона и на нека својства очврслог бетона која су битна за трајност (упијање воде, отпорност на мраз, карбонизација итд). Поједини истраживачи, због тога, да би се обезбедио услов да упијање воде укупне количине агрегата буде мање од 5%, да се ограничи количина рец

агрегата на 20 – 30 %, како би се осигурала квалитетна производња бетона за конструкцијску примену.

Облик и текстура рециклираног агрегата зависе од врсте дробилице и могу неповољно утицати на обрадљивост бетона са рециклираним агрегатом у односу на бетон справљен са природним речним агрегатом.

Без обзира на одређене мање разлике у погледу својстава агрегата од рециклираног бетона, генерално рециклирани агрегат има следећа својства: веће хабање, већу дробљивост, већу количину прашинастих честица, већи садржај органских материја и могућ садржај хемијски штетних материја. Због могућих варијација у квалитету рециклираног агрегата и генерално лошијег квалитета у односу на природни агрегат, многе земље које су увеле у своју праксу употребу рециклираног агрегата, обавезују произвођаче бетона да пре употребе рециклираног агрегата провере његова својства. У недостатку стандарда у коме су специфицирани захтеви и услови квалитета за агрегат од рециклираног бетона, могу се користити стандарди за нормални стандардни агрегат за производњу бетона. У земљама ЕУ то је стандард ЕН 12620-2002.

1.2.2.5. Својства бетона са агрегатом од рециклираног бетона

У овом поглављу је дат кратак приказ најважнијих својства свежег и очврслог бетона са агрегатом из рецикловања. Дати подаци су добијени упоредних тестирања својстава обичног бетона и бетона са рециклираним агрегатом других аутора. Они варирају у широким границама, понекад су и контрадикторни, али се генерално може узети да поредећи ова два, онај са рециклираним компонентама има следећа својства:

- Врста крупног агрегата нема утицаја на количину увученог ваздуха.
- Са повећањем учешћа рециклираног агрегата смањује се запреминска маса свежег бетона.
- Рециклирани агрегат утиче на конзистенцију бетона, тако што смањује покретљивост бетонске мешавине, због упијања воде. Начин припреме рециклираног агрегата за справљање бетонских мешавина утиче на конзистенцију бетона. У случају примене водом засићеног површински сувог рециклираног агрегата, конзистенција бетона са природним и рециклираним агрегатом се неће бити разликовати. У случају употребе сувог рециклираног агрегата и додатне количине воде, може се постићи иста конзистенција након захтеваног времена.
- Скупљање бетона се повећава са повећањем количине рециклираног агрегата.
- Упијање воде зависи од разлике између водоцементних фактора новог и старог бетона од кога је добијен рециклирани агрегат. У највећем броју случајева бетони са рециклираним агрегатом имају веће упијање воде.
- Чврстоћа бетона при притиску зависи првенствено од квалитета рециклираног агрегата. Уколико се за справљање бетона користи квалитетан агрегат, добијен дробљењем бетона виших марки, тада он неће утицати на смањење чврстоће при притиску, без обзира на проценат учешћа у крупном агрегату.

- На вредности чврстоћа на затезање цепањем и на затезање савијањем, врста употребљеног агрегата нема битнији утицај. Разлике у чврстоћама се крећу од 0-10%.
- На водопропустљивост бетона утиче капиларна порозност цементног камена новог бетона и капиларна порозност цементног камена рециклираног бетона. Уколико је агрегат добијен дробљењем бетона мале порозности, тада водопропустљивост новог бетона зависи од избора гранулометријског састава и остварене структуре новог цементног камена.
- Количина рециклираног агрегата утиче на отпорност бетона према хабању. Са повећањем количине рециклираног агрегата, смањује се отпорност бетона према хабању, због повећане количине цементног камена који се лакше хаба од зрна природног агрегата.
- На прионљивост између бетона и арматуре. агрегат од рециклираног бетона нема значајнији утицај јер се прионљивост остварује преко новог цементног камена.

1.2.2.6. Користи од рециклаже бетона

Рециклирање спречава употребу природних ресурса и заузимање земљишта у природи и на тај начин чува биодиверзитет.

Са друге стране, избегнути утицај повезан са транспортом и обрадом природног материјала није значајно различит од оног који је створен да би се припремио рециклирани агрегат. У неким случајевима, међутим, рециклирани агрегати се могу локално искористити, што утиче на редуковање транспортне дистанце. Овакви случајеви, за резултат имају позитивни утицај, нарочито у потрошњи горива и смањењу емисија гасова стаклене баште.

1.2.2.7. Систем зелене градње: промовисање употребе отпадног бетона

Системи зеленог грађења (Green Building System) могли би да подстакну веће коришћење рециклираног бетона просто интегрирањем критеријума у препоруке грађња. Када би се указало на квалитет рециклираног бетона и промовисале велике могућности његове употребе, могло би имати утицај на опште перцепирање.

1.2.2.8. Керамички грађевински отпад (опека, цреп и керамика)

Керамика је неоргански, неметални солид који се производи загревањем на високој температури, а затим хлађењем. Керамички материјали могу имати кристалну или делимично кристалну структуру, или могу бити аморфни. Зато што су најчешће кристални, обично се дефинишу као неоргански кристални материјали. Керамика се користи у градњи као структурални производ за нпр. блокове, али и као структурални део спољашње фасаде, унутрашње облоге зидова, плоча за поплочавање, водоводне и канализационе цеви.

а) Рециклажа

Велики део керамичког грађевинског отпада је погодан да се измрви и рециклира као замена за природне агрегате у неким мање захтевним применама, као што је базна подлога за градњу путева. Ова пракса је нормална у неколико земаља чланица Европске уније, већ дуго година. На пример, у Холандији где су строге мере за заштиту животне средине, рециклажа ове фракције је добро установљена док је у Грчкој још у фази развоја.

Европска „Асоцијација за опеку и цреп промовише неколико опција за употребу рециклиране керамике:

- За насипање и стабилизацију споредних путева, посебно у влажним подручјима, као што су шуме и поља. Ова пракса је постала уобичајена у земљама којима недостаје адекватан агрегат од камена, као што је то случај у Данској. Материјал се генерално користи смрвљен.
- Дробљена глиненa опека, цреп и остали зидарски производи могу да се користе на великим пројектима градње путева, посебно као неvezивни базни материјал. Користе се у градњи путева у Немачка, Данска, Холандеја, Швајцарска и Великој Британији. У Немачкој за ову примену, максимални садржај опеке је 30% услед квалитативних захтева за отпорности на мржњење и удар. Рециклирани материјал замењује природне материјале, као што су шљунак и песак, који се користе у великим количинама за ову намену.
- Агрегати за ин-ситу примену, као нпр. дробљена глиненa опека и цреп, могу се користити за нивелисање и попуњавање канала за цевовод. Фини дробљени материјал одлично замењује природни песак.
- Дробљена опека, цреп и керамика могу такође бити коришћени као агрегати у производњи бетона. То је већ редовна пракса у Аустрији, Данској, Швајцарској и посебно у Холандији.
- Шљака за тениске терене од дробљене црвене опеке и црепа се користи за Фини површински слој постављањем преко грубље гранулисаног слоја, који се може производити од рециклираних опека.
- Дробљена опека и цреп се такође може користити као супстрат за биљке. Материјал се може мешати са органским компостом, а посебно је погодан за зелене кровове. Порозност материјала омогућава задржавање влаге за биљке током сушног периода.

б) Поновна употреба

Скидање црепова и складиштење за поновну употребу није тежак задатак. Такође, опеке које остају након пројекта градње, могу се усмерити на поновну употребу у новој изградњи. На пример, нови архитектонски тренд у Берлину је да се фасадне опеке поново користе у новј градњи. Да би се то постигло, деконструкција грађевине је

императиван захтев. Оно што покреће неколико тема за размишљање приликом коришћења ових материјала је њихов степен контаминације, па тако:

- чишћење опеке троши пуно времена, посао је напоран и за његово извођење се не сме користити механизација. Приликом његовог извођења, ствара се огромна количина прашине;
- малтер богат цементом се тешко уклања. У земљама као што је Грчка, где је малтер на античким конструкцијама чист керамички материјал, нема потребе за уклањањем,
- преостала прашина од малтера може да утиче на адхезију између опеке и малтера, и да доведе до слабијег везивања, у зависности од композиције малтера,
- опеке могу варирати у квалитету. Због тога је тешко предвидети снагу и носивост грађевина направљених од рециклираних опека. Европски и национални стандарди су врло стриктни по том питању и веома је тешко бити сигуран да ће поновно коришћене опеке бити издржљиве и трајне.
- услед компликоване природе и високе цене радне снаге повезане са овим процесом, употреба старих опека може бити скупља него употреба нових.

Повећан број научних истраживања се изводи да би се унапредила техника сепарације и чишћења опека од осталог грађевинског отпада и посебно од контаминаната, али у моменту писања рада, ни једна поуздана техника није идентификована.

в) Директан утицај рециклаже као материјала за градњу путева

Као што је описано већ, рециклажа опеке, црепа и керамике укључује процесне кораке (дробљење, просејавање, транспорт) у скоро свим случајевима, осим у случају насипања споредних путева када је дробљење непотребно. Ови процеси су стога слични процесуирању природних материјала па је направљен баланс по питању ефекта на животну средину.

Производња прашине и честица током дробљења, просејавања, транспорта и складиштења се избегава, на пример прскањем воде преко материјала, покривањем машина...

Бука приликом поменутих процеса изазива озбиљну забринутост за здравље радника, а може се решити употребом заштитне опреме и тихих машина.

г) Користи од поновне употребе и рециклаже

Употреба рециклираних опека, црепа и керамике у облику грубих и финих агрегата у разним рециклажним опцијама, које су описане у претходном делу, замењује природне материјале који би се ископавали и процесуирали, чиме се штеде природни ресурси и природни простор за каменоломе и ископине шљунка и песка. Такав материјал, стога, није угрожен интензивном експлоатацијом. Коначно, утицај транспорта природног материјала који је избегнут употребом рециклираних агрегата је ограничен, с обзиром

на то да су фабрике опеке обично у близини лежишта глине, па су већ трошкови превоза мали.

Директна употреба сакупљених опека и црепа избегава процес производње, потрошњу енергије и емисију гасова. У суштини, производња керамике је веома енергетски интензивна са енергетским уделом од чак 30% у трошковима производње.

д) Економски утицај

Једноставна екстракција глине и развој нових производних техника одржавају глинену опеку и цреп као компетитиван грађевински материјал који има добар квалитет, дуг животни век, минимално одржавање и омогућава енергетски ефикасна решења током фазе употребе. Смањење трошкова производње опеке, црепа и керамике од сирових материјала, стога, нису охрабрујући за развој рециклаже. Потенцијалне мере које би промовисале развој бољих техника рециклаже и у већем обиму су следеће:

- Забрана одлагања на депоније

Забрана одлагања ове врсте отпада на депоније на нивоу Европе, пратећи пример Холандије, би значајно мотивисало произвођаче отпада од опеке, црепа и керамике да процесуирају свој ток отпада кроз постојећи ланац рециклаже и чак покренуло истраживање за развој ефикаснијих техника рециклаже. Осим тога, забрана одлагања овог отпада на депоније (или повећања накнада за одлагање) би обезбедило редован прилив отпада за рециклажну индустрију.

- Грађевински утицај

Дизајнирање зграда узимајући у обзир и њихово рушење би учинило једноставнијим сакупљање опека и црепа, унапредило би квалитет тока отпада и стога повећало поновну употребу ових елемената за нове пројекте градње. Са друге тачке гледишта, пројекти би били дизајнирани за дужи животни век што би довело до редукције настајања отпада.

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања у овом раду су камени агрегати: анализирање могућности супституције природних агрегата рециклираним грађевинским отпадом. У Републици Србији, али и у већем делу Европе, постоје једва довољне количине природног агрегата за потребе садашњице, а камоли за одрживо коришћење, у смислу обезбеђивања будућих покољења и потреба. Такође се евидентира и недостатак позитивне правне регулативе и инфраструктуре за третман и одлагање грађевинског отпада, за који не постоје ни довољне локације уређене за прикупљање.

Два главна правца истраживања ове дисертације су: (1) аналитичко разматрање стања у домену резерви и могућности коришћења природних агрегата, и (2) испитивање могућности смањења коришћења природних агрегата и супституција агрегатима добијеним рециклажом грађевинског отпада, што је од великог економског, научног и круцијалног значаја за заштиту животне средине. Експерименталном студијом на огледном примеру депоније Винча, рад приказује оправданост могућности коришћења грађевинског отпада након рециклаже у грађевинској индустрији, посебно доказан на репрезентативном узорку.

У експерименталном делу ове дисертације узорковане количине и одабране врсте грађевинског отпада су прикупљене и рециклиране, након чега су тако добијене фракције испитиване у смислу процене могућности примене у грађевинској индустрији, у складу са правилима еколошке и грађевинске струке. На основу извршених анализа у дисертацији су разматрани и састав и особине добијених материјала, чија примена би даље могла бити у области грађевинарства као супституција природних ресурса.

Истраживања спроведена у циљу израде ове докторске дисертације, обухватила су следеће активности:

- прикупљање и анализу информација о постојећим природним ресурсима камених агрегата у Србији, као и процена (пројекција) могућих будућих потреба и коришћења истих,
- анализу постојећих модела и начина рециклаже грађевинског отпада,
- развијање система за узорковање и сакупљање различитих врста грађевинског отпада на изабраном територијалном узорку, различитог порекла и састава,
- рециклажу сакупљеног грађевинског отпада,
- лабораторијска испитивања припремљених узорака,
- синтезу и анализу добијених података,
- анализу постојеће правне регулативе из ове области, и предлоге унапређења,
- анализу могућности супституције природних камених агрегата рециклираним,
- анализу постојећег и могућих утицаја садашње и потенцијалне праксе управљања каменим агрегатима на животну средину.

Поступак добијања нових ресурса из грађевинског отпада, представља и поновну употребу отпада принципима "хијерархије управљања отпадом" којима се постиже добијање нових ресурса процесима рециклаже отпада.

Циљеви истраживања ове доктораске дисертације су и провере и по могућности потврде хипотезе коришћене у раду.

Главна хипотеза докторске дисертације је да се фракције грађевинског отпада, третиране и рециклиране, могу користити као ресурс и као грађевински материјал са великим дијапазоном примене и са потенцијалом да замене природне агрегате у путној и грађевинској индустрији. Претпоставка је да смањење коришћења природних агрегата и њихова супституција рециклираним грађевинским отпадом доприноси одрживом развоју, циркуларној економији, мањој експлоатацији необновљивих извора ресурса, већој заштити животне средине, мањој деградацији површина, ефикаснијем (и економски оправданом) коришћењу нових ресурса и развоју више грана и области како науке и тако и индустрије.

Помоћне хипотезе у овој дисертацији су:

- поступак рециклаже и третмана грађевинског отпада методом и његова рециклажа је еколошки прихватљив и оптималан технолошки поступак за практичну примену, због сигурности спровођења, једноставности и ниске цене обраде отпада;
- грађевински отпади, након поступка рециклаже се могу користити као грађевински материјал у путној и грађевинској индустрији, уз обавезу испуњења законима и правним актима који прописују критеријуме у циљу да се исти користе на еколошки безбедан и прописан начин.

3. ПРОИЗВОДЊА И УПОТРЕБА КАМЕНИХ АГРЕГАТА У БЕОГРАДУ

Од укупно потребних количина, само око 10-15% потребног камених агрегата се подмирује из каменолома и површинских копова који се налазе на територији града Београда. Највећи део се ипак обезбеђује из налазишта, од којих су нека на удаљености и преко 100 км или из увоза.

Камени агрегати се обезбеђују из налазишта код Венчаца, Рујевца (Љиг), Стражевице и Градца (Баточина), Града код Голупца, Ладних Вода (Петровац на Млави), Ковиловаче (Деспотовац), Мезулане (Рудник), Подбукова (Ваљево) и др.

Кречњак на територији Београда, се експлоатише у налазишту Стражевица - Кијево (око 8.000.000t), налазишту Танасијевића Брдо - Општина Лазаревац (око 1.100.000t) и лежишту Кошутита - Општина Младеновац (око 2.800.000t).

У лежиштима изван експлоатације налази се и до 5,000.000m³ *кречњака*, али је степен концентрисаности резерви низак и многи потенцијални каменоломи су практично сада у насељима или у њиховој непосредној близини те је њихова експлоатација немогућа .

Велике резерве *шљунка* постоје једино у оквиру Колубарског басена, и то поље Тамнава. Резерве шљунка ту износе око 123,418.000m³, а у источном делу басена шљункови су у повлати и њихова експлоатација је везана за динамику откопавања откривке угља.

Песак се, највећим делом, добија из река Дунава и Саве.

Када је у питању потрошња, на основу података из Статистичког годишњака 2012. године, утрошак грађевинског материјала у Београду [32] у периоду од 2008. до 2012. године је износио, за портланд цемент 309.693m³, за остале врсте цемента 195 439m³ , за цементне малтере свих врста 67345m³, свеж бетон 1.559.208m³, за профилисани материјал од камена (ивичњаци, колобрани, камене коцке и др) 69.983m³, ломљени технички камен и мермер свих врста 151.886m³, [27] туцаник и камена ситнеж 4.064.751m³, агрегати за бетон 2.571.852m³, шљунак 5.105.845m³ и за песак 2.332.396m³.

Агрегати се за потребе на територији града Београда највише троше у нискоградњи - око 50%. Мање количине су заступљене у високоградњи, а знатно мањим делом агрегати се користе при занатским и другим радовима у грађевинарству.

Процена је и да ће раст потрошње агрегата за изградњу кућа и инфраструктуре бити око 2% годишње, што ће и наредном периоду бити увећено великим инфраструктурним пројектима који се планирају у граду Београду.

3.1. Прикупљање и употреба грађевинског отпада у Београду

CDW је класификован у Европски каталог отпада 2000/532/ЕЦ [25] и, према Оквирној директиви о отпаду 2018/851 [26], проценат рециклаже овог отпада мора бити 70% до 2020. У 2020. укупан отпад настао у ЕУ по свим привредним делатностима и домаћинствима износио је 2135 милиона тона или 4815 кг по становнику [27], а CDW у ЕУ 27 је у просеку износио 37,5% укупног генерисаног отпада, док је у Србији 1,2%. Међутим, стопа опоравка CDW-а у Европској унији (ЕУ-27) износила је 88 процената у 2018. [28]. Привремене процене података о производњи агрегата за 2019. годину откриле су да је укупна производња рециклираног агрегата у Европи (42 земље) износила 288 Мт [29], или 6,9% укупне производње агрегата. Највећи произвођачи рециклираних агрегата у Европи су Велика Британија, Француска и Немачка, са 12–24% укупне производње агрегата

Процењује се да се удео грађевинског отпада који остаје након рушења, у укупној количини грађевинског отпада креће у границама од 40-50%. У случају отпада који настаје у току послова реновирања, тај проценат налази се у границама од 30-50%, док је проценат који се односи на трећу категорију грађевинског отпада, ону која се издваја приликом вршења нових грађевинских радова, најмањи, и износи 10-20% [33].

Најбитнију подкатегорију грађевинског отпада представља инертни отпад и он чини од 70-90% од целокупне количине грађевинског отпада. Тренутна ситуација на територији града Београда је да ЈКП „Градска чистоћа“, у оквиру услуга које пружа грађанима, обавља и услугу одвожења грађевинског отпада. Физичка, као и правна лица, дужна су да пријаве изношење шута погонима ЈКП „Градска чистоћа“ на својим градским општинама, како би се на тај начин спречило нагомилавање шута и смећа поред контејнера и у зонама где то није дозвољено [31].

На депонију Винча се одложи у просеку око 300.000 t грађевинског отпада и отпада од рушења годишње. Овај материјал се делимично рециклира, а део користи за прекиривање тела депоније [67].

У складу са прописима ЕУ, ова Директива [26] је усвојена и уграђена у законодавство Србије [30]. Након тога, град Београд је усвојио Локални план управљања отпадом за град Београд 2021–2030, којим је одређена локација за постројење за рециклажу и процењена годишња количина CDW-а на близу 500.000 т [31]. Године 2020. произведено је око 729.000 тона CDW-а [32]. Већина грађевинског отпада и отпада од рушења се одлаже или чешће заједно са комуналним отпадом одлаже на општинске депоније. Процењени састав грађевинског отпада и отпада од рушења је следећи: ископ земље 75%; грађевински отпад и отпад од рушења (керамика, бетон, гвожђе, челик, пластични отпад), 15–25%; отпадног асфалта и бетона, 5 –10% [33]. Сакупљање и одлагање грађевинског отпада и отпада од рушења подлеже принципу загађивач плаћа, што значи да је произвођач отпада искључиво одговоран за законито и безбедно одлагање (коначно одлагање или рециклажа) насталог отпада. Постојећа инфраструктура за третман грађевинског отпада и отпада од рушења у Републици Србији обухвата свега неколико постројења за дробљење и рециклажу мање од 1000 тона отпада годишње. У Београду је у Винчи изграђено постројење за прераду

грађевинског отпада од рушења, капацитета до 200.000 т годишње, које је у пробном раду [33].

Као перспективну сировину која се може користити као замена природним агрегатима треба поменути и *пепео* из термоелектрана. Сагоревањем нискокалоричног лигнита у котловима ТЕ Никола Тесла А и Б у Обреновцу и у ТЕ Колубара [120], у Великим Црљенима настају велике количине шљаке и летећег пепела. Примера ради, само у току једне године буде генерисано 4.272.300 t пепела, што представља и неки годишњи просек. Депонија ТЕНТ А заузима површину од 400 ha, а депонија ТЕНТ Б површину од 600ha (пепео је одлаган на 400 ha, а 200 ha није коришћено). Депонија ТЕ Колубара заузима површину од 70 ha. Процењује се да на укупној површини обе депоније постоји преко 200 милиона тона депонованог пепела. Тренутно се рециклира и продаје у просеку од 0,55- 2% насталог пепела годишње (подаци од 2009. године до данас) [67].

Радови на изградњи путева дефинитивно су поље на коме се претежно могу употребљавати рециклирани агрегати уместо примарних. У погледу поновног искоришћења грађевинског отпада битно је испоштовати одредбе оквирне директиве о отпаду (2008/98/ЕЦ), по којој је основни услов да постоји тржиште или потражња за таквим материјалом или објектом који се поновно користи, те да он мора да задовољава техничке услове за специфичне сврхе, и да је у складу са нормама и постојећим стандардима који су применљиви на те производе. Неопходно је, такође, и да постоји позитиван ефекат употребе те материје или објекта на животну средину, што је потпуно изводљиво када је грађевински отпад у питању.

Истом директивом је прописана и обавеза рециклаже 70% грађевинског отпада, што додатно пружа и обавезу организоване рециклаже овог типа отпада и његово поновно искоришћење.

3.2. План развоја града Београда у погледу рециклаже грађевинског отпада

На територији града Београда, укључујући ширу околину, без обзира на постојање одређених лежишта природних камених агрегата и потенцијалност [31] овог простора за повећање постојећих резерви, чак и евентуално проналажење нових лежишта, није предвиђено одржавање и развој рударске производње.

Основни правац развоја обезбеђивања камених агрегата јесте рециклажа грађевинског отпада. Рециклажом грађевинског отпадамогуће је да се подмири око 15% потреба тржишта.

Град Београд се определио за овај приступ и донео је Локални план управљања отпадом града Београда којим је предвиђена изградња постројења за рециклажу грађевинског отпада на локацији депоније у Винчи. Постројење је након избора приватног партнера као оператера на депонији Винча изграђено и пуштено у рад.

Постројење се састоји од прилазне рампе, успиног коша, примарне дробилице, секундарне ударне дробилице, одвајања лаких честица и комплет сита за сепарацију

фракција 0-4 mm, 4- 8 mm, 8-16 mm и 16-32 mm и повратним тракама за враћање комада већих од 32 m, уз могућност груписања појединих фракција у један излаз. Током радног процеса засебно се одвајају лаке фракције (пластика, папир итд.), дрво, метали итд. У склопу постројења [31] је и багер са хидрауличким чекићем. Примарна дробилица може прихватити појединачне комаде чије највеће димензије не прелазе 80x100 cm. Већи комади грађевинског отпада уситњавају се помоћу хидрауличног чекића, монтираног на багеру. Рециклирани материјал на излазном делу постројења је следећих фракција: 0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm и 16-32 mm [67].

Такође је предвиђен наставак прикупљања грађевинског отпада из домаћинства и путем рециклажних дворишта а грађевински отпад ће се након сакупљања превозити на локацију будућег постројења за рециклажу. Грађевински отпад ће моћи као и до сада да предају и правна лица-генератори грађевинског отпада а која су до сада овај тип отпада искључиво предавали уз надоканату за одлагања на депонију.

Треба поменути и Стратегију развоја града Београда која предвиђа повећање степена рециклирања отпадних материја укључујући и грађевински отпад и пропусије подстицање и развој индустрије рециклаже као један од стратешких праваца развоја града, и то не само као мера заштите необновљивих ресурса већ и због подстицања све укупног економског развоја .

3.3. Потребa за побољшањем снабдевања природним агрегатима у граду Београду

Град Београд је највеће тржиште агрегата у Србији, али је производња природних агрегата прилично мала -око пет одсто укупне потрошње. Ово одражава геологију територије града Београда, у којој доминирају неогене и квартарне седиментне стене. Производња ломљеног камена ,песка и шљунка на територији Београда била је скоро изједначена, док је највећи део увозних агрегата песак и шљунак, због ниже цене. Потрошња дробљених стена обухвата око 90% кречњака и доломита, а остало су магматске стене. Главни проблем коришћења ломљеног камена на територији града Београда су дуги транспортни путеви, који су обично близу или више од 100 km, што ствара више логистичких проблема и повећава цену агрегата [67].

Оно што произлази из горенаведеног јесте да је неопходно успоставити добар систем снабдевања са ниским социо-еколошким утицајем производње и транспорта агрегата, а основа за то је анализа стварне структуре производње и понуде природних агрегата и нових потенцијалних каменолома и/или песка и шљунка.

Успостављање одрживе понуде агрегата, на било ком административном нивоу, је важан изазов због њиховог огромног економског значаја (у Европској унији допринос агрегата укупном сектору рударства био је 67% по обиму и 23% по вредности у 2013[4,5]. години, Менегак и Калиампакос, 2010), али и због потенцијалног еколошког и друштвеног утицаја њихове производње, посебно на локалном нивоу. Агрегати су сировина од стратешког значаја у савременој привреди због велике годишње потрошње углавном за инфраструктурне радове – у путоградњи и нискоградњи, али и за производњу креча и цемента, што сектор агрегата чини далеко највећим међу

неенергетску, екстрактивну индустрију у Европи, са тренутном производњом од 3 милијарде тона за земље ЕУ + ЕФТА (укупно 31 земља) у 2011. години, или 3,9 милијарди, ако се укључи придружене земље из УЕПГ, 2012). Због тога се њихов значај стално вреднује и пажљиво планира (Пфлеидерер ет ал, 2007; Бровн ет ал, 2011; Манкелов & Гунн, 2011; Тиесс & Криз, 2011).

Природни агрегат је агрегат од минералних ресурса који нису били подвргнути само механичкој преради, док се произведени агрегат производи индустријским активностима као што су прерада или поновна прерада отпада, нуспроизвода и остатака. Индустрија агрегата у Србији, а самим тим и у граду Београду, користи готово искључиво природне агрегате – песак, шљунак и дробљени камен (Статистички годишњак, 2013; Симић и сар, 2010; Симић и сар, 2011).

Подручје Београда чине палеозојске, мезозојске, терцијарне и квартарне стене (Марковић и сар., 1984; Филиповић и Родин, 1980; Павловић, 1980; Ивковић, 1975; Брковић и сар., 1980). Терцијарни и квартарни седименти су далеко доминантни литолошки чланови. Границу и подлогу ових седимената чине шкриљци из девона и карбона, гнајс, шкриљци и пешчари, мезозојски карбонатни и лапоровити седименти и терцијарне дацит-андезитне стене и пирокластичне стене. [90]

У структурно-тектонском погледу подручје територије града Београда налази се на самом ободу балканског полуострва и тектонски издигнутих терена шумадијског побрђа, наспрам спуштених терена панонске низије северно од Саве и Дунава. Овде се могу издвојити три структурна спрата: мезозојске стене представљене кредним седиментима (констатоване бушењем), миоценске насlage, које су делимично откривене на површини терена, и као најмји структурни спрат, квартарне творевине. Генерално, великим раседним зонама дуж долина Саве и Дунава [83] одвојен је део територије који припада Панонској низији, од дела унутар подручја јужно од Саве и Дунава, где постоји читав низ мањих, локалних структура, ровова и хорстова, где миоценске насlage имају мању или већу дебљину.

Београд лежи на крајњем северном завршетку Шумадијске греде, која се диже изнад нижег шумадијског побрђа, а почиње код Рудника на југу, па се преко Венчаца, Космаја и Авале пружа према северу, где прелази у нижи београдски рт, који се завршава стрмим одсеком (110 m) изнад става Саве и Дунава (72 m). Северни део Шумадијске греде са београдским ртом представља непосредно развође између Саве и Дунава, а даље према југу развође између слива Колубаре на западу и слива Велике Мораве на истоку. Теме београдског рта је мање-више уравњено и засечено степенасто поређаним терасама булбулдерског стадијума (110m), теразијског стадијума (125m) и београдске фазе (150m). Стране рта према Сави и Дунаву спуштају се доста стрмо, до уских алувијалних равни тих река. Идући према југу, рт се шири, али је са источне стране рашчлањен долинама Булбулдерског и Миријевског потока који притичу Дунаву, а са западне стране сливом и долином Мокролушког потока који притиче Сави. Иза те долине налази се рт Дедиња и Топчидерског брда, а иза њега је долина Топчидерске реке, која такође притиче Сави. Са леве стране Топчидерске реке пружа се рт Кошутњака и Бановог Брда, а иза њега је велико проширење Макиш, с десне стране Саве. [90]

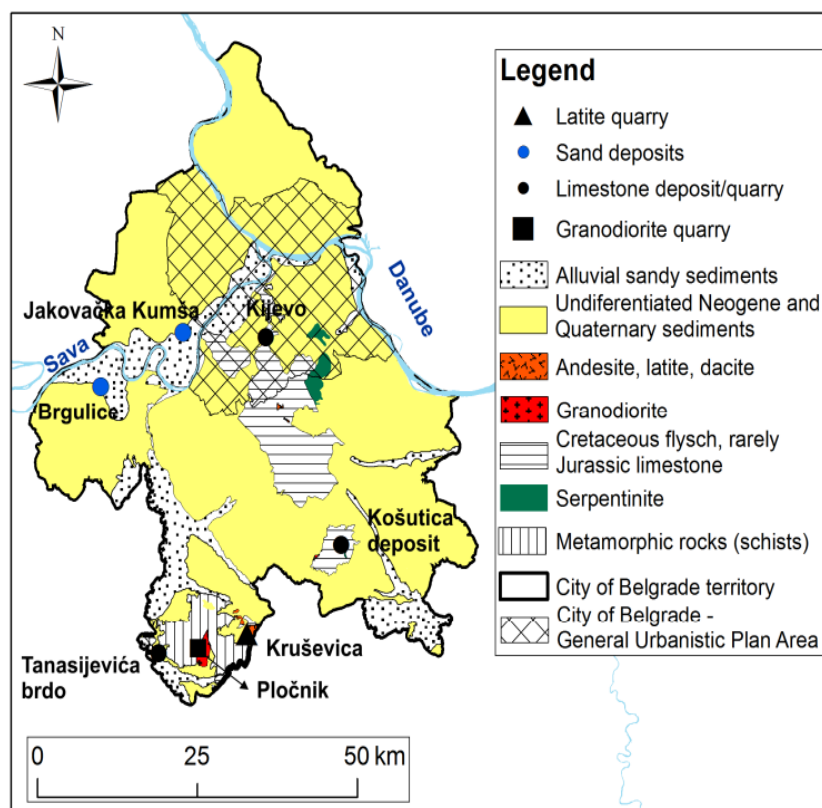
Територија града Београда простира се на крајњем северном делу шумадијско-копаоничко-косовског блока, као геотектонске јединице највећег реда на простору Србије, односно у оквиру ње припада тзв. северном делу „шумадијске греде“, која се завршава „Београдским ртом“. Рејон шумадијско - копаоничко - косовског блока је изузетно сложене структурно-геолошке грађе. Изграђен је од палеозојских кристаластих шкриљаца, горњојурских творевина офиолитског меланжа (дијабаз-рожначке формације), кредног флиша, комплекса седимената терцијара и кварталних алувијалних наноса већих река. [67]

У геоморфолошком погледу, овај рејон је брдско-планинска област са израженим међупланинским котлинама, као што су: Чачанско-краљевачка котлина, Косовски басен, Дренички басен и др. Претежно мањи речни токови овог рејона уливају се у Ибар, Западну и Велику Мораву и Колубару. Изражено је одсуство значајнијих резерви подземних вода у теренима изнад ерозионог базиса који представљају корита највећих водотока. Последица оваквог стања огледа се у изразито малим количинама речног протицаја током сушног периода године. Међутим, овај рејон карактеришу бројне појаве минералних, термалних и термоминералних вода. Познати су бројни бањско-рекреативни центри који припадају овом блоку, од којих се један налази и на територији града Београда, а то је „Селтерс бања“ у Младеновцу. Шумадијско-копаоничко-косовски блок граничи се на истоку са српским-кристалистим језгром. На југу има распрострањење и на територији Македоније, а на северу у Војводини, представља подину неогених творевина. Западна граница се пружа од Фрушке горе преко Обреновца, Лајковца, Чачка, Новопазарске бање, брдско-планинским пределом између Метохије и Косова до Штрпца.

Палеозојске стене су грађене од девонско-карбонског филита са поново таложеним блоковима и фрагментима кречњака и карбонских теригених седимената (филит, ређе кварцни пешчар са сочивима кречњака).

Палеозојске стене се јављају дуж јужне границе београдског подручја. У зони контакта са гранодиоритним стенама палеозојске до мезозојске старости се метаморфизују, формирајући рогове, амфиболит, лискун шкриљаца и гнајса.

Мезозојска седиментација је започела у раном тријасу наслојеним кречњаком и кластичним стенама – пешчаром и шкриљцем богатим лискуном, док се током средњег и касног тријаса наслањала до дебелослојних доломита, доломитских кречњака и депонован масивни кречњак. Тријаски седименти се јављају само дуж југозападне границе Београда. Централни део територију Београда чине јурски серпентинит и каснојурске до горњекредне сукцесије стена. Састоји се од кречњака и флиша (наизменица кречњака, лапорца, пешчара и алеврита). Магматске стене касног олигоцена и раног до средњег миоцена формиране су у јужном делу београдског подручја и као мале масе унутар централне београдске јурско-кредне сукцесије. Вулканске стене се састоје од гранодиорита, феноандезита, фенодацита, кварц-латита, латита, игнимбрита и туфа (слика 5).

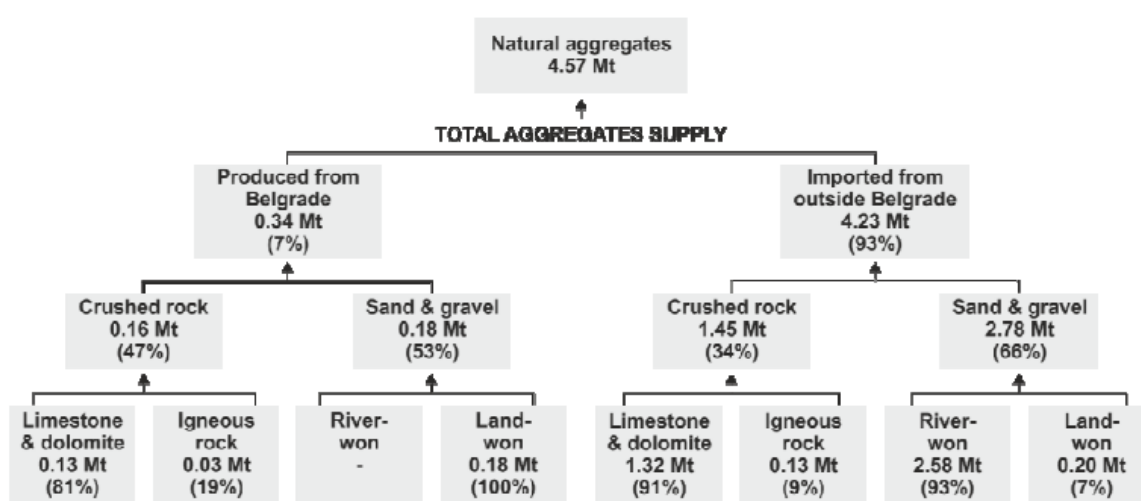


Слика 5 - Геолошка карта Београда са положајем постојећих каменолома агрегата и пешчаре (по Основној геолошкој карти СФРЈ, листови Београд, Панчево, Обреновац, Смедерево и Крагујевац)

Неогенски седименти у Београду и околини састоје се од следећих целина (Животић и сар., 2013): раномиоценски слатководни лапорци, туф и глиненци; баденски (средњи миоцен) морски песак, лабаво омеђени конгломерат, слатководни песак, глина и шљунак; сарматски (средњи миоцен) бочати глиновито-лапоровити и песковити седименти и кречњаци; панонски (горњи миоцен) каспи-бочати песак, песковита глина, лапораста глина, муљ, ређе шљунак и лапор; понтијски (горњи миоцен) слатководни кластични седименти, са три угљена слоја у колубарском угљеном басену. Квартарни седименти су изграђени од флувијалног шљунка, песка, глине и песковито глиновитих седимената.

3.4. Потрошња природних агрегата у Београду

Потрошња агрегата у Београду (слика 6) је у потпуности од природних агрегата (дробљени камен, песак и шљунак), од чега се само 7 % производи на територији Београда. Ова ситуација је још неповољнија данас, пошто је у међувремену престао са радом каменолом Танасијевића Брдо код Лазаревца. Процењено годишње потрошња свих врста агрегата у Београду је око 3 тоне по становнику и просечно годишње потрошња агрегата у ЕУ генерално износи 5-7 тона по глави становника (UEPG, 2013).



Слика 6 - Потрошња агрегата у Београду

Производња природног дробљеног агрегата у Београду (Табела 11) тренутно је ограничена на каменолом Кијево, где се производи висококвалитетни кречњачки агрегат (Табела 12), и каменолом Крушевица, где се производи нискоквалитетни агрегат вулканског порекла углавном за Колубарски лигнитни басен. Лежиште Кошутица, је истражено у заштићеном подручју (Просторни план подручја посебне намене за изузетни пејзаж Авала-Космај, 2014).

Tab. 1. List of natural aggregate deposits on the territory of Belgrade (WEBGIS, 2015, data from producers).

Deposit/quarry	Operating status	Rock type	Usage
Kijevo	Operating	Limestone	Aggregate
Tanasijevića brdo	Closed (but operating during studied period)	Limestone	Aggregate
Košutica	Not operating	Limestone	Aggregate
Pločnik	Operating	Granodiorite	Ornamental stone, aggregate as by-product
Kruševica	Operating	Latite and latite tuff	Aggregate (low quality)
Brgulice	Operating	Sand	Aggregate
Jakovačka Kumša	Operating	Sand	Aggregate

Tab. 2. The quality of limestone in deposits on the territory of Belgrade.

Stone property	Kijevo limestone, average for last 6-8 years (data from producer)	Košutica limestone, average for the deposit (data from Ministry of Mining and Energy)
Bulk density [kg/m ³]	2657	2660
Porosity [%]	1,09	2,20
Water absorption [%]	0,26	0,49
UCS, dry stone [MPa]	140	92
UCS, water-saturated stone [MPa]	125	
UCS after 25 freezing cycles [MPa]	122	
Abrasion resistance [cm ³ /50cm ²]	19,27	25,30
Los Angeles [%], gradation "B"	24,6	24,6
Los Angeles [%], gradation "C"	23,2	23,1

Гранодиорит из лежишта Плочник код Лазаревца користи се као украсни камен, а у будућности у мањим количинама као агрегат. Тренутно постоје две јаме из којих се ископава песак и користи као агрегат лошег квалитета (Табела 13), углавном за подслој коловоза, конструкцијску и неструктурну испуну.

Табела 13-карактеристике агрегата из лежишта Плочник

Aggregate property	Value
Bulk density [kg/m ³]	1312
Bulk density, compacted [kg/m ³]	1528
Clay lumps content [%]	32
Particles <0.09 mm [%]	13
Particles <0.063 mm [%]	10
Particles <0.02 mm [%]	7.5
Fineness modulus	10
Sand equivalent	38

Упоредјујући својства песка и шљунка из четири реке (Табела 14) сличност између Дунава и Велике Мораве је очигледна, јер се све проучаване локације од Дунава налазе низводно од ушћа Велике Мораве у Дунав. Агрегат из реке Саве је најфиније гранулације, док Дрински агрегат има најкрупнији и најбољу ЛА (Лос Анђелес) вредност, али и највећи постотак издужених зрна.

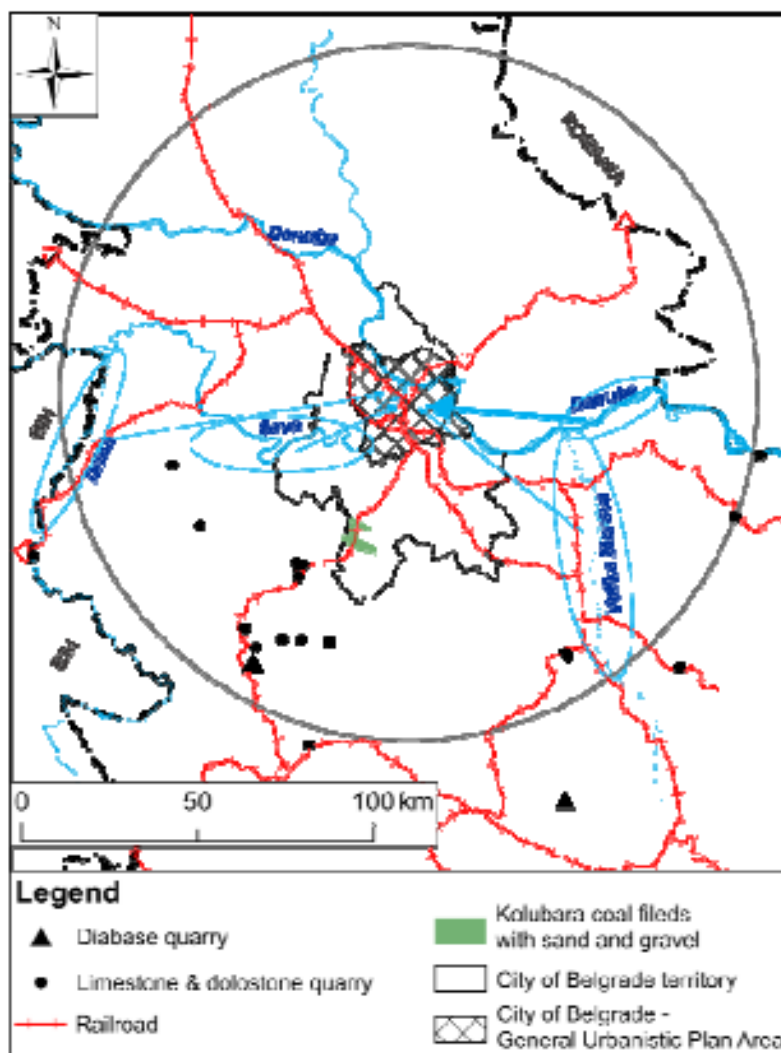
Табела 14.-упоредна својства из 4 реке

Aggregate property	Dunav (25)	Sava (4)	Velika Morava (8)	Drina (12)
Water absorption, < 4 mm [%]	1.1	2.1	1.0	0.8
Water absorption, > 4 mm [%]	0.9	3.9	0.7	0.6
Grain shape 3:1 [%]	9.7	6.3	9.8	12.0
Clay lumps [%]	0.0	0.0	0.0	0.1
Weak grains [%]	0.0	0.5	0.0	0.0
Los Angeles test [%]	29.2	29.0	29.0	25.0
Bulk density [kg/m ³]	1886	1650	1798	1816
Bulk density, compacted [kg/m ³]	2022	1803	1963	1982
Organic particles [%]	0.0	0.0	0.0	0.0
Particles < 0.09 [mm]	1.3	2.1	1.3	3.1
Granulometry, 0-4 [mm]	49.0	48.6	45.9	38.9
Granulometry, 4-8 [mm]	15.7	17.6	17.8	15.6
Granulometry, 8-16 [mm]	17.7	23.0	20.3	23.5
Granulometry, 16-31.5 [mm]	12.8	8.5	11.6	16.5
Granulometry, > 31.5 [mm]	4.8	2.4	4.4	5.6

Иако на територији града Београда постоје бројна лежишта агрегата (углавном кречњака) и/или каменоломи, експлоатација је у њима обустављена у различитим временским периодима. Све податке о тим налазиштима кречњака (квалитет и преостали ресурси камена) треба схвати оквирно и као индикација (Табела 15).

Табела 15-Лежишта агрегата Београд

Deposit	Location (town/village)	Rock type	Resources [m ³]
Petka	Lazarevac	Limestone	2,500,000
Beli kamen	Velika Moštanica	Limestone	25,000
Bela reka	Ripanj	Limestone	100,000
Grabovac	Ripanj	Limestone	30,000
Trešnja	Ripanj	Limestone	80,000
Blaško brdo	Ralja	Marlstone-limestone	120,000
Klisura	Ralja	Limestone	25,000
Koviona	Ralja	Limestone	150,000
Vekinac	Ralja	Limestone	60,000
Dubrine	Parcani	Limestone	150,000
Grab	Koraćica	Limestone	100,000
Oglavci	Koraćica	Limestone breccia	150,000
Kolbine	Rušanj	Limestone	200,000
Zbegovište	Rušanj	Limestone	2,500,000
Vukšića majdan	Barajevo	Limestone	120,000
Bučje-Prečica	Ripanj	Sandstone	75,000
Hajdukovac	Velika Moštanica	Sandstone	400,000
Veliki Crljeni coal field	Kolubara basin	Sand and gravel	5,000,000
Coal field E, F and G	Kolubara basin	Sand and gravel	95,000,000



Слика 7. Пuteви снабдевања агрегатима за град Београд: Круг сиве боје - У радијусу 100 км од центра Београда. Плаве елипсе и стрелице указују на изворе агрегата из реке, при чему је корито Дунава најважније за снабдевање Београда агрегатима.

Већина дробљених камених агрегата (претежно кречњак, нешто доломита и дијабаза) неопходних за град Београд долазе из лежишта у централној Србији. (слика 6). На територији Београда тренутно постоји само један каменолом кречњака - Кијево, које се налази прилично близу центра града. У будућности Београд не може да се нађе нове изворе и производњу агрегата на сопственој територији.

Песак и шљунак се највећим делом ископавају из корита Дунава (око 90% укупне количине) и Саве, Дрина и Морава обезбеђују преосталих 10%, додуше ван границе града. Наноси песка и шљунка из басена „Колубара” се тренутно не користе. и одлажу се на депонију на локацији рудника, где је угаљ експлоатисан.

Индустрија агрегата разликује се у најмање два важна аспекта од већине других индустријских сектора (Блеисцхвитз & Бахн-Валковиак, 2007). Прво, локација каменолома и квалитет материјала произведени су одређене геологијом подручја, али је индустрија која користи агрегате просторно повезана с подручјима велике потражње,

тј. са великим градовима, будући да су агрегати роба велике количине, ниске јединичне вриједности која извучи (или губи) велики дио њихове вриједности због тога што се налазе у близини тржишта. Друго, успех агрегатног сектора зависи од успеха и конкурентности нижих индустрија – грађевинарства, произвођача минералне сировине, цемента и бетона. Све то значи да ће се покушати наставак вађења агрегата и производња у близини урбаних центара, у близини потрошачких места, што је изазвало и изазваће много сукоба интереса. Стога је неопходно почети са агрегатним планирањем у Србији и Београду, како је сумирало Симић и други (2014).

Транспорт је главни покретач трошкова и критичан параметар за тржишне цене агрегата (Менегаки & Калиампакос, 2010). Генерално, 80-90% производње се транспортује камионима.

Процењује се да испорука у радијусу од 15 km из каменолома доводи до повећања цене за 30%. Испорука на удаљености већој од 40 km је стога необична али у случају града Београда, обично је близу или више од 100 km за дробљене стене, што ствара више логистичких проблема и повећање трошкова агрегата.

Из свих тих разлога, потребно је увести одрживо управљање ресурсима агрегата (CAPM) и принципе одрживог микса снабдевања (CCM) у планирању снабдевања агрегатима. CAPM је ефикасан, има низак друштвено-еколошки утицај вађења камена и управљања отпадом, док CCM користи више извора, укључујући рециклирани отпад и индустријске нуспроизводе (шљаку), који заједно максимизирају нето користи од агрегатне понуде. Уз та два принципа много је лакше организовати и планирати одрживо снабдевање агрегатима за индустрију, посебно у великим градовима и областима са недостатком природних. Нажалост, Србија нема ни Минералну политику/план, нити Стратегију управљања минералним ресурсима, која би требало да дефинише основну и одрживу мапу пута ка бољем снабдевању и управљању агрегатима, не само у Београду, већ ни у другим агрегатно дефицитарним подручјима. Припрема и усвајање тих докумената требало би да буде први корак у повећању ефикасности агрегатне понуде.

Као што је раније приказано, територија града Београда је прилично осетљива на агрегатну понуду, јер је производи само 5% природних агрегата, са тенденцијом пада на свега неколико постотака. Истовремено, можемо претпоставити да ће у наредних десет година потрошња агрегата у Београду порасти на или за 4 t по становнику. Стога су власти у Београду већ почеле да се припремају за будућност усвајањем неколико кључни документи на нивоу града, засновани на државним прописима.

Генерални урбанистички план Београда до 2021.године (ГУП, 2003.) не забрањује изричито нову експлоатацију али каже: „Општа је намера да експлоатација неметалних минералних ресурса није добродошла на територије ГУП-а Београда“, што у ствари значи да је скоро немогуће добити дозволу за експлоатацију.

Закон о водама (2010) генерално забрањује експлоатацију минералних сировина у ужим заштићеним зонама око извора воде.. Закон о рударству и геолошким истраживањима (2011) је овластио локалне административне јединицаеа (градовима и

општинама) да дају дозволе за експлоатацију агрегата. Зато, управа града Београда је надлежна за издавање дозвола за ископавање корита реке, дозволе за вађење кречњака, песка и шљунка на територији града. Сви пројекти и планови који укључују вађење, прераду и транспорт минерала или рециклажу и употребу рециклираних агрегата морају имати сагласност Градског секретаријата за заштиту животне средине. Одобрење се даје након свих тражених услова по закону и испуњених, размотрених и прихваћених процена утицаја на животну средину.

Анализа тренутног ланца снабдевања јасно показује да Београд не може очекивати повећање производње природних агрегата на сопственој територији због геолошке подлоге и заштите животне средине, осим песка ниског квалитета за подслој коловоза, конструктивну и неструктуралну испуну. Сви остали природни агрегати ће бити транспортовани из постојећих и/или нових извора.

Како ће потрошња песка и шљунка експлоатисаног из река бити један од највећих извора овог типа агрегата који се допремају у Београд, Студијама о одређивању локација за песак и шљунак предвиђене су залихе дуж обала река у Београду у циљу организовања одрживо снабдевање песком и шљунком. Други потенцијални ресурс песка и шљунка је угаљ Колубарског басена, одакле се може користити агрегат у Београду, али би то захтевало посебна геолошка истраживања према прописима (Закон о рударству и геолошким истраживањима, 2011), те пажљиво планирање експлоатације, како се не би пореметила будућа производња лигнита за термоелектране. Песак и шљунак са тих локација може бити произведен са најмањим утицајем на животну средину и фокус треба бити на побољшању ефикасности њихове експлоатације.

Ако се узму у обзир дробљени камени агрегати, постоји много каменолома унутар или близу 100km пречника око Београда. Само један каменолом се налази у близини Дунава, а с обзиром на то да је унутар Националног парка и на ограниченом подручју за експлоатацију, као захтев се јавља и еколошки прихватљив транспорт у највећој могућој мери. погодна околност је то што се у близини Националног парка и овог и других каменолома, са својим утоварним рампама, у близини налази и железничка пруга Уз добро одрживо планирање, агрегати из тих каменолома би могли да се користе са мањим утицајем на животну средину, тј. нижим емисијама CO₂, мањим штетама на путевима и потенцијалним саобраћајним гужвама и несрећама, у комбинацији са мањим транспортним трошком.

За сада се може рећи да се скоро ништа од грађевинског отпада и отпада од рушења тренутно се не рециклира за добијање агрегата, што је једна од важних тема за будућност. Иако типична грађевинска конструкција у Србији подразумева доста производа од опеке на бази глине и много мање бетона, у садашњем моменту, као и у будуће не треба занемарити понуду агрегата.

Проблем агрегатне понуде у великим градовима широм Европе је, барем делимично, решен користећи и морске агрегате (УК, Холандија, Белгија, Француска и Њемачка), као и рециклиране агрегате (УК, Немачка, Холандија, Француска, Белгија и Швајцарска), према извјештају UEPG из 2015.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ПРОТОКОЛ

4.1. Лабораторијска испитивања узорака – методе

Физичко-механичка испитивања 5 узорака претходно обрађених у ARIES IMPACTOR 250 свестраној каменој дробилици на самој локацији депоније Винча, извршена су Институту за путеве а.д, Београд - Завод за грађевинске материјале, Лабораторија за камен и камене агрегате, и то методама које су у потпуности усаглашене са европским и српским стандардима. Испитивања узорака су обухватила испитивања отпорности на дробљење ЛА, одређивање шупљина и запреминске масе у растреситом стању, гранулометријску анализу, одређивање загађености органском материјом, одређивање облика зрна - индекс пљоснатости, упијање воде, одређивање отпорности на удар „Третон“, отпорност према мразу, испитивање дробљивости, одређивање запреминских маса, као и отпорности на хабање камена. У процесу је израчунавана и вредност за порозност.

Пре процеса испитивања узорака извршена је припрема допремљеног материјала, спакованог и одвојеног у засебне канте, прво разврставањем преко карактеристикама и то макроскопским и минералошко-петрографским. Узорковани материјал је пре извођена свих испитивања морао и да се још једном предроби.

Ово предробљавање је извршено на ударном гранулатору УГ-2 са чекићима. Од издробљених агрегата издвајали су се тест узорци за испитивања техничких карактеристика агрегата.

Сви узорци су на истоветан начин припремљени и што се тиче дробљења и прања и сушења и просејавања,

4.1.1. Отпорност на дробљење (Лос Анђелес)

Испитивање отпорност на дробљење по методи Лос Анђелес(слика 7) урађено је по стандарду СРПС Б.Б8.045[109] које је компатибилно и са америчким стандардом ААСХО Т 96–65 као и СРПС ЕН 1097-2:2013[109]. Европски ЕН стандард даје као референтну фракцију 10/14 mm, што приближно одговара градацији Б по СРПС и у том облику су и приказани резултати испитивања.

Метода испитивања се састоји у стављању припремљеног узорка у бубањ машине за испитивање приказаним на слици а, са челичним куглама приказаним на слици б пречника око 5 cm. У просеку се ставља од 8 до 12 кугли. Приликом рада машине, сам бубањ се окреће око 500 пута пре завршетка испитивања. Материјал се након тога вади из машине, одвоја од тест кугли, пере се и суши, а на крају се просеје на сити од 2 или 1,6 mm. Остатак на сити се мери и резултат се рачуна по формулама:

$$LA = \frac{m_o - m}{m_o} \times 100 \quad \text{или} \quad LA = \frac{5000 - m}{50}$$

где је ЛА коефицијент Лос Анђелес (%), m_o – маса узорка пре испитивања (g), m – маса остатка на сити 2 или 1,6 mm (g)



Слика 8 -Машина за испитивање отпорности на дробљење методом Лос Анђелес

4.1.2. Одређивање шупљина и запреминске масе у растреситом стању

Одређивање шупљина и запреминске масе у растреситом стању узорка рађено је по методи СРПС ЕН 1097-3:2009[109].

Узорци камена су након засићења водом, како је по стандарду СРПС ЕН 1936:2009[109], мерени и на хидростатичкој ваги. Резултати су обрачунати по формули :

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad \text{Mg/m}^3$$

где је ρ_b – насута запреминска маса у растреситом стању узорка изражена у Mg/m^3 , m_2 - маса посуде са узорком, m_1 -маса празне посуде, V – запремина посуде.

Испитивање насуте запреминске масе узорка у растреситом стању може се радити у сувом или влажном стању где је влажност онда рачуната по формули:

$$\frac{100 * m_v - m_s}{m_s}$$

где је m_v -маса влажног узорка, а m_s - маса узорка осушеног у сушилици

Након три мерења, узете су средње вредности насуте запреминске масе у растеситом стању и заокружене.

Израчунавање процената шупљина се радило по формули:

$$\frac{pp - pb}{pp} \times 100 \%$$

где је p_b - запреминска маса у растреситом стању изражена у Mg/m^3 , а pp - стварна запреминска маса осушеног у сушилици изражена у Mg/m^3 .

4.1.3. Приближно одређивање загађености органским материјама

Приближно одређивање загађености органским материјама рађено је калориметријском методом по стандарима СРПС Б.Б8.039:1982[109] и СРПС ЕН 1744-1:2014[109].

Узорак је у складу са овом методом стављен у раствор у коме се налазио 24 часа након чега је извршено упоређивање са раствора са узорком са раствором стандардне боје. Резултат теста је изражен само као позитиван тј. да постоје загађености органским материјама или како негативан, тј. да не постоје загађености органским материјама.

4.1.4. Одређивање отпорности на хабање (микро-ДЕВАЛ)

Одређивање отпорности на хабање узорака је одређено методама према стандардима СРПС ЕН 1097-1:2013 за микро-ДЕВАЛ (слика 8) коефицијент у мокром и сувом стању и СРПС ЕН 13450:2007 за микро-ДЕВАЛ коефицијент туцаника.

Овај коефицијент представља проценат губитка масе уситњеног узорка који се испитује хабањем у машини са бубњевима и који се након испитивања пропушта кроз сито промера 1,6 mm.

Отпорност узорака према хабању је испитивана у мокром (M_{DE}) и сувом (M_{DS}) стању на ЕН референтној фракцији од 10/14 mm.

Сама метода испитивања се базира на томе да се узорак стави у бубањ заједно са 5 kg челичних куглица пречника 10 mm и машина укључи на 12 000 обртаја у сувом стању или се још дода и око 2,5 l воде када се испитивање врши у мокром стању.

Испитивани узорак се након завршетка рада машине извади из бубњева, одвоји се од челичних куглица, суши, просејава на сито промера 1,6 mm и затим се врши мерење масе након хабања. Резултати се обрачунавају по формули:

$$M_{DE} = \frac{m_0 - m}{5}$$

где је M_{DE} – микро-Deval коефицијент (%) у мокром стању, m_0 - маса узорка пре испитивања (g), m – маса узорка после испитивања на сити 1,6 mm (g).

Након утврђивања отпорности према хабању у два бубња, узима се средња вредност као референтна.



Слика 9 - Машина за испитивање отпорности на хабање микро-Deval

4.1.5. Испитивање геометријских својстава агрегата – одређивање облика зрна – индекс пљоснатости

Испитивање геометријских својстава агрегата – одређивање облика зрна и индекса пљоснатости је рађена по стандарду СРПС ЕН 933-3:2013[109]. Просејавање је рађено на испитним ситима и ситима са решеткастим отворима за почетну масу испитиваног узорка M_0 (g). Анализирана је маса задржана на сити од 100 mm (g), маса која пролази кроз сито 4 mm (g) и збир одбачених маса (g).

Фракције су подељене по величини зрна d_i/D_i (mm), а дата је и маса сваке фракције R_i када се радило испитивање просејавањем на испитиним ситима. Када се радило просејавање на ситима са решеткастим отворима, у складу са називном величином решеткастог отвора (mm), дата је маса (m_i) која пролази кроз сито (g) а затим израчунато по формули:

$$FI = \frac{m_i}{R_i} \times 100$$

Облик зрна агрегата ради дефинисања индекса пљоснатости у односу 3:1 одређен је користећи у испитивању кљунасто мерило (слика 9).



Слика 9 – Помично кљунасто мерило

Индекс облика рачунао се мерењем масе зрна, а резултат се рачунао у процентима укупне масе испитаних зрна у сувом стању по формули:

$$FL = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

где је FL – индекс облика, m_1 – маса испитиваног узорка (g), m_2 – маса плочастих зрна (g).

4.1.6. Испитивање отпорности према деловању мраза

Испитивање отпорности према деловању мраза је рађена стандардизованим методама СРПС Б.Б8.044:1982[109],. Постојаност на дејство мраза утврђена је помоћу раствора натријум-сулфата (Na_2SO_4).

Метод испитивања се заснива на поступку у коме се узорци оперу, осуше, измере и потопе у раствор Na_2CO_4 . Узорци остају у раствору 17 сати, а онда се ваде из раствора, цеде, суше у трајању од 24 сата и на крају хладе пет сати. Ово се ради у пет циклуса, а сваки траје по 48 сати. Узорци се добро исперу од раствора, осуше, просеју на сити промера 10 mm и мере.

Губитак масе изражава се као коефицијент у процентима према формули:

$$Gm = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \%$$

где је Gm – губитак масе у %, m_1 – маса пробе пре потапања (g), m_2 – маса пробе после пет циклуса потапања (g).

4.1.7. Одређивање стварне запреминске масе и упијања воде

Метода одређивања стварне запреминске масе и упијања воде је рађена по стандарду СРПС ЕН 1097-6:2016[109] помоћу корпе или пикнометра. Запреминске масе узорака у овом случају су одређиване помоћу пикнометра.

Испитивања узорка су рађена у фракцијама 0/4, 4/8, 8/16 и 16/32 са напоменом да разлика температуре воде у пикнометру током мерења маса M_2 и M_3 не сме бити већа од 2 °C. У овим испитивањима је коришћена вода температуре од 22 °C у периоду од 24 часа.

Метода се спроводи прво квашењем и ослобађањем евентуално заосталог ваздуха у уређају, након чега се врши мерење масе пикнометра, воде и самог узорка.

Затим се сваки узорак вади из пикнометра, суши ланеном крпом и затим се мери маса водом засићеног, а површински сувог узорка. Треће мерење обухватило је мерење масе пикнометра и воде. Помоћу следећих формула рачунају се запреминске масе узорка:

$$\rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \times \rho_w$$

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

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \times \rho_w$$

где је ρ_a – привидна запреминска маса узорка (Mg/m^3), ρ_{rd} – стварна запреминска маса узорка (Mg/m^3), ρ_{ssd} – стварна запреминска маса засићеног и површински сувог узорка (Mg/m^3), m_1 – маса засићеног и површински осушеног агрегата на ваздуху (g), m_2 – привидна маса пикнометра, са водозасићеним агрегатом и t воде (g), m_3 – привидна маса пикнометра са водом и t воде (g), m_4 – маса узорка на ваздуху осушеног на ваздуху или у сушници (g), ρ_w – запреминска маса воде на температуре испитивања.

Упијање воде обрачунато је по формулу:

$$W_{24} = \frac{100 \times (m_1 - m_4)}{m_4}$$

где је W_{24} – упијање воде агрегата након једноставног потапања (%).

4.1.8. Испитивање дробљивости у цилиндру

Испитивање дробљивости и цилиндру се радило по стандарду СРПС В.В8.033/1993[109] на фракцијама 4/8, 8/16 и 16/32 и у оквиру две пробе.

Дробљивост се рачунала по формули:

$$D = \frac{(m - m_1)}{m} \times 100 \%$$

где је m – маса узорка добијена по формули: $m = m_{cu} - m_c$ (где је m_{cu} маса цилиндра са дном и узорком (g), а m_c – маса цилиндра са дном (g), m_1 – маса остатка узорка на одговарајућем сити (g).

4.1.9. Испитивање отпорности против удара апаратом Третон

Испитивање отпорности удара апаратом Третон је рађено по стандарду СРПС В.В8.019/1961 [109] на три пробе.

Отпорност је израчуната по формули:

$$\frac{m_2}{M} \times 10 \%$$

где је $m_2 = M - m_1$ количина узорка која је прошла кроз сито отвора 2 mm после испитивања, M – почетна маса узорка (g), m_1 – количина узорка остала на ситиу отвора 2 mm после испитивања (g) или $100 \times m_1 / M$ у %.

4.1.10. Гранулометријска анализа

Гранулометријска анализа је рађена по стандардима СРПС Б.Б8.019:1961[46], Б.Б8.036:1982[109], ЕН 933-1:2013[109] и ЕН 1015-1:2008[109].

Приликом саме анализе коришћени су отвори сита од 120, 63, 45, 31.5, 22.4, 16, 11.2, 8, 4, 2, 1, 0.71, 0.5, 0.25, 0.125, 0.09 и 0.063 mm и резултати су приказани као маса зрна осталих на ситима (g) слика 10.



Слика 10: Заостали агрегат узорка на ситиу

4.2. Локације и методе узорковања и припреме узорака са депоније Винча

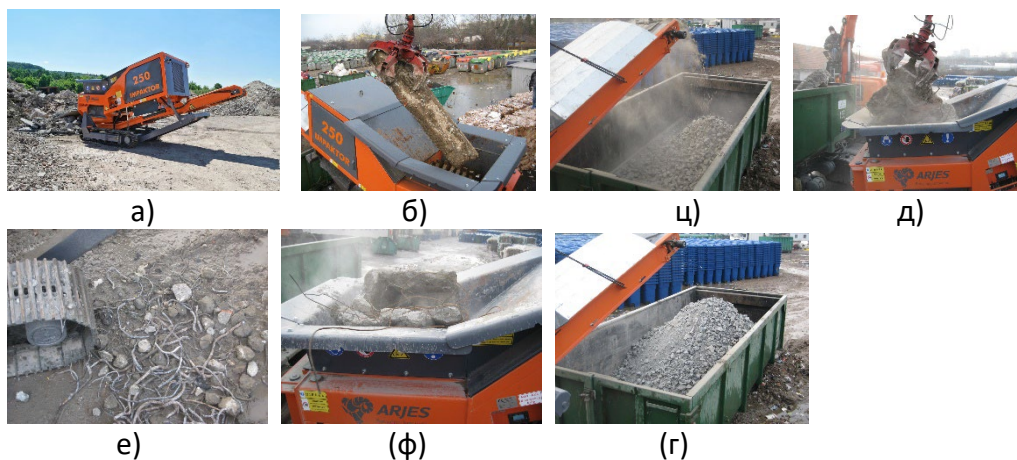
Узорковање грађевинског отпада је извршено на локацији депоније Винча у Београду, на територији градске општине Гроцка по распореду приказаном на слици број 11.

Извршено је узорковање на пет локација и узето пет узорака по 2500 kg укупне масе 12500 kg. Приликом дробљења грађевинског отпада коришћена је машина за млевење бетона марке Ajres Impaktor 250 (табела 16)., чији је капацитет дробљења од 80 до 100 тона армираног бетона на сат. Приликом дробљења је одвојено 882 kg гвожђа. Пре убацаивања у машину, издвојено је и 1120 kg дрвета и 600 kg керамике.



Слика 11- распоред узорковања на депонији Винча-Google earth based

Процес дробљења приказан је на слици 12.



Слика 12- Процес дробљења

Ajres Impaktor 250 је универзална камена дробилица и има специјалну геометрију вратила, асинхрони погон и систем двоструких чељусти са заштитним шипкама које обезбеђују јединствени финални производ са мање ситних фракција и високу брзину протока.

Карактеристике:

- Двостепени поступак дробљења са специјалном геометријом вратила, секундарним двоструким челичним прекидачем и шипкама.
- Асинхрони погон са променљивим подешавањем брзине вратила за глатко повлачење тешког материјала.
- •Volvo Penta дизел мотор са 220 КС и тренутним нивоом емисије ЕУ ИВ/ Тиер 4.
- Поседује јединицу за дробљење великих димензија - стога је мање потребно припремити нпр. бетонске маказе и отпорнија је на веће металне делове.

Аутоматска функција уназад штити од оштећења алата за дробљење.

Табела 16 – Карактеристике Имапктора 250

МОДЕЛ	KW/ХП	дужина x ширина x висина (mm)	осовине (mm)	тежина (kg)
Импактор 250	160 kW(220КС)	6.700 x 2.400 x 2.800	1.500	13.500

Дробљени узорковани материјал је као пет одвојених узорака (слика 13) по 200 kg предат на лабораторијску анализу Институту за путеве а.д. Београд.

Узорковани материјал је приказан на слици 13.



а)



б)



в)

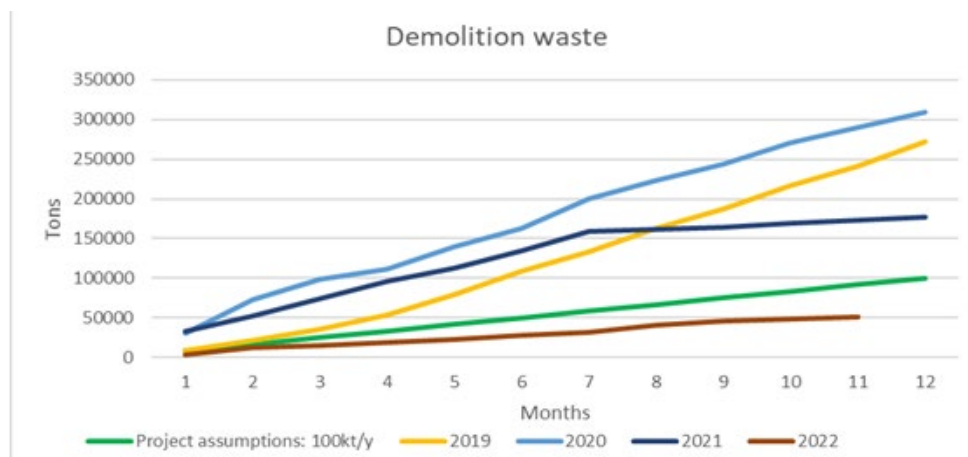
Слика13: Узорковани материјал

4.3. Методе испитивања

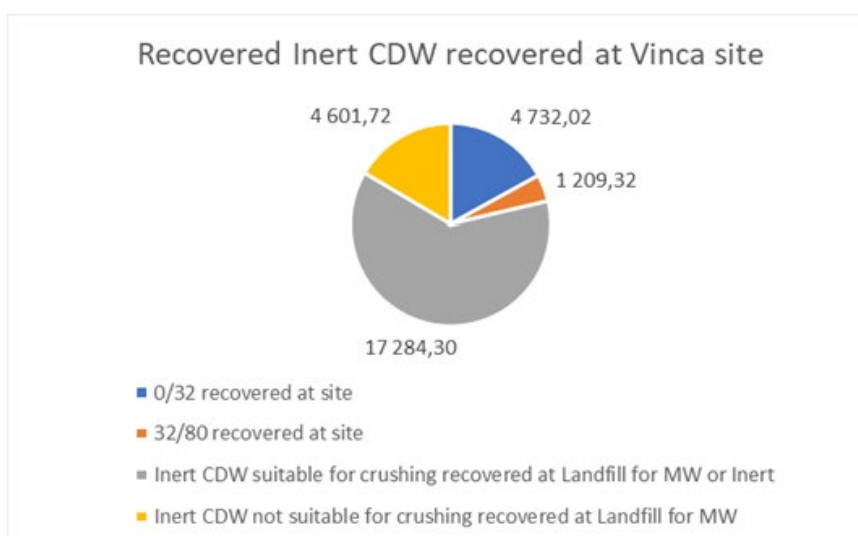
Урађене су анализе [12-14,17,20] згњечених узорака на (1) „Лос Ангелес“ машини за испитивање хабања (према европском стандарду СРПС ЕН 1097-2 [38]., означен као „ЛА“), након чега је уследило (2) одређивање растресите запреминске густине суви агрегат, рб (према европском стандарду СРПС ЕН 1097-3 [39].), (3) гранулометријска анализа (европски стандард СРПС ЕН 933-1), [40]. (4) одређивање контаминације/загађења агрегата органском материјом (означено као ОМ; европски стандард СРПС ЕН 1744-1) [41], (5) одређивање отпорности на хабање (МДЕ(10–14), стандард СРПС ЕН 1097-1) [42], (6) одређивање: привидне густине честица (ра), густине осушеног зрна (ррд), стварна засићена површинска сува густина зрна (рссд) и апсорпција воде у агрегатима, ВА24 (на основу стандарда СРПС ЕН 1097-6) [43], (7) одређивање облика честица — индекс љускавости (ФИ, стандард СРПС ЕН 933-3) [44], (8) одређивање отпорности на ломљење Третоновим испитивањем удара (Т, национални стандард СРПС Б.Б8.019/1961), [45] (9) испитивање отпорности на мраз (ФР, национални стандард СРПС Б.Б8.044: 1982) [46] и (10) одређивање ломљивости методом испитивања компресије цилиндра (ЦЦТМ, стандард СРПС Б.Б8.033:1994) [47].

4.4. Методе узорковања и припреме узорака са новог рециклажног постројења

Приликом транспорта материјала документ о праћењу кретања отпада користи се као доказ о пореклу материјала и његовом саставу како би се могло потврдити место узорковања. Унутар новог рециклажног постројења изграђеног на некадашњој депонији редовно се врше додатне анализе узорака у складу са регулаторним прописима Републике Србије и законским актима и препорукама Европске уније. У 2022. години узета су два узорка директно из камиона који су долазили са места рушења, односно, први аутор је надгледао цео процес узимања узорака. Узорци су анализирани у Центру за путеве и геотехнику Института ИМС, Београд. Анализе су укључивале идентификацију и класификацију уз физичка и механичка испитивања, и то: (1) одређивање садржаја воде у материјалима (европски стандард ЕН ИСО 17892-1 [48]), (2) одређивање дистрибуције величине честица (европски стандард ЕН ИСО 17892-4 [49]), (3) одређивање садржаја запаљивих и органских материја (Српски стандард СРПС У.Б1.024:1968 [50]), (4) одређивање односа суве густине и садржаја воде—модификовани Проктор. тест (европски стандард ЕН 13286-2 [51]), и (5) одређивање калифорнијског односа лежаја (европски стандард ЕН 13286-47 [52]).



Слика 14 : Приказ испоручених количина по месецима грађевинског отпада



Слика 15 – Рециклиран инертни грађевински отпад на локацији Винча

Количине испоручених количина грађевинског отпада на Винчи и даље варирају и на слици 14 приказане су вредности по годинама и месецима а рециклирани грађевински отпад на локацији Винча је приказан на слици 15.



Слика16 : Дробилица грађевинског отпада у Винчи, 2023. [37]



Слика 17: Поглед на постројење одозго, 2023 [37]

У оквиру новог рециклажног постројења редовно су рађена додатна испитивања узорка у складу са регулативама Републике Србије и легислативама и препорукама Европске уније. Узорци су испитивани у оквиру Лабораторије за путеве и геотехнику Института ИМС. Рађена су идентификационо класификациона и физичко-механичка испитивања и то: одређивање влажности (стандард СРПС ЕН ИСО 17892-1.2015) [48],

одређивање гранулометријског састава (стандард СРПС ЕН ИСО 17892-4:2017) [49], одређивање Атербергових граница конзистенције (стандард СРПС ЕН ИСО 17892-12:2018) [48], одређивање садржаја сагорљивих и органских материја (стандард СРПС У.Б1.024:1968) [50], одређивање односа влажности и суве запреминске масе - модификовани Проктор (стандард СРПС ЕН 13286-2:2010) [51] и лабораторијско одређивање калифорнијског индекса носивости (стандард СРПС ЕН 13286-47: 2012) [52].

Дробилица грађевинског отпада на Винча којом се врши третман грађевинског отпада је приказана на слици 16 а цело постројење за третман грађевинског отпада на слици 17.

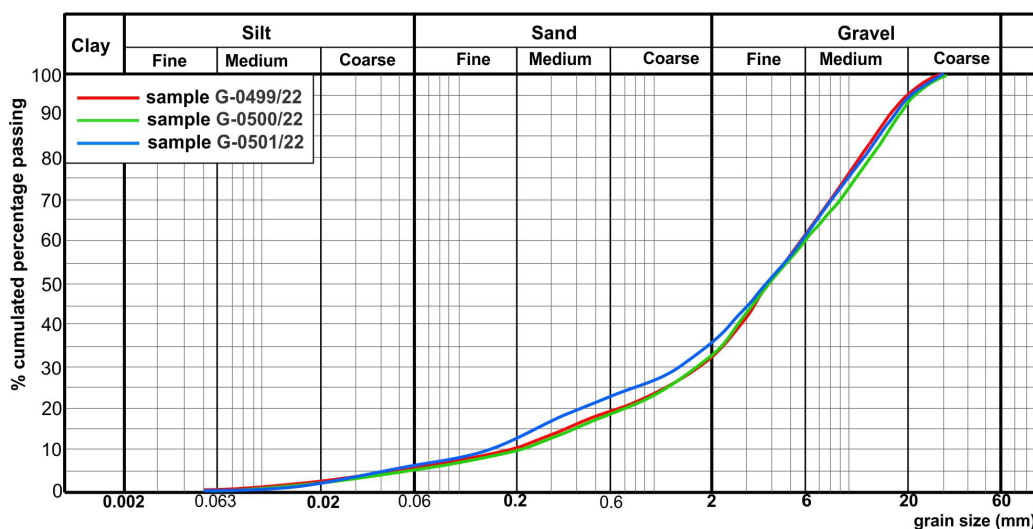
5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

5.1. Резултати

Компилација и анализа два сета узорака је обављена како је претходно објашњено и упоређено са техничким прописима и стандардима. Резултати дистрибуције величине зрна дробљених узорака дати су у табели 17 и визуелно приказани на слици 18, док су резултати тестова (1), (2) и (4)–(10) из одељка наведени у табели 18. У табелама 19 и 20 приказани су резултати анализа рециклираних узорака CDW из новог постројења за рециклажу у Винчи.

Табела 17 Гранулометријска анализа дробљених узорака.

Сито (mm)	Узорак #				
	1	2	3	4	5
Кумулативан пролаз (%)					
120	100	100	100	100	100
90	100	100	100	100	100
63	80	95	90	93	93
31.5	58	78	69	66	64
16	43	51	57	49	42
8	27	29	41	32	19
4	16	16	26	18	9
2	10	10	19	11	6
1	7	6	12	6	4
0.5	5	5	9	4	3
0.25	3	3	6	2	2
0.125	3	3	4	2	1
0.063	2.2	2.3	3.7	1.2	0.8



Слика 18. Расподела величине зрна у три анализирана узорка приказана у табели 3; Легенда: Узорак #1—шифра узорка Г-499/22; Узорак #2—шифра узорка Г-500/22; Узорак #3—узорак код Г- 501/22.

Табела 18 Анализа специфичних параметара дробљених узорака

Врста		Узорак N°					Вредно ст ср
		1	2	3	4	5	
ρ_b (Mg/m³)		1.50	1.50	1.56	1.45	1.38	1.48
ρ_a	4/8	2.63	/	/	/	2.64	2.64
ρ_{rd}		2.33	/	/	/	2.33	2.33
ρ_{ssd}		2.45	/	/	/	2.44	2.45
ρ_a		2.59	/	/	/	2.62	2.61
ρ_{rd}	(Mg/m³) 8/16	2.33	/	/	/	2.34	2.34
ρ_{ssd}		2.43	/	/	/	2.45	2.44
ρ_a		2.53	/	/	/	2.64	2.59
ρ_{rd}	16/32	2.32	/	/	/	2.33	2.33
ρ_{ssd}		2.40	/	/	/	2.44	2.42
WA₂₄ (%)	4/8	4.81	4.80	4.81	4.81	5.12	4.87
	8/16	4.18	4.17	4.18	4.18	4.69	4.28
	16/32	3.51	3.50	3.51	3.51	5.05	3.81
FI (%)		16	13	11	14	9	13
OM (%)		/	/	/	/	/	/
FR (% губитак масе)		9.5	9.0	14.8	10.1	11.1	10.9
LA		34	31	31	34	34	33
M_{DE}		23	23	25	21	19	22
T (%)		22.65	21.03	22.04	26.38	23.58	23.14
CSTM (%)	4/8	18.25	19.24	20.81	17.41	16.64	18.47
	8/16	26.32	24.54	25.65	23.12	21.86	24.29
	16/32	30.17	29.12	30.91	28.75	30.54	29.89

Легенда: ρ_b — растресита насипна густина сувог агрегата; ρ_a —привидна густина честица; ρ_{rd} —густина зрна осушеног у пећници; ρ_{ssd} —стварна засићена-површинска-сува густина зрна; WA₂₄—упијање воде; FI — Индекс флакинекс; OM—Органска материја; FR —тест отпорности на мраз; LA —индекс Лос Анђелеса; M_{DE} —индекс отпорности на хабање; T—Третон ударни тест; CSTM ломљивост методом испитивања компресије цилиндра.

Табела 19. Анализе узорак ЦДВ третираних у новом рециклажном објекту у Винчи (СРБ)

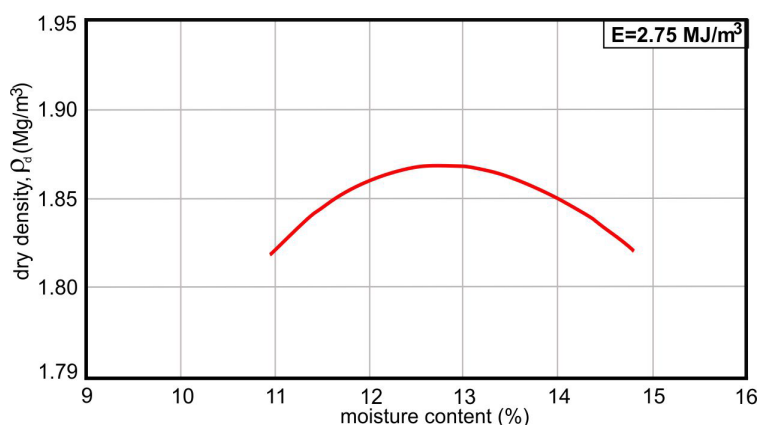
Подаци о узорцима земљишта			Фракције (%)						Испитивања					Класификација SRPS EN ISO 14688-2:2018 [53]	Општа класификација SRPS U.B1.001[54]
CDW УЗОРАК #	КОД УЗОРКА	Класа узорка (1–6)	Гранулација/mm				Влага, w (%)	% от зрна <0.063 mm	d ₁₀	d ₃₀	d ₆₀	$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}}$		
			Глина <0.002	Silt 0.002–0.06	песак 0.06–2.00	шљунак 2.00–64.0									
1	G-499/22	3	1	5	26	68	5.8	6.0	0.19	1.75	5.60	29.47	2.88	GW-GM	sac GrW
2	G-0500/22	3	1	4	28	67	5.2	5.1	0.21	1.71	5.99	28.52	2.32		
3	G-0501/22	3	1	6	29	64	5.8	6.8	0.13	1.31	5.51	42.38	2.40		

Табела 20. Резултати испитивања на узорку бр. 3 (шифра узорка Г-0501/22).

CDW Узорак #	Маса суве материје (t/m³)	Удео влаге у току припреме (%)	Сагорива материја (%)	Органска материја (%)	Проктор тест			CBR (%)
					Густина суве пробе, ρ _d (Mg/m³)	Тежина суве пробе, γ _d (kN/m³)	Оптимална садржина влаге, w (%)	
3	1.861	12.3	7.6	1.7	1.87	18.33	12.8	111

Расподела величине честица свих анализираних узорак указује на високо учешће фракције крупног агрегата. У узорцима 1–5 садржај честица величине изнад 2 мм варира 80–95%, док је учешће исте величине честица у узорцима Г-0499-0501/22 уједначеније (64–68%). Ови се одликују већом количином финих честица (<0,063 мм) која није већа од 3% у узорцима 1–5. Резултати процене густине могу се констатовати да је густина честица осушених у пећници за све уситњене узорке (1–5) уједначена (2,33–2,34 Mg/m³) у свим фракцијама. Као што је приказано на слици 19, максимална сува густина од 1,87 Mg/m³ је постигнута при оптималној влажности од 12,8% у узорку 3 из новог рециклажног

постројења у Винчи (шифра узорка Г-0501/22). Апсорпција воде је очекивано већа код фракција од 4/8 мм, где износи 4,87%, док код грубих фракција варира од 4,28 до 3,81%.



Слика 19. Резултати Прокторовог теста у рециклираном агрегату: сува густина у функцији садржаја воде, у узорку #3 (шифра узорка Г-0501/22, видети табелу 20). Примењена механичка енергија у тесту (за згушњавање земљишта уклањањем ваздуха у шупљинама и преуређивањем честица земљишта): 2,75 MJ/м³.

5.2. Дискусија

5.2.1. Могућност супституције природних агрегата рециклираним

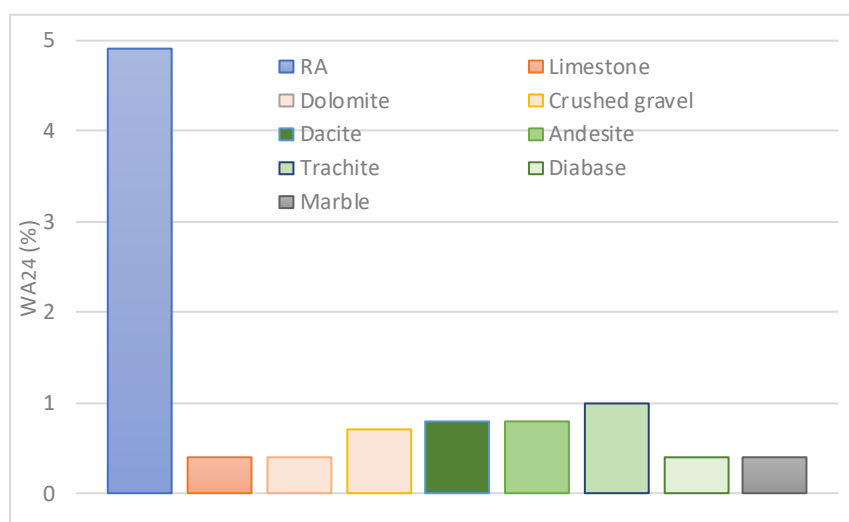
Физичко-механичка својства рециклираног агрегата се обавезно користе за карактеризацију квалитета РА и за дефинисање могућности њихове правилне употребе. Главни стандарди коришћени у поређењу резултата и захтева су СРПС ЕН 12620[35] и СРПС ЕН 13242[36] и национални технички прописи.

У складу са захтевима за оцењивање стандарда СРПС ЕН 12620[35], узорци 1–5 су свеукупни агрегати, али нису могли да буду пројектовани по ГА категорији због $D > 45$ мм. Према захтевима стандарда СРПС ЕН 13242[36], узорци 1–5 су крупни агрегати са ознаком ГЦ80-20. Садржај честица ситнијих од 0,063 мм ограничен је на примену рециклираних агрегата као материјала за изградњу путева. То чини ово својство изузетно важним параметром за сваку агрегатну сврху. Количина финих честица (пречник $\leq 0,063$ мм) може учествовати у агрегату за неvezане носеће слојеве до 5% на депонији, односно до 8% након инкорпорације, што је остварено у анализираним узорцима (Слика 3, Табела 3). Појединачни резултати анализираних узорка узетих са депоније имају вредности до 3% (осим узорка 3) тако да се садржај ситних честица може сматрати нештетним. Узорци се могу декларисати као ф3 док је узорак 3 класификован у категорију F11 (према СРПС ЕН 12620) [35], односно у категорију ф5 (према СРПС ЕН 13242) [36]. Проценат зрна величине пречника до 0,02 мм у агрегату не сме бити већи од 3% према националним техничким прописима, а сви анализирани узорци испуњавају овај услов.

Индекс љускавости је агрегатно својство које у великој мери зависи од врсте и начина дробљења. Утиче на спајање честица агрегата и благо утиче на својства касније произведеног очврслог бетона[55]. Према овој особини сви испитани узорци имају релативно ниске вредности што их је одредило у категорију ФИ15, осим узорка 1 који припада категорији FI20. Проценат зрна која не испуњавају захтев $l:d \leq 3:1$ може бити највише 20% према националним техничким прописима (категорија FI20 према СРПС ЕН 13242) [36].

Познато је да рециклирани агрегати имају мању густину честица у поређењу са природним агрегатима која варира између 2,3 и 2,9 Mg/m^3 [56]. На основу добијених вредности густине честица, испитиване фракције рециклираног агрегата имају задато својство веома блиско густини природног агрегата. Декларисана вредност густине сушених честица је 2,34 Mg/m^3 за проучаване фракције рециклираних агрегата (узорак 1–5). Задовољава наведену минималну вредност густине честица осушених у пећи 2000 kg/m^3 за производњу свих бетона (ЕН 12620) [35] у складу са ЕН 206-1 [57].

Упијање воде (WA24) се сматра важним физичким својством рециклираних агрегата[55]. Карактерише запремину шупљина у агрегату доступном за воду и индиректни је претходник отпорности на мраз. Очекује се већа апсорпција воде од 4,87% у фракцији 4/8 мм испитиваних рециклираних агрегата у односу на природне агрегате произведене од магматских, седиментних и метаморфних стена у Србији (Слика 20). Подаци из литературе показују да су просечне вредности WA24 бројним анализама природног агрегата до 1%, док максималне добијене вредности ретко прелазе 2%[58]. Генерално, WA24 за природне агрегате варира од 0,5% до 1,5% [56].

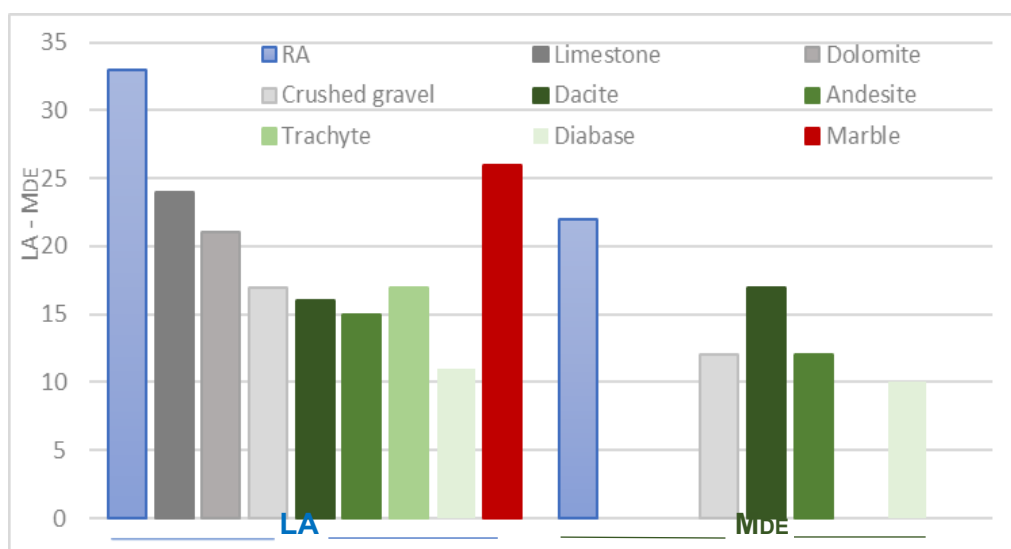


Слика 20. Хистограм апсорпције воде (WA24) средње вредности рециклираног агрегата (фракција 4/8 мм узорка 1–5) у поређењу са средњом вредношћу природних агрегата[58].

Такође је познато да упијање воде рециклираних агрегата у великој мери зависи од садржаја везива, садржаја цементне пасте и присуства малтера[59,60]. Наши резултати WA24 за РА су значајно и очекивано виши од WA24 природних агрегата, али су у складу са литературним резултатима за грубу фракцију од 300 узорака рециклираног смрвљеног грађевинског отпада који су се кретали од 1,0% до 15,0%, са просеком од 4,9% [56], и резултате експерименталног истраживања на узорцима RCA са BA24 од 4,6% [55].

Узимајући у обзир резултате упијања воде и губитка масе од 9–15% након пет циклуса са раствором натријум сулфата (метода испитивања раствором Na_2CO_4 ; СРПС Б.Б8.044:1982) [46], анализирани узорци не могу бити отпорни на смрзавање-одмрзавање или сулфатна чврстоћа категорисана према СРПС ЕН 12620 [35].

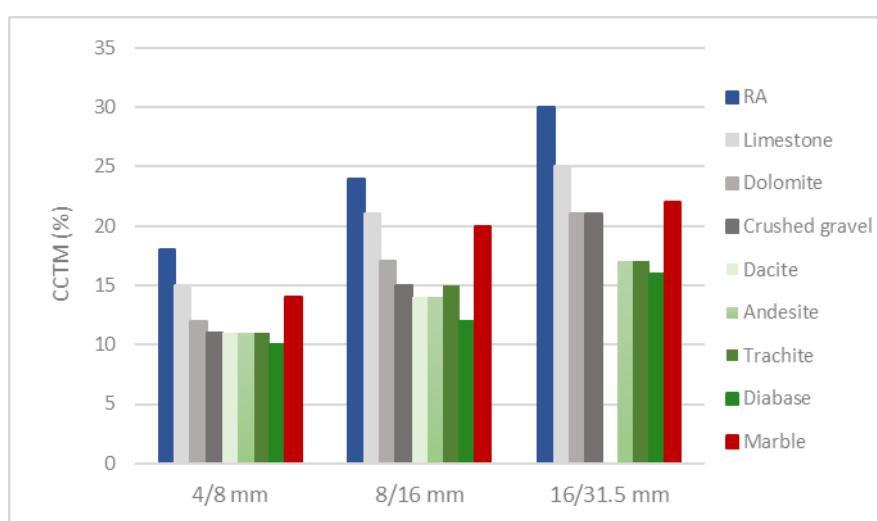
Механичка својства проучаваних узорака рециклираних агрегата изражена су кроз Лос Анђелес и Мицро-Девал коефицијенте, као и индекс ломљивости ССТМ. Измерене вредности ЛА индекса су у просеку 33, односно 22 за Микро-Девал коефицијент. У Србији, природни агрегати произведени од магматских или седиментних стена и који се користе за бетон или изградњу путева, показују ЛА вредности мање од 25% (видети слику 21).



Слика 21. Хистограм отпорности на абразију (ЛА) и микро-Девал коефицијента (МДЕ) средње вредности рециклираног агрегата (узорак 1–5) у поређењу са средњом вредношћу за природне агрегате.

Иако су вредности ЛА индекса тестираног рециклираног отпада веће од природних агрегата, оне указују на добру отпорност на фрагментацију. Добијене

вредности ЛА су такође у сагласности са студијама спроведеним на 111 узорак дробљеног материјала из грађевинског отпада и отпада од рушења са просечним ЛА од 33% или са 51 узорком мешаног грађевинског отпада (рециклирани грађевински отпад + отпад од рушења) са просеком од 36%[56] . За разлику од ЛА индекса, резултати студија о МД индексу рециклираних агрегата су малобројни у научној литератури, али се сви слажу да је индекс хабања већи од истог код природних агрегата , као што је случај у нашој студији. Добијена средња вредност индекса МДЕ је кохерентна са вредностима за рециклирани смрвљени грађевински отпад од 24%[55]. Индекс дробљивости (CSTM), као важно својство агрегата за употребу бетона, већи је код свих фракција него код природних агрегата (Слика 22), али је и даље довољно низак и самим тим довољан за националне критеријуме квалитета агрегата за бетон.



Слика 22. Средње вредности индекса ломљивости хистограма (CSTM) рециклираног агрегата (узорак 1–5) у поређењу са средњом вредношћу CSTM за природне агрегате

Према вредностима коефицијента отпорности на хабање и фрагментације, сви узорци су декларисани као ЛА35 категорија док МДЕ индекс не укаже на категорију МДЕ₂₅. Проценат зрна ломљеног камена у смеши за невезани носиви слој мора се одредити у оквиру поступка димензионисања коловозне конструкције коришћењем расподела из стандарда. Према националним техничким прописима отпорност агрегата на ломљење, одређена ЛА методом за невезане носеће слојеве на путевима, може бити највише 30% за средње и велико саобраћајно оптерећење, односно највише 35% за мало саобраћајно оптерећење. Испитани узорци задовољавају овај последњи услов.

Садржај органских примеса у агрегату не сме да обоји 3% раствор NaOH тамније од референтне боје, која је задовољена у анализираним узорцима. Агрегати за невезане носеће слојеве не смеју да садрже неодговарајућа зрна.

Калифорнијски однос носивости (CBR) мора бити: (1) најмање 40% (или више) за природне и мешовите агрегате у којима је мање од половине зрна здробљених, и (2) најмање 80% (или више) за дробљени и мешани агрегати у којима је мање од половине зрна здробљених. И овај услов је испуњен (видети табелу 20).

Мешавине крупних/ломљених камених зрна (ретко мешавина ових са дробљеним секундарним ресурсима) се обично користе као основни материјали у неvezаним хабајућим слојевима. Као основне се користе фракције од 0/22 мм, 0/32 мм и 0/45 мм, а за НХС површину фракције од 0/8 мм. Гранулометријски састав основних фракција мешавине камених зрна мора да обезбеди што бољи подрум. У мешавини би требало да буде већина камених зрна веће величине.

5.2.2. Еколошко-економски бенефити рециклаже и супституције природних агрегата

Главни део грађевинског отпада (CDW) потиче од минерала и може се користити (у облику рециклираног агрегата) првенствено у изградњи путева[61]. Ово такође обезбеђује смањење употребе примарног грађевинског материјала. Циљ би требало да буде постизање затвореног циклуса у коме би рециклирани агрегат имао исту примену као примарни агрегат, односно као главна компонента у производњи бетона (са могућношћу додатног оплемењивања). У другим применама, рециклирани агрегат делује као компонента других грађевинских материјала или смеша. Ова достигнућа су посебно важна тачка у процесу управљања CDW.

Претпостављало се да би само 50% фракција могло бити продато, док би остатак био искоришћен за покривање, равнање и попуњавање девастираних површина. Приход остварен продајом примљених и сакупљених фракција CDW након поновне производње у постројењима за дробљење може се израчунати из просечне цене K4-2023 од 3 €/т[62].

Користи од уређења (као што је већ истакнуто, према акционом плану) односе се на земљиште настало у ископима на градилиштима у Београду и могу се користити за попуњавање девастираних подручја, односно за обнову екосистема и уређење предела. Друштвене користи које се постижу на овај начин обухватају: регулисање загађења ваздуха – секвестрацију угљеника, смањење штета од поплава, регулацију температуре, могућност уређења рекреативних простора, позитивне ефекте на здравље итд. Према вредност ових користи се процењује на ~3121 €/ха. Под претпоставком да се покрива до 1 м висине (просечно), могуће је обухватити ~67 ха девастираних површина годишње са количином од ~1 милион тона.

Постоје различите економске и еколошке користи од процеса рециклаже. Истраживања у ЕУ показују да потенцијал циркуларне економије у грађевинарству и сектору животне средине посебно произилази из: (1) смањења сировина, енергије и воде који се користе у производњи одређеног добра (производа) уместо употребе

рециклажних сировина, (2) смањење емисије гасова стаклене баште (GHG), (3) повећање запослености, (4) смањење депоноване количине грађевинског отпада (тј. смањење заузетости празних површина на депонији), (5) смањење деградације пејзажа и (6) смањење вађења природних агрегата и очувања необновљивих ресурса. За производњу 1 т рециклираног агрегата потребно је 23% мање енергије него за производњу агрегата из природних ресурса [8].

Неке важне препоруке за CDW и производњу рециклираних агрегата[63] могу побољшати процес рециклаже. Методологија примењена за рушење може значајно да утиче на перформансе накнадног процеса рециклаже и својства рециклираних производа. Претходно сортирање CDW-а на градилиштима (рушењем) може смањити трошкове рециклаже или одлагања и обезбедити бољи квалитет рециклираних производа. РА се углавном користе као сипки агрегат за темеље путева и железница или за санацију животне средине, као и за припрему бетонских мешавина мале чврстоће. Да би се обезбедило тржиште рециклираног агрегата, њихова цена мора да буде најмање 20% нижа у односу на цену природног агрегата, што је немогуће у случају Београда, који има велику количину укупне агрегатне понуде природног песка и шљунка из Река Дунав[5].

Имајући у виду да је за производњу 1 т рециклираног агрегата потребно 13,17 kWh, у односу на агрегатну производњу из природних ресурса за коју је потребно 17,20 kWh, узета је у обзир разлика од 4,03 kWh, уз цену 1 kWh у Србији 12/2023 од 14,29 динара. = 0,12 € (после пореза) [64] :

$$4,03 \text{ kWh (од 1 т рециклираног материјала)} \times 0,12 \text{ €/ kWh} = 0,4836 \text{ €}$$

На основу студија о садржају угљеника у материјалима[65,66], процењује се да свака тона грађевинског материјала може изазвати између 0,07 и 0,22 тоне емитованог угљен-диоксида. У овом помало конзервативном приступу, претпостављено је да се у свакој смањеној тони грађевинског отпада (поновно употребљени материјал) налази 0,15 т CO₂. Еколошке предности се процењују коришћењем економских цена CO₂ еквивалента које је дала Европска инвестициона банка за период 2020–2050. године, а распон ових цена у 2050. години је од 80 €/т до 800 €/т.

Рециклажа CDW је такође важна са становишта животног циклуса агрегата, јер обезбеђује прелазак са инертног отпада на финални производ на следећи начин: инертни отпад — рециклажа — рециклирани агрегати — грађевински производи[63]. Затварање петље од производње до отпада и повећање поновне употребе материјала и рециклаже би смањило потражњу за сировинама и помогло у ублажавању нестабилности цена на тржишту сировина и ризика понуде. Потрошња сировине се често користи као замена за еколошке притиске коришћења ресурса. Он мери ресурсе који се директно троше унутар националне економије, схватајући да би свака тона материјала која уђе у привреду на крају изашла било као отпад или емисија.

У овој процени, избегавање еколошке штете (проузроковане експлоатацијом ресурса) процењено је просечном ценом депоновања у Србији, која износи 15 €/т за сваку извађену тону замењене сировине[31].

Количине приказане и очекиване, а које показују и позитиван тренд раста, недвосмислено приказују велики потенцијал употребе овог грађевинског отпада као супститута за природни камени агрегат и смањење потребе за експлоатацијом природног каменог агрегата. Тиме ће се драстично смањити деградација простора експлоатацијом површинским коповима (што је тренутна пракса), заштитити подручје од девастације, биотопе и биоврсте од уништења, и сачувати природни камени агрегати као ресурс за будућност. Осим ове компоненете заштите природе и одрживог развоја, применом ових супститута спречиће се загађење животне средине депоновањем овог отпада на нелегалан начин или на регистроване депоније, а самим тим ће бити онемогућена и даља контаминација земљишта и вода кружењем опасних и осталих компоненти из њега.

Затварање петље од производње до отпада и повећање поновне употребе и рециклаже материјала смањило би потражњу за сировинама и помогло у ублажавању нестабилности цена на тржиштима сировина и ризика снабдевања. Потрошња сировина често се користи као замена за еколошке притиске употребе ресурса. Потрошња сировина мери ресурсе директно потрошене у оквиру националне економије, уз разумевање да ће на крају свака тона материјала који уђе у економију изаћи као отпад или емисија.

5.2.3. Утицаји на животну средину

Ефекте утицаја на заштиту животне средине и на унапређење како саме заштите животне средине, тако и стања животне средине, треба посматрати кроз два могућа сценарија. Први је **наставак експлоатације и коришћења природних ресурса по досадашњој пракси** и утицај наставка такве праксе на животну средину. Други је **повећање степена рециклаже грађевинског отпада и повећање његовог коришћења, као и супституција (у што већој мери) природних агрегата рециклираним.**

Ако се само настави са експлоатацијом и коришћењем природних ресурса по досадашњој пракси уз утицај наставка такве праксе на животну средину, дакле по **DO NOTHING сценарију**, могу се очекивати само негативни утицаји на животну средину.

Ако се сагледа и друга могућност - повећање степена рециклаже грађевинског отпада и његовог повећаног коришћења, као и супституција природних агрегата, могу се анализирати негативни и позитивни утицаји на животну средину.

Када је негативан утицај другог аспекта у питању може се рећи да је минималан, практично занемарљив и да се може поделити на утицај кроз одлагање на депоније и утицај који се јавља приликом прераде грађевинског отпада у агрегате.

5.2.3.1. Утицај одлагања грађевинског отпада на депоније.

Када се грађевински отпад одлаже на депоније[22,23],, отпадна материје која долази до подземних вода је ниска. Хемијске анализе водених узорак показале су ниво растворених супстанци које су много ниже него што су веома строге границе које је поставила Светска здравствена организација за пијаћу воду. Кроз анализе је једино је редовно била присутна повишена концентрација јона сулфата, и она испод доњих прописаних граница, те се ни т не може говорити о прекомерном негативном утицају.

Главни негативни утицај на животну средину долази од деградације простора и заузимање делова депонија у великим размерама. Ово може да буде веома битно, поготову за земље где постоји дефицит земљишта или где су таксе за одлагање на депоније високе.

5.2.3.2. Утицај прераде грађевинског отпада у агрегате на животну средину

Као што је наведено, рециклажа бетона укључује прераду у грубе и фине агрегате, кроз процес који је сличан оном који се користи за природне агрегате (дробљења, просејавања и транспорт).

У погледу заштите ваздуха, емисија прашине и честица које настају током етапе дробљења грађевинског отпада је вероватно највећи утицај на животну средину током рециклаже и може изазвати озбиљне здравствене проблеме једино запосленима у случају да услови за рад нису адекватно обезбеђени. Емисије које се јављају при процесу разврставања могу се контролисати, рецимо, прскањем воде на дробљени грађевински отпад, чиме се спречава дисперзија честица даље у ваздух.

Још један „негативан“ аспект утицаја на животну средину би била бука која настаје од машина у току процеса дробљења агрегата. Бука, такође која може имати утицај на здравље запослених и околине. Бука настала на овај начин може достићи и до 85 dB током процеса производње, тако да је заштита за раднике и околину, у случају близине других објеката, неопходна и обавезна.

Ипак, позитиван утицај на животну средину је вишеструк. Првенствено се огледа у заштити у очувању необновљивих природних ресурса каменних агрегата и заштити природних површина од деградација. Такође, доводи до искоришћења и циркуларног коришћења ресурса па се мање генерише новог грађевинског отпада и смањује одлагање, а поготову нелегално одлагање грађевинског отпада на дивље депоније. Дакле поново се остварује заштита површина земљишта, најчешће плодног, избегава одлагање отпада и смањује негативан утицај на подземне и надземне воде и пијаћу воду.

Треба споменути и позитиван утицај овог вида и на тржиште, креирањем нових ресурса, покретањем новог вида индустрије, нових радних места – Све у свему,

остварују се велики економски и социјални бенефити. Сва три стуба одрживости су максимално позитивно заступљена кроз овај вид активности.

5.2.4. Закључна разматрања

Одрживи развој би морао да буде основна премиса глобалне политике развоја друштва у целини, а саме активности комплетног друшта би требало да се спроводе потпуно у складу са основним принципима одрживости како бисмо даље напредовали ка економском просперитету, бољој животној средини и социјалном напретку.

Неки главни циљеви одрживог ресурса у области менаџмента камених агрегата треба да се врши на начин који резултира великом користи за друштво на дужи временски рок, обезбеђујући очување ових необновљивих ресурса у што је већој мери могуће. Циљеви управљања отпадом су да се ублаже сви нежељени утицаји отпада на животну средину и његовог коришћења као новог ресурса и покретања циркуларне економије у овој области. Смисао ове дисертације је и био и да се покаже да се основни концепти одрживог управљања ресурсима могу примењивати на управљање отпадом и менаџмент експлоатације минералних сировина. Управљање минералним ресурсима, у овом случају каменим агрегатима и грађевинским отпадом се укрштају и то посебно у рударско-геолошким и грађевинским делатностима.

Увођење интензивнијег коришћења рециклираних агрегата на тржиште у Србији ће имати утицај на експлоатацију камених агрегата, одрживост система коришћења агрегата, на грађевинску индустрију, на генераторе грађевинског отпада и повећање степена заштите животне средине.

Доступност агрегатних ресурса у региону једва да је довољна за тренутне потребе, а области које окружују пројектно подручје такође треба узети у обзир, како би се правилно процениле специфичне ресурсне области и развили оптимални планови управљања ресурсима. Следећи корак би био и приступ планирању и озбиљнијем увођењу супституције природних агрегата рециклираним и техногеним сировинама.

Комбинована употреба примарних и секундарних агрегата требало би да буде стратешка оријентација, како града Београда, тако и целе Републике Србије, у циљу постизања одрживог коришћења агрегата.

Што се тиче наведеног и анализираног примера града Београда, закључак је да је расположивост примарних агрегатних ресурса у ширем региону града Београда једва довољна за тренутне потребе. Услед и неупитног повећања потражње за агрегатима, биће потребно успоставити добар, одржив систем снабдевања београдског тржишта природним и произведеним агрегатима, те обезбедити додатне количине и заштитити

постојеће необновљиве ресурсе. Врло је важно да се максимизира ефикасност вађења агрегата у активним каменоломима како би се максимизирале нето користи и постигла одрживи животни циклус каменолома, да се усвоје најбоље праксе, успостави ригорознија контрола квалитета камених агрегата и повећа рециклажа грађевинског отпада који се користе као супститут агрегати.

Европско искуство показује да се са потпуном рециклажом грађевинског отпада и отпада (CDW) и супституцијом агрегата из грађевинског отпада може обезбедити око 10% укупне потражње за каменим агрегатима. За град Београд биће неопходно користити CDW до могуће максималне количине с обзиром на будуће потребе града за агрегатима, али и за смањење утицаја на животну средину и притисак за нове локације одлагалишта грађевинског отпада.

Иако су лежишта минералних агрегата бројна, они су необновљиви ресурс који се могу искористити само у оним областима у којима се налазе. Минерални агрегати се одликују великим масама и ниском јединичном вредношћу, тако да је економска вредност лежишта одређена близином у области тржишта, као и својим квалитетом и величином.

Камени агрегати су најважнији грађевински материјал у свакој земљи. Они су основа на којој почива инфраструктурни развој читавог друштва. Осим за изградњу путева, агрегати се користе и у изградњи стамбених, пословних објеката, утичу на индустријски развој и различите јавне инфраструктурне пројекте. Као што је поменуто, град Београд има довољно агрегата за своје потребе, али ни управљање ни снабдевање се не координира у оквиру целе територије. Употреба агрегата је у сталном порасту и одрживо коришћење има много шире значење, што укључује и систематско планирање на свим нивоима.

Нужно је повећати ефикасност експлоатације агрегата у активним лежиштима како би се максимизирала употреба и постигао одрживи животни циклус лежишта, пратити и усвајати најбоља искуства и праксе из света, строжије контролисати и смањити ницање и експлоатацију нелегалних каменолома и константно ажурирати база података за праћење нелегалних активности и њихово санкционисање. такође, неопходно је и повећати експлоатацију и рециклажу отпада/нуспроизвода од грађења и рушења, који се може користити као агрегат и и проширити употребу анализе животног циклуса.

На грађевинску индустрију ће овакав начин обезбеђивања нових ресурса-техногених камених агрегата имати позитивне ефекте јер је цена рециклираних агрегата, која зависи и од глобалних, али и локалних тржишта, често нижа и до 20% од цене природних агрегата.

Осим ниже цене, од природних необновљивих ресурса, предности рециклираних агрегата су и висока потражња материјала са слабијим карактеристикама и мањи трошкови транспорта материјала (нпр. Београда, постројење за рециклажу у Винчи је ближа од свих каменолома за снабдевање потреба грађевине на територији Београда).

Свакако, додатни предлог би био увођење и подстицајних мера за предају и рециклажу грађевинског отпада од генератора отпада у односу на постојеће цене за депоновање. Тако би и ова грана индустрије могла осетити додатни економски позитивни подстицај.

Кратко до средњерочно, плански и системски концепт би требало да буде коришћење камених агрегата и сам развој индустрије рециклаже грађевинског отпада и употреба рециклираних агрегата као супститута секундарних камених агрегата. Дакле да крајњи циљ буде одрживост. У том смислу је потребно дакле покренути процес смањења искоришћења природних ресурса и већег коришћења рециклираног грађевинског отпада и то представља кључ одрживог коришћења камених агрегата на територији и Србије и града Београда као и смањења експлоатације природних сировина. Уз ефикасно спровођење оваквог стратешког опредељења биће могућ значај позитиван утицај на животну средину у Србији.

Што се тиче саме експлоатације природних агрегата, гледајући процењене потражње и потрошње агрегата у целини, сама индустрија производње камених агрегата неће имати негативне економске ефекте ни краткорочно ни средњерочно гледано, а умерене утицаје ће имати на дугорочном плану.

6. ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕДЛОЗИ ДАЉИХ АКТИВНОСТИ

Анализом резултата добијених испитивањем обе групе узорак и поређењем карактеристика са наметнутим стандардима за материјале који се користе у грађевинарству, као и проценом еколошких и економских користи, могу се донети следећи закључци:

(1) Материјали добијени рециклажом грађевинског отпада насталог на подручју Београда су у складу са наведеним наметнутим пропозицијама;

(2) Ови материјали се могу користити као замена за природне агрегате – као невезани носећи слојеви, као невезани слојеви против хабања, као агрегат за заптивање/јачање, као и бетонске мешавине које садрже цемент;

(3) Постоје значајне потенцијалне користи за продају и уређење простора од употребе рециклираног ЦДВ-а;

(4) Значајне еколошке и економске користи могу се постићи уштедом од скоро 0,5 €/т (и 23% мањом потрошњом енергије) од употребе рециклираног агрегата уместо производње агрегата из природних ресурса.

(5) Коришћење рециклираног агрегата од отпадог бетона, у који се као минерални додатак додаје летећи пепео (што је такође са еколошког аспекта нарочито пожељно) и искоришћење и овог вида отпада као ресурса, могу да се добију нешто ниже механичке, али задовољавајуће карактеристике за производњу нових видова бетона.

Секундарни камени агрегати настали рециклажом не би требало да у првом тренутку буду конкуренција природним агрегатима произведеним из каменолома или пескара и шљункара, већ да њихова заједничка употреба представља, у наведеном кратко- до средњерочном периоду, стратешку оријентацију у циљу остварења главног циља – одрживог комбинованог снабдевања агрегатима и одрживости система у целини.

Предлози даљих мера у остварењу циљева би могли да се поделе на:

- Мере оствариве кроз легислативу:

- *Легислативом уредити и економски дестимулисати одлагање на депоније грађевинског отпада и пооштрити казне за нелегално одлагање грађевинског отпада.*

- *Легислативом уредити селективно рушење објеката и учинити обавезним раздвајање отпада на његовом извору.*

- *Увести стандарде квалитета за рециклиране камене агрегате.*

- *Регулативом утврдити правни основ и обавезну употребу произведених агрегата до одређеног удела у поступцима јавних набавки (зелена правила о јавним набавкама).*

- *Потребно је допунити прописе о престанку статуса отпада (End of waste) који обезбеђује и критеријуме квалитета.*

- Неопходне мере у области геологије и експлоатације природних каменних агрегата:
 - Недовољно истражена лежишта треба детаљније истражити и проценити резерве за будућа планирања експлоатације.
 - Истраживања шљунка у будућности треба да се одвијају у областима где би се могла обавити са најмањим утицајем на животну средину и фокусирати се на побољшање ефикасности експлоатације сировинских лежишта.
- Мере у области рециклаже и стварања рециклираних каменних агрегата:
 - Повећати износе накнада за одлагање грађевинског отпада на депоније,
 - Увести обавезност коришћења рециклираног грађевинског отпада као супститута природним агрегатима кроз законску регулативу, фазно и са трендом повећања,
 - Покренути тржиште рециклираних грађевинских материјала,
 - Промовисати квалитет и економску атрактивност рециклираних грађевинских материјала,
 - С обзиром на прогнозе да ће у области коришћења каменних агрегата наставити раст потреба за каменом и кречњаком у грађевини и путоградњи, одрживост, као основни принцип развоја, треба да буде кључни критеријум у управљању агрегатним ресурсима. У складу са тим, неопходно је и убрзано повећање нивоа рециклаже грађевинског отпада.
 - Подстаћи архитекте и пројектанте на дизајн грађевина и путева који ће бити једноставнији за демонтажу и рециклажу на крају свог животног века.

РЕФЕРЕНЦЕ

1. SRCS Technical Conditions for Roads Construction (Official Documents of the Roads of Serbia Public Enterprise). Available online: <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/en/srcs-technical-conditions-for-roads-construction> (accessed on 25 December 2023).
2. Planning and Building Act, Official Herald of the Republic of Serbia: Nos. 72/2009, 81/2009-Correction, 64/2010-Decision of the CC, 24/2011, 121/2012, 42/2013-Decision of the CC, 50/2013-Decision of the CC, 98/2013-Decision of the CC, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019-Other Act, 9/2020 and 52/2021. Available online: <https://www.paragraf.rs/propisi/planning-and-building-act-serbia.html> (accessed on 25 December 2023).
3. Menegaki, M.E.; Kaliampakos, D.C. European aggregates production: Drivers, correlations and trends. *Resour. Policy* **2010**, *35*, 235–244. [Google Scholar] [CrossRef]
4. Simić, V.; Životić, D.; Andrić, N.; Miladinović, Z. Sustainable aggregates planning in southeast Europe—Why and how. In Proceedings of the 16th Geological Congress of Serbia, Donji Milanovac, Serbia, 22–25 May 2014; pp. 741–742. [Google Scholar]
5. Simić, V.; Abramović, F.; Andrić, N.; Delić, I.; Miladinović, Z.; Životić, D. Need to Improve the Natural Aggregate Resources Supply in the City of Belgrade (Serbia). *Acta Montan. Slovaca* **2016**, *21*, 191–199. Available online: <https://actamont.tuke.sk/pdf/2016/n3/3simic.pdf> (accessed on 4 January 2024).
6. Exploitation of Non-Energy Mineral Resources and Natura 2000, Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Available online: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/eip/raw-materials-commitment/sustainable-non-energy-mineral-extraction-activities-natura-2000-protected-sites_en (accessed on 25 December 2023).
7. Elmqvist, T.; Setälä, H.; Handel, S.N.; van der Ploeg, S.; Aronson, J.; Blignaut, J.N.; Gomez-Baggethun, E.; Nowak, D.J.; Kronenberg, J.; de Groot, R. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* **2015**, *14*, 101–108. [Google Scholar] [CrossRef]
8. Resource Efficient Use of Mixed Wastes Improving Management of Construction and Demolition Waste; Final Report, Deloitte. October 2017, p. 128. Available online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/78e42e6c-d8a6-11e7-a506-01aa75ed71a1/language-en> (accessed on 25 December 2023).
9. Colangelo, F.; Petrillo, A.; Farina, I. Comparative environmental evaluation of recycled aggregates from construction and demolition wastes in Italy. *Sci. Total Environ.* **2021**, *798*, 149250. Available online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721043230> (accessed on 4 January 2024). [CrossRef] [PubMed]
10. Cardoso, R.; Silva, R.V.; de Brito, J.; Dhir, R. Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste Manag.* **2016**, *149*, 131–145. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
11. Pereira, P.M.; Vieira, C.S. A Literature Review on the Use of Recycled Construction and Demolition Materials in Unbound Pavement Applications. *Sustainability* **2022**, *14*, 13918. [Google Scholar] [CrossRef]
12. Chalangan, N.; Farzampour, A.; Paslar, N.; Fatemi, H. Experimental investigation of sound transmission loss in concrete containing recycled rubber crumbs. *Adv. Concr. Constr.* **2021**, *11*, 447–454. [Google Scholar] [CrossRef]
13. Contreras, M.; Gázquez, M.J.; García-Díaz, I.; Alguacil, F.; López, F.A.; Bolívar, J.P. Valorisation of waste ilmenite mud in the manufacture of Sulphur Polymer Cement. *J. Environ. Manag.* **2013**, *128*, 625–630. [Google Scholar] [CrossRef]
14. Contreras-Llanes, M.; Gázquez, M.J.; Romero, M. Eco-Friendly Pavements Manufactured from Mixed Recycled Aggregates Obtained from Construction and Demolition Waste: An Industrial-Scale Validation. *Materials* **2023**, *16*, 7544. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
15. Braga, A.M.; Silvestre, J.D.; de Brito, J. Compared environmental and economic impact from cradle to gate of concrete with natural and recycled coarse aggregates. *J. Clean. Prod.* **2017**, *162*, 529–543. [Google Scholar] [CrossRef]

16. Faleschini, F.; Zanini, M.A.; Pellegrino, C.; Pasinato, S. Sustainable management and supply of natural and recycled aggregates in a medium-size integrated plant. *Waste Manag.* **2016**, *49*, 146–155. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
17. Kim, J.; Grabiec, A.M.; Ubysz, A. An Experimental Study on Structural Concrete Containing Recycled Aggregates and Powder from Construction and Demolition Waste. *Materials* **2022**, *15*, 2458. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
18. Braga, M.; de Brito, J.; Veiga, R. Incorporation of fine concrete aggregates in mortars. *Constr. Build. Mater.* **2012**, *36*, 960–968. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
19. Klang, A.; Vikman, P.-A.; Bratteba, H. Sustainable management of demolition waste—an integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects. *Resour. Conserv. Recycl.* **2003**, *38*, 317–334. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
20. Kashkash, S.; Czoboly, O.; Orban, Z. Effect of Moisture Condition and the Composition of Aggregate from Demolition Waste on Strength and Workability Properties of Recycled Concrete. *Buildings* **2023**, *13*, 1870. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
21. Mulder, E.; De Jong, T.P.R.; Feenstra, L. Closed Cycle Construction: An integrated process for the separation and reuse of C&D waste. *Waste Manag.* **2007**, *27*, 1408–1415. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Marinković, S.; Radonjanin, V.; Malešev, M.; Ignjatović, I. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Manag.* **2010**, *30*, 2255–2264. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
23. Blengini, G.A.; Garbarino, E. Resources and waste management in Turin (Italy): The role of recycled aggregates in the sustainable supply mix. *J. Clean. Prod.* **2010**, *18*, 1021–1030. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
24. Saiz Martínez, P.; Ferrández, D.; Melane-Lavado, A.; Zaragoza-Benzal, A. Characterization of Three Types of Recycled Aggregates from Different Construction and Demolition Waste: An Experimental Study for Waste Management. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2023**, *20*, 3709. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
25. EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines, Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Available online: https://single-market-economy.ec.europa.eu/news/eu-construction-and-demolition-waste-protocol-2018-09-18_en (accessed on 25 December 2023).
26. European Commission. Directive 2018/851 on Waste (Waste Framework Directive), Brussels, Belgium. 2018. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32008L0098> (accessed on 5 January 2024).
27. Eurostat—Statistics Explained, Waste Statistics (Data Extracted in January 2023). Available online: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation (accessed on 29 January 2024).
28. “Recovery Rate of Construction and Demolition Waste (CDW) in the European Union (EU-27) in 2018, by Country”, in: Statista. Available online: <https://www.statista.com/statistics/1316268/recovery-rate-of-construction-and-demolition-waste-eu-by-country/#:~:text=The%20recovery%20rate%20of%20construction,recovery%20operations%20such%20as%20backfilling> (accessed on 29 January 2024).
29. UEPG—Annual Review 2020–2021, European Aggregates Association. Available online: https://www.aggregates-europe.eu/wp-content/uploads/2023/03/Final_-_UEPG-AR2020_2021-V05_spreads72dpiLowQReduced.pdf (accessed on 29 January 2024).
30. Waste Management Act, Official Herald of the Republic of Serbia: Nos. 36/2009, 88/2010, 14/2016, 95/2018—Other Law, and 35/2023. Available online: <https://aktivasistem.com/regulations/Waste-Management-Act.pdf> (accessed on 5 January 2024).
31. Local Waste Management Plan of the City of Belgrade 2022–2030, Službeni List Grada Beograda, 66/5, 31 January 2022. ISSN 0350-4727. Available online: <https://www.sllistbeograd.rs/pdf/2022/05-2022.pdf#view=Fit&page=1> (accessed on 25 December 2023).
32. Statistical Yearbook. Statistical Office of the Republic of Serbia. 2021. Available online: <https://www.stat.gov.rs/en-us/publikacije/publication/?p=13253> (accessed on 29 January 2024).
33. “Waste Management Program of the Republic of Serbia for the Period 2022–2031”. Official Gazette of the Republic of Serbia, 05/2022. Available

online: https://www.ekologija.gov.rs/sites/default/files/2022-03/program_upravljanja_otpadom_eng_-_adopted_version.pdf (accessed on 27 January 2024).

34. Wooden Market Forecast Q4/2023 with Q1/2024 outlook, KRONUS—Carrying Your Business (27 November 2023). Available online: <https://www.kronus.eu/wooden-market-forecast-q4-2023-with-q1-2024-outlook/> (accessed on 25 December 2023).
35. *EN 12620:2002+A1:2008*; Aggregates for Concrete. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC154 “Aggregates”: Brussels, Belgium, 2008.
36. *EN 13242:2002+A1:2007*; Aggregates for Unbound and Hydraulically Bound Materials for Use in Civil Engineering Work and Road Construction. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC154 “Aggregates”: Brussels, Belgium, 2007.
37. Available online: <https://www.bcenergy.rs/> (accessed on 7 February 2024).
38. *EN 1097-2:2010*; Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates—Part 2: Methods for the Determination of Resistance to Fragmentation. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC154 “Aggregates”: Brussels, Belgium, 2010.
39. *EN 1097-3:1998*; Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates—Part 3: Determination of Loose Bulk Density and Voids. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC154 “Aggregates”: Brussels, Belgium, 1998.
40. *EN 933-1:2012*; Tests for Geometrical Properties of Aggregates—Part 1: Determination of Particle Size Distribution—Sieving Method. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC154 “Aggregates”: Brussels, Belgium, 2012.
41. *EN 1744-1:2009+A1:2012*; Tests for Chemical Properties of Aggregates—Part 1: Chemical Analysis. European Committee for Standardization. Technical Committee CEN/TC154 “Aggregates”: Brussels, Belgium, 2013.
42. *EN 1097-1:2011*; Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates—Part 1: Determination of the Resistance to Wear (Micro-Deval). European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC154 “Aggregates”: Brussels, Belgium, 2011.
43. *EN 1097-6:2013*; Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates—Part 6: Determination of Particle Density and Water Absorption. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC154 “Aggregates”: Brussels, Belgium, 2014.
44. *EN 933-3:2012*; Tests for Geometrical Properties of Aggregates—Part 3: Determination of Particle Shape—Flakiness Index. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC154 “Aggregates”: Brussels, Belgium, 2012.
45. *SRPS B.B8.019:1961*; Crushing-Test of Concrete-Aggregates by Means of Treton-Apparatus. Institute for standardization of Serbia: Belgrade, Serbia, 1961.
46. *SRPS B.B8.044:1982*; Natural and Crushed Stone Aggregate—Test for Freezing Resistance. Institute for standardization of Serbia: Belgrade, Serbia, 1982.
47. *SRPS B.B8.033:1994*; Mineral Aggregate -Determination of Crushability by Compression in Cylinder. Institute for standardization of Serbia: Belgrade, Serbia, 1994.
48. *EN ISO 17892-1:2014*; Geotechnical Investigation and Testing—Laboratory Testing of Soil—Part 1: Determination of Water Content. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC 341 “Geotechnical Investigation and Testing”: Brussels, Belgium, 2015.
49. *EN ISO 17892-1:2016*; Geotechnical Investigation and Testing—Laboratory Testing of Soil—Part 4: Determination of Particle Size Distribution. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC 341 “Geotechnical Investigation and Testing”: Brussels, Belgium, 2017.
50. *SRPS U.B1.024:1968*; Testing of Soils: Determination of the Combustible and Organic Matter Content of a Soil. Institute for standardization of Serbia: Belgrade, Serbia, 1968.
51. *EN 13286-2:2010*; Unbound and Hydraulically Bound Mixtures—Part 2: Test Methods for Laboratory Reference Density and Water Content—Proctor Compaction. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC 227 “Road materials”: Brussels, Belgium, 2011.
52. *EN 13286-47:2012*; Unbound and Hydraulically Bound Mixtures—Part 47: Test Method for the Determination of California Bearing Ratio, Immediate Bearing Index and Linear Swelling. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC 227 “Road materials”: Brussels, Belgium, 2012.
53. *EN ISO 14688-2:2018*; Geotechnical Investigation and Testing—Identification and Classification of Soil—Part 2: Principles for a Classification. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC 341 “Geotechnical Investigation and Testing”: Brussels, Belgium, 2018.

54. *SRPS U.B1.001:1990*; General Classification of Soils for Engineering Purposes. Institute for standardization of Serbia: Belgrade, Serbia, 1990.
55. Chen, X.; Capiu, L.; Reynaert, I.; Zheng, K.; Gruyaert, E.; Li, J. Comparative study on modelling concrete properties using physical and mechanical properties of recycled coarse aggregate. *Constr. Build. Mater.* **2022**, *345*, 128249. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
56. Dhir, R.K.; De Brito, J.; Silva, R.V.; Lye, C.Q. *Sustainable Construction Materials: Recycled Aggregates*; Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2019. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
57. *EN 206-1:2000*; Concrete—Part 1: Specification, Performance, Production and Conformity. European Committee for Standardization, Technical Committee CEN/TC 104 “Concrete and Related Products”: Brussels, Belgium, 2001.
58. Djokic, O.; Milicevic, V. Main technical characteristics of rocks used in road construction in Serbia. *Bull. Eng. Geol. Environ.* **2013**, *72*, 137–141. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
59. Venkrbec, V.; Nováková, I.; Henková, S. Characteristics of Recycled Concrete Aggregates from Precast Slab Block Buildings. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2017**, *245*, 032076. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
60. Ulsen, C.; Tseng, E.; Cirelli Angulo, S.; Landmann, M.; Contessotto, R.; Tadeu Balbo, J.; Kahn, H. Concrete aggregates properties crushed by jaw and impact secondary crushing. *J. Mater. Res. Technol.* **2018**, *8*, 494–502. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
61. Basilico, V.; Quattrone, M. Recycled Aggregate Production: Remark and Assessment of the Economical Advantage of a Case Study. In *Portugal SB07: Sustainable Construction-Materials and Practices (Challenge of the Industry for the New Millenium)*; Braganca, L., Pinheiro, M., Jalali, S., Mateus, R., Amoeda, R., Correia Guedes, M., Eds.; IOS Press: Amsterdam, The Nederland, 2007; (incorporated); pp. 795–802. ISBN 9781607502746/9781586037857. Available online: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB11758.pdf> (accessed on 25 December 2023).
62. Sterk, E. Willingness to Pay for Recycled Aggregates in Concrete among German Construction Clients, MAGKS Joint Discussion Paper Series in Economics, No. 11-2023. Available online: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/278495/1/184611022X.pdf> (accessed on 25 December 2023).
63. Bressi, G.; Volpe, G.; Pavesi, E. La produzione di aggregati riciclati da rifiuti inerti. I manuali di SARMa. In *The Production of Recycled Aggregates from Inert Waste. The Manuals of SARMa*; Centro Stampa Regione Emilia-Romagna: Bologna, Italy, 2011; Available online: <http://www.sarmaproject.eu/index.php?id=1964> (accessed on 29 January 2024).
64. Statistical Yearbook. Statistical Office of the Republic of Serbia. 2023. Available online: <https://www.stat.gov.rs/en-us/publikacije/publication/?p=15431> (accessed on 31 January 2024).
65. Hammond, G.P.; Jones, C.I. Embodied energy and carbon in construction materials. *Proc. Inst. Civil Eng.* **2008**, *161*, 87–98. [\[Google Scholar\]](#) [\[CrossRef\]](#)
66. Pratt, K.; Lenaghan, M. The Carbon Impacts of the Circular Economy, Summary Report, June 2015. Available online: https://consult.gov.scot/zero-waste-delivery/making-things-last/supporting_documents/CloCE%20Summary%20Report%20%20FINAL%20%2015.06.15.pdf (accessed on 1 January 2024).
67. Abramović F, Simić V, 2014: *Upravljanje građevinskim otpadom u Beogradu u funkciji održivog korišćenja kamenih agregata*, *Ecologica*, 21, 74, 295-298
68. F. Abramović, M. P. Popović, V. Simić, V. Matović and R. Šerović, *Characterization and Environmental Evaluation of Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in Belgrade City Area*, *Materials*, **2024**, 17(4), 820. DOI: 10.3390/ma17040820
69. *Akcioni plan upravljanja otpadom od građenja i rušenja u gradu Beogradu za period 2022-2030*
70. Bloodworth A.J, Bate R, Highley D.E, Child R.A: *Industrial minerals: Issues for planning*. British Geological Survey Commissioned Report, CR/04/076N, 202 pp, 2004
71. „Benefits of restoring ecosystem services in urban areas“ T. Elmqvist, H. Setälä, S.N. Handel, S. van der Ploeg, J. Aronson, J.N. Blignaut, E.Gomez-Baggethun, D.J.Nowak, J.Kronenberg and R. de Groot, *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2015
72. Bleischwitz R, Bahn-Walkowiak B: *Aggregates and Construction Markets in Europe: Towards a Sectoral Action Plan on Sustainable Resource Management*. *Minerals & Energy - Raw Materials Report*, Volume 22, Issue 3-4, December 2007, 159-176, 2007
73. Blengini G.A, Garbarino E: *The Life Cycle Assessment Guidelines in the SARMa Project: definition of a common methodology to boost use of LCA tools in sustainable production and*

- recycling of aggregates. In: Žibret G. and Šolar S. eds.: *Sustainable Aggregates Resource Management, Abstract and Short Paper Book*. Ljubljana: Geological Survey of Slovenia, pp. 35-41, DOI: 10.5474/9789616498289, 2011
74. Bolen W: *Mineral Commodity Summaries: Sand & Gravel. Construction, United States Geological Survey*, 2005
 75. Brković T, Radovanović Z, Pavlović Z: *Basic geologic map of SFRJ, 1:100.000, sheet Kragujevac*. Federal geological institute, Belgrade, 1980
 76. Brown T, Fiona McEvoy F, Ward J: *Aggregates in England-Economic contribution and environmental cost of indigenous supply*. *Resources Policy* 36, 295–303, 2011
 77. Cibin U, Furin S: *Providing a Sustainable Supply Mix of Aggregates: State-of-the art in South-East Europe*. In: Žibret, G. and Šolar, S. eds: *Sustainable Aggregates Resource Management, Abstract and Short Paper Book*. Ljubljana: Geological Survey of Slovenia, pp. 48-54, DOI: 10.5474/9789616498289, 2011
 78. Cmiljanić S: *Study on types, quality and reserves of aggregate rocks in Serbia (outside autonomous regions) in existing quarries, gravel pits and potential locations*. Srbijaput, Beograd, book 1, 541 pp, 1983 Dimitrijević Lj, Krstić D: *Development of the quarry „Kruševica” due to increased demand for stone, II International Symposium „MINING 2011” mining present state and future prospects and sustainable development, proceedings, Vrnjačka Banja May 10-13 2011*, 629-634, 2011
 79. Drew L, Langer W.H, Sachs J: *Environmentalism and Natural Aggregate Mining*. *Natural Resources Research* 11, 1, 19-28, DOI 10, 1023/A:1014283519471, 2002.
 80. „EU Construction and Demolition Waste Protocol and Guidelines“
 81. Filipović I & Rodin V: *Basic geological map of SFRJ, 1:100,000, sheet Obrenovac*. Federal geological institute, Belgrade, 1980.
 82. GUP: *General Urbanistic Plan of Belgrade until 2021*, Urban Planning Institute of Belgrade, Official gazette of the City of Belgrade 27/03, amendments 25/05, 34/07, 63/09 and 70/14, 2003.
 83. Geoloski institut Srbije (2008, 2009, 2010) „*Prognozno-mineragenetska i geološko ekonomska ocena resursa i rezervi nemetaličnih mineralnih sirovina Srbije*”, Beograd
 84. Ivković A: *Basic geologic map of SFRJ, 1:100.000, sheet Pančevo*. Federal geological institute, Belgrade, 1975.
 85. Ilic M, (1995) *Istraživanje ležišta nemetala-gradjevinskih materijala*, Rudarsko-geološki fakultet- Univerzitet u Beogradu
 86. Kaliampakos D, Benardos A: *Sustainable aggregate quarrying in Athens (Greece): problems and solutions*. In: *Proceedings, Global Conference on Environmental Control in Mining and Metallurgy, China, 24–27 May, GME*, pp. 108–114, 1999.
 87. Кнежевић С, Шумар М. (1993): Прилог познавању геологије Београда. Геолошки анали Балканског полуострва, бр. 58, Београд
 88. „Локални план управљања отпадом града Београда 2020-2030” (2020), Geografski fakultet Beograd
 89. Закон о рударству и геолошким истраживањима (2011), Службени гласник Републике Србије 88/11
 90. Марковић Б, Веселиновић М, Обрадовић З, Анђелковић Ј, Атин Б, Костадинов Д. (1984): *Основна геолошка карта 1:100 000, лист Београд и Тумач*. Савезни геолошки завод. Београд
 91. Mankelow J. M, Gunn G. A: *Managing Aggregates Supply in England*. In: Žibret G. and Šolar S. eds.
 92. Menegaki M. E, Kaliampakos D. C: *European aggregates production: Drivers, correlations and trends*. *Resources Policy* 35, 235–244, 2010
 93. Milićević R, Pavlović Z: *Geological report on reserves of sand in the Jakovačka Kumša deposit*. Unpublished report, 2009
 94. Mihajlović B, Simić D, Lazarev S, Ljubičić M, Simić V. (2011): *Primena bazičnih stena u zavisnosti od njihovog kvaliteta. Stanje i perspektive u rudarstvu i održivi razvoj*, Rudarstvo 2011, II Simpozijum sa međunarodnim učešćem, Vrnjačka Banja, 682-689

95. Pavlović Z: *Basic geological map of SFRJ, 1:100.000, sheet Smederevo. Federal geological institute, Belgrade, 1980*
96. Pfeleiderer S, Untersweg T, Heinrich M, Weber L: *The Austrian mineral resources plan - evaluation of aggregates. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 06087, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-06087, 2007*
97. *Predlog strategije upravljanja mineralnim resursima Republike Srbije do 2030 godine.*
98. *Resource Efficient Use of Mixed Wastes Improving management of construction and demolition waste, Final report, Deloitte, October 2017, str. 128)*
99. SARMa Glossary, 2011. <http://www.sarmaproject.eu/index.php?id=1904>
100. Simić V, Živanović J, Životić D. and Beljić Č: *Natural aggregate resources in Serbia – an overview. - XIX Congress of Carpathian-Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23-26th September, Abstracts volume, Geologica Balcanica, 39, 1-2, Sofia, 362-363, 2010.*
101. Simić V, Životić D, Andrić N, Miladinović Z: *Sustainable aggregates planning in Southeast Europe – Why and how. Proceedings of the 16th Geological Congress of Serbia, 741-742, 2014.*
102. Simić V, Radusinović S, Andrić N, Životić D, Miladinović Z, Jovanović B, Božović D, 2017: *EU projects on aggregates in Serbia and in Montenegro. Herald geological 37 – New edition 5, Zbornik, 111-127*
103. Симић В, Живановић Ј, Бељић Ч, Животић Д, Радивојевић М. (2010): *Одрживо управљање каменим агрегатима – међународни пројекат САРМа – IX међународна конференција о површинској експлоатацији ОМС 2010, Врњачка Бања, 20-23. октобар 2010, 280-285*
104. Simić V, Životić D. (2011): *Eksploatacija neenergetskih mineralnih sirovina i Natura 2000 – Međunarodna naučna konferencija Održivi razvoj u funkciju zaštite životne sredine, knjiga apstrakata, Beograd, 18 – 20. april 2011, ECOLOGICA, 231-232*
105. Симић В, Животић Д, Андрић Н, Миладиновић З. (2014): *Одрживо планирање агрегата у југоисточној Европи - зашто и како. Зборник радова XVI Конгреса геолога Србије, Доњи Милановац, 22-25 мај 2014, 741-742*
106. Симић В, Мико С, Крук Б, Дедић Ж, Животић Д, Андрић Н, Миладиновић З. (2014): *Геолошке карте као подлоге за одрживо планирање снабдевања агрегатима (на примеру Републике Хрватске). Зборник радова XVI Конгреса геолога Србије, Доњи Милановац, 22-25 мај 2014, 743-744*
107. Simić V, Živanović J, Životić D, Beljić Č. (2010): *Natural aggregate resources in Serbia – an overview. - XIX Congress of Carpathian-Balkan Geological Association, Thessaloniki, Greece, 23-26th September, Abstracts volume, Geologica Balcanica, 39, 1-2, Sofia, 362-363*
108. Simić V, Životić D, Miladinović Z. (2011): *Aggregates Supply in Serbia. In: Žibret, G. and Šolar, S. eds.: Sustainable Aggregates Resource Management, Abstract and Short Paper Book. Ljubljana: Geological Survey of Slovenia, pp. 26-27, DOI:10.5474/9789616498289*
109. *Standardi SRPS ISO ES*
110. *Statistical yearbook: Statistical office of the Republic of Serbia, Belgrade, 425 pp.*
111. *Strategija razvoja grada Beograda (2011), Službeni list grada Beograda 21/11, Beograd*
112. „*Studija Klasifikacija i kvalitativne osobine pratećih mineralnih sirovina u lignitskim ležištima Epsa sa osvrtom na tehnogene sirovine*”(2005), ITNMS
113. „*Studija o mineralnoj sirovinskoj bazi SOOUR REIK “Kolubara” (1981), Služba za istraživanje mineralnih sirovina REIK Kolubara*
114. „*Studija opravdanosti izgradnje PK Veliki Crljeni Knjiga I, Idejni projekat*”(2004), Rudarsko-geološki fakultet, Beograd
115. „*Studija o utvrdjivanju lokacija na obalama grada Beograda za deponovanje rečnih nanosa*” (2013), Urbanistički zavod Beograd
116. Slavko V. Šolar, Deborah J. Shields “*Waste management as part of resource management within the context of sustainability*”, International Conference “*Waste Management, Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development (ICWMEGGSD'07 - GzO'07)*” Ljubljana, Slovenia, 2007
117. *SRPS B.B8.019:1961; Compression-Test of Concrete-Aggregates by Means of compression pressure. Institute for standardization of Serbia: Belgrade, Serbia, 1961*

118. *Tepordei V: Mineral Commodity Summaries: Stone, Crushed, United States Geological Survey, 2005*
119. *Tehnički uslovi za građenje puteva u Republici Srbiji – JP „Putevi Srbije*
120. *Životić D, Stojanović K, Gržetić I, Jovančičević B, Cvetković O, Šajnović A, Simić V, Stojaković R, Scheeder G: Petrological and geochemical composition of lignite from the D field, Kolubara basin (Serbia). International Journal of Coal Geology 111, 5-22, 2013*

Прилог 4

Графички прикази

Слика 1 Основне геотектонске и металогенетске јединице Србије (модификовано после Димитријевића, 2000; Schmidt и др. 2008) CBMP – Карпатско-балканска металогенетска провинција, DcMP - Дачијска металогенетска провинција, DMP - Динарска металогенетска провинција, SMMP - Српско-македонска металогенетска провинција.

Слика 2 Просечна структура грађевинског отпада

Слика 3 Шематски приказ процеса ресиклаже грађевинског отпада

Слика 4 Мобилно постројење за рециклажу бетона

Слика 5 Геолошка карта Београда са положајем постојећих каменолома агрегата и пешчаре (по Основној геолошкој карти СФРЈ, листови Београд, Панчево, Обреновац, Смедерево и Крагујевац)

Слика 6 Потрошња агрегата у Београду

Слика 7 Пuteви снабдевања агрегатима за град Београд: Круг сиве боје - У радијусу 100 км од центра Београда. Плаве елипсе и стрелице указују на изворе агрегата из реке, при чему је корито Дунава најважније за снабдевање Београда агрегатима

Слика 8 Машина за испитивање отпорности на дробљење методом Лос Анђелес

Слика 9 Машина за испитивање отпорности на хабање микро-Deval

Слика 10 Помично кљунасто мерило

Слика 11 Заостали агрегат узорка на сити

Слика 12 распоред узорковања надепонији Винча-Google earth based

Слика 13 Процес дробљења

Слика 14 Узорковани материјал

Слика 15 Приказ испоручених количина по месецима грађевинског отпада

Слика 16 Рециклиран инертни грађевински отпад на локацији Винча

Слика 17 Дробилица грађевинског отпада у Винчи, 2023.

Слика 18 Поглед на постројење одозго, 2023

Слика 19 Расподела величине зрна у три анализирана узорка приказана у табели 3; Легенда: Узорак #1—шифра узорка Г-499/22; Узорак #2—шифра узорка Г-500/22; Узорак #3—узорак код Г- 501/22

Слика 20 Резултати Прокторовог теста у рециклираном агрегату: сува густина у функцији садржаја влаге, у узорку #3 (шифра узорка Г-0501/22, видети табелу 20). Примењена механичка енергија у тесту (за згушњавање земљишта уклањањем ваздуха у шупљинама и преуређивањем честица земљишта): 2,75 MJ/m³.

Слика 21 Хистограм апсорпције воде (WA₂₄) средње вредности рециклираног агрегата (фракција 4/8 мм узорка 1–5) у поређењу са средњом вредношћу природних агрегата.

Слика 22 Хистограм отпорности на абразију (ЛА) и микро-Девал коефицијента (МДЕ) средње вредности рециклираног агрегата (узорак 1–5) у поређењу са средњом вредношћу за природне агрегате.

Слика 23 Средње вредности индекса ломљивости хистограма (CCTM) рециклираног агрегата (узорак 1–5) у поређењу са средњом вредношћу CCTM за природне агрегате.

Прилог 5

Табеларни прикази

Табела 1 - Физичке и механичке карактеристике Лежиште Стражевица

Табела 2 - Физичке и механичке карактеристике Лежиште Бели Камен

Табела 3 - Хемијске карактеристике Лежиште Влашко брдо

Табела 4 - Физичке карактеристике Лежиште Врановац

Табела 5 - Физичке карактеристике Лежиште Пречица

Табела 6 - Минералошко петрографски састав Лежиште Тамнава I

Табела 7 – Друге локације

Табела 8 - Хемијски састав лапорца „Влашко Брдо”

Табела 9 - Хемијски састав лапорца „Остружница

Табела 10 - типичне употребе рециклираног грађевинског отпада

Табела 11- Производња природног дробљеног агрегата у Београду

Табела 12- Квалитет кречњака са територије Београда

Табела 13-карактеристике агрегата из лежишта Плочник

Табела 14.-упоредна својства из 4 реке

Табела 15-Лежишта агрегата Београд

Табела 16 – Карактеристике Имапктора 250

Табела 17 Гранулометријска анализа дробљених узорака

Табела 18 Анализа специфичних параметара дробљених узорака

Табела 19. Анализе узорака ЦДВ третираних у новом рециклажном објекту у Винчи (СРБ)

Табела 20. Резултати испитивања на узорку бр. 3 (шифра узорка Г-0501/22).