

Циркуларна економија, практики и употреба на индустриски отпад како секундарна сировина во изградба на патишта



З.Ѓорѓиевски¹, З.Илијевски², Ѓ.Гошев³, Д.Роџожарева-Сџаврева⁴, Т.Димишрова – Филкоска⁵

¹ГИ"Македонија" АД-Скопје, Р.Македонија, e-mail: zoran.gorgievski@gim.mk

²ГИ"Македонија" АД-Скопје, Р.Македонија, e-mail: geozlatko@gim.mk

³ГИ"Македонија" АД-Скопје, Р.Македонија, e-mail: gorgi.gosev@gim.mk

⁴ГИ"Македонија" АД-Скопје, Р.Македонија, e-mail: dobriela.rogozareva@gim.com.mk

⁵ГИ"Македонија" АД-Скопје, Р.Македонија, e-mail: tanja.filkoska@gim.com.mk

Апстракт

Република Северна Македонија изобилува со потенцијални секундарни сировини во форма на индустриски отпад, градежен отпад, отпад од рушење, комунален отпад. Како такви, тие претставуваат релативно неистражен потенцијал за пазарот на сировини и би можеле да бидат значаен извор на секундарни сировини што ќе се користат во градежната индустрија. Во рамките на проектот CINDERELA кој вклучува неколку големи демонстрации на градежни работи со производи на секундарни сировини во Словенија, Шпанија и Северна Македонија. Овие предизвици беа дел од пилот проектот кој опфаќа тестирање на црната троска која се добива како нус производ од Електричната лачна печка за топење на отпадно железо во фабриката Макстил во Скопје, Северна Македонија, каде што покрај техничката изводливост беа тестирани и административни можности за нејзино искористување како секундарна сировина за производство на градежни производи во форма на агрегати. Продуктите беа тестирани во пилот Проект за изградба на пристапен пат и паркинг плато. Црната троска прво беше механички обработена со сеење, деметализација, дробење и просејување во материјали за изградба на патишта како агрегат за тампон (фракција од 0-63 mm) и агрегат за асфалтни слоеви (4-8 mm, 8-11 mm, фракции од 11-16 mm и 16-22 mm). Ваквиот агрегат може да се користи и за ревитализација на деградирани области и други примени. Пилот проектот во Скопје во рамките на проектот CINDERELA ја демонстрира употребливоста на индустрискиот отпад како секундарна сировина за градежни материјали и воспоставува добра практика која ќе им помогне на градежните компании да изградат нови бизнис модели на циркуларна економија и ќе ја зголеми одржливоста на градежните работи во Северна Македонија, воопшто.

Клучни зборови

Индустриски отпад, секундарни сировини, реупотреба, циркуларна економија, ревитализација на деградирани подрачја.

Abstract

The Republic of North Macedonia abounds with potential secondary raw materials in the form of industrial waste, construction waste, demolition waste, municipal waste. As such, they represent relatively unexplored raw material market potential and could be a significant source of secondary raw materials to be used in the construction industry. Within the CINDERELA project which includes several large demonstrations of construction works with products of secondary raw materials in Slovenia, Spain and North Macedonia. These challenges were part of the pilot project that includes testing the black slag that is obtained as a by-product from the Electric Arc Furnace for melting scrap iron at the Maxtil factory in Skopje, North Macedonia, where in addition to technical feasibility, administrative possibilities for its use as a secondary raw material for the production of construction products in the form of aggregates were also tested. The products were tested in a pilot project for the construction of an access road and a parking plateau. The black slag was first mechanically processed by sieving, demetallization, crushing and screening into road construction materials as aggregate for sub-base layer (0-63 mm fraction) and asphalt layer aggregate (4-8 mm, 8-11 mm, fractions of 11-16 mm and 16-22 mm). Such aggregate can also be used for the revitalization of degraded areas and other applications. The pilot project in Skopje within the framework of the CINDERELA project demonstrates the usability of industrial waste as a secondary raw material for construction materials and establishes a good practice that will help construction companies to build new circular economy business models and increase the sustainability of construction works in Northern Macedonia, in general.

Key words

Industrial waste, secondary raw materials reuse, circular economy, revitalization of degraded areas.

Главни Цели

Проектот „Нов бизнис модел на циркуларна економија за поодржлива урбана градба - CINDERELA е комплексен истражувачки и иновативен проект, финансиран од европската програма „Хоризонт 2020“, кој има за цел да развие и демонстрира нов бизнис модел на циркуларна економија за поодржлива урбана градба. Секундарните сировини направени од рециклиран отпад може да се користат за производство на различни градежни производи за поодржливи градежни работи (т.е. високоградба или инфраструктура), притоа поврзувајќи различни индустрии, градежни сектори, општински услуги

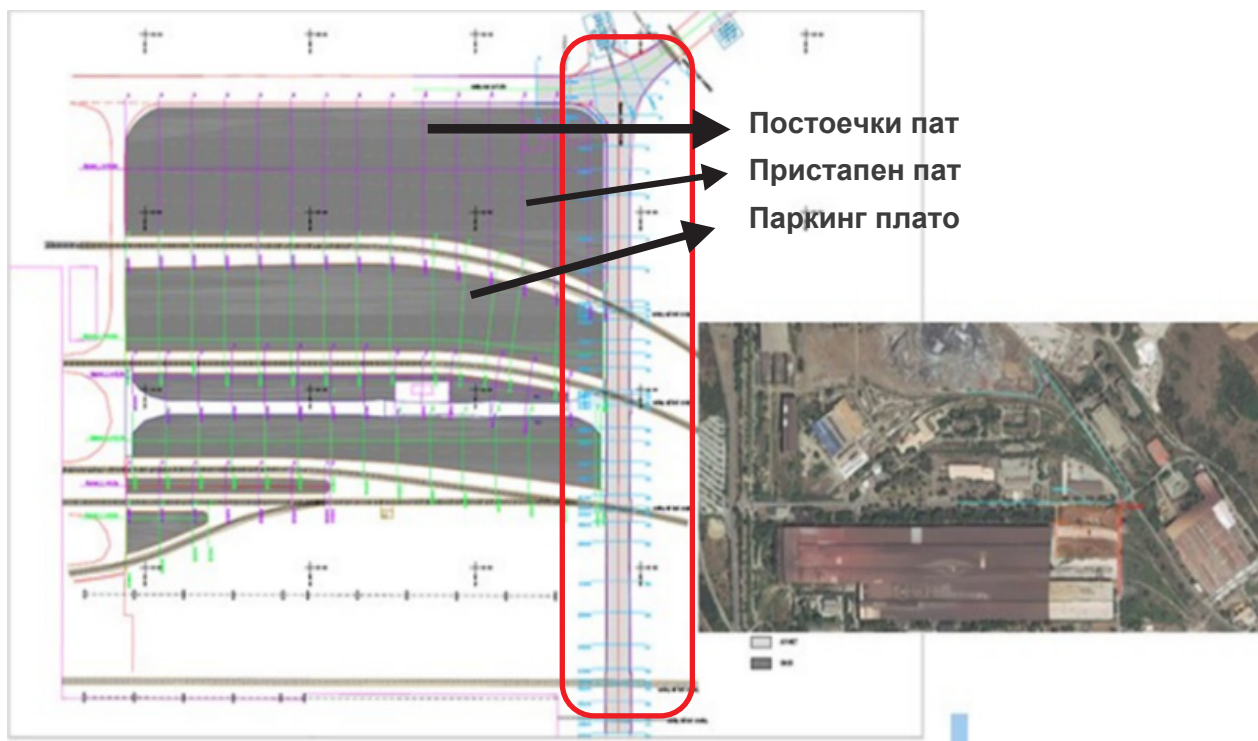
топење на отпадно железо во фабриката Макстил во Скопје, Северна Македонија. Заводот Лабораторија при Градежниот институт МАКЕДОНИЈА АД Скопје беше задолжена за тестирање на агрегат од црна згура, за различни намени (на пр. тампонски слој, асфалтен слој и сл), за проектирање на објектите каде би се имплементирале асфалтните мешавини, како и за лабораториските испитувања на финалните производи. На демо областа, произведениот агрегат за долен носив слој (тампон) и изработениот агрегат за асфалтни мешавини беа искористени за реконструкција на асфалтиран пристапен пат со раскрсница со површина од 1 680 m² и банкини со вкупна површина од 2 150 m² (сл. 1 и сл. 2). Пристапниот пат започнува од раскрсницата со



Слика 1. Локација на изградба на пристапен пат во кругот на фабриката Макстил во Скопје, Северна Македонија. Извор: ГИ "Македонија" АД-Скопје

и засегнати страни (на пр., носители на одлуки, инвеститори, градежна индустрија, менаџери за управување со отпад, општата јавност и сл.). Главната цел на проектот CINDERELA е да им помогне на компаниите да воспостават успешни деловни случаи на циркуларна економија врз основа на можностите на отпадот како ресурс или т.н. Концептот на нула отпад. Една од активностите во проектот CINDERELA беше инсталирање на пилот постројка за механичка преработка на црна згура добиена од печките за

постоечки асфалтен пат долг 167 m и широк 7,2 m. За пилот-патот беа искористени околу 2740 тони агрегат од црна згура. Главната цел на пилот изградбата на патот беше да се демонстрираат техничките, технолошките и административните можности за обработка и користење на различни нештетни материјали од производството на челик и преработка на старо железо, како и некои други видови секундарни сировини) за производство на поодржливи градежни производи.

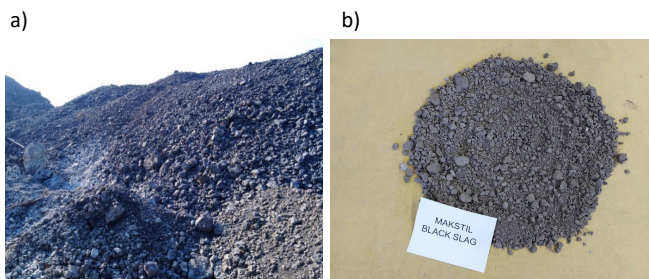


Слика 2. Позиција на пристапниот пат (лево) и птичја перспектива на просторот за демонстрација (десно) во кругот на фабриката Макстил во Скопје, Северна Македонија.
Извор: ГИ "Македонија" АД-Скопје

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН ДЕЛ

2.1 Претходни лабораториски испитувања и споредба на резултати

Лабораториските тестови на произведениот агрегат од црна згура (сл. 3) беа спроведени за да се дефинира употребливоста на материјалот како агрегат за долниот носечки слој (тампон) (примерок CINDERELA SKO-P1) и како агрегат за асфалтни мешавини (CINDERELA SKO-P2).



Слика 3. Црна згура а) депонија Макстил и б) изглед на примерокот од материјалот земен од депонијата.
Извор: ГИ "Македонија" АД-Скопје

2.2 Технички барања за долниот носечки слој - тампон - за изградба на патишта

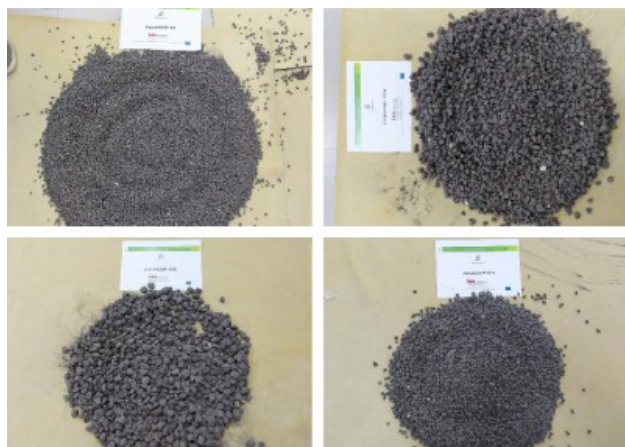
Сите тестови се извршени според важечките стандарди и технички услови на Република Северна Македонија за ваков тип на работа. Сите испитувања кои се направени и се потребни како релевантни се дадени во техничката спецификација издадена од Јавното претпријатие за државни патишта, како и согласно стандардот MKC EN 1744-3:2002 (Тестови за хемиски својства на агрегати – Дел 3: Подготовка на елуати со лужење на агрегати) каде што е дадена постапката како да се подготви елуат со одводнување на агрегатите, а во согласност со стандардот MKS EN 1744-1:2009 + A1:2012 (Тестови за хемиски својства на агрегати – Дел 1: Хемиска анализа), која ја пропишува постапката за испитување на волуменските експанзивни својства на агрегатот од црна згура. Врз основа на потеклото на агрегатот и двата теста се клучни за произведениот агрегат.

Технички барања за долниот носечки слој - тампон - за изградба на патишта

Слично на природниот агрегат, неопходно е

произведениот агрегат претходно да го постигне бараниот гранулометриски состав. За таа цел, откако ќе се обработи црната троска со сеење, дробење и мешање, потребна е дополнително да се просее за да се добијат соодветни фракции кои ќе се користат во производството на асфалт.

За да се користи црна згура како агрегат за асфалтни слоеви, по сеењето и дробењето на материјалот и отстранувањето на металот, во мобилната сеалка се сее материјал во фракции 0/4 mm, 4/8 mm, 8/11,2 mm, 11,2/16 mm и 16/22 mm (сл. 4). Црната троска треба да се одлага и да одлежи најмалку 6 месеци за да се овозможи трансформација на CaO и MgO во постабилни форми и со тоа да се спречи волуменска експанзија на градежниот композит во кој е вградена троската.



Слика 4. Различни фракции од произведениот агрегат од црна згура за асфалтни слоеви. Извор: ГИ "Македонија" АД-Скопје

2.4 ЗЕМАЊЕ НА ПРИМЕРОЦИ И ТЕСТИРАЊЕ

По сеењето на агрегатот од црна згура, се земаа мостри и се извршија следните лабораториски испитувања за употребливост на материјалот како долен носечки слој и агрегат за асфалтни мешавини (табела 1 и табела 2).

Табела 1. Споредени лабораториски тестови за долниот носечки слој (SKO-P1)

Параметар	Добиени резултати за природен агрегат	Добиени резултати за агрегат од црна згура	Национални критериуми	Стандард
Зрна со неправилен облик (wt. %)	28.6 wt. %	4 wt. %	max. 40 %	МКС Б.Б8.047:1961
Кршливи зрна (wt. %)	/	1 wt. %	max. 4 %	МКС Б.Б8.037:1986
Отпорност на мраз (Na ₂ SO ₄) (губиток на маса)	< 8 mm => 2.0 %	< 8 mm => 0.4 %	max. 10 %	МКС Б.Б8.044:1982
-фракција < 8 mm (wt. %)	> 8 mm => 1.2%	> 8 mm => 0.5%	max. 12 %	
-фракција > 8 mm (wt. %)				

Параметар	Добиени резултати за природен агрегат	Добиени резултати за агрегат од црна згура	Национални критериуми	Стандард
Оптимална влажност и максимална запремина (модифициран Прокторов тест)	$Y_d=2.22 \text{ t/m}^3$ $W_{opt} = 5.2 \%$	$Y_d=2.64 \text{ t/m}^3$ $W_{opt} = 3.1 \%$	Декларирана вредност	МКС У.Б1.038:1997
Гранулометриски состав	Се вклопува во граничен појас	Се вклопува во граничен појас	Граничен појас	МКС У.Б1.018:2005
Коефициент на униформност (C_u)	$C_u=80.7$	$C_u=19.3$	min. 15 %	МКС У.Б1.018:2005
Отпорност на дробење (Лос Ангелес)	$La=38.1 \%$	$La=16 \%$	max. 40 %	МКС Б.Б8.045:1978
Калифорниски индекс на носивост (ЦБР)	CBR 2.54 = 88.5 (%) CBR 5.08 = 110.6 (%)	CBR 2.54 = 129.21 (%) CBR 5.08 = 150.80 (%)	min. 80 %	МКС У.Б1.042:1997

Од споредбата на резултатите за природен и произведен агрегат дадена во табела 1, произведениот агрегат од црна згура има подобри физичко – механички карактеристики, како и има поголема волуменска тежина од традиционалните материјали за тампонски слој. Од ова може да се заклучи дека произведениот агрегат од црна згура како материјал во целост ги исполнува пропишаните критериуми како тампонски материјал, но поради неговата голема тежина може да ги зголеми трошоците за транспорт и инсталација. Во фазата на производство, поради кртоста на материјалот, можно е да се појави помал процент на ситна фракција, што го отежнува вградувањето на материјалот. Затоа е неопходно редовно да се контролира производството, а доколку е така, може да се додаде мала количина природна ситнеж за да се подобри неговата вградливост.

Табела 2. Споредени лабораториски тестови на агрегат од црна згура (SKO-P1) и природен агрегат од варовник за асфалтни слоеви

Параметар	Добиени резултати за агрегат од црна згура				Добиени резултати за природен агрегат од варовник				Национални критериуми	Стандард
	4/8 mm	8/11.2 mm	11.2/16 mm	16/22.4 mm	4/8 mm	8/11.2 mm	11.2/16 mm	16/22.4 mm		
Водовпивање (wt. %)	0.9	0.8	0.7	0.7	1.0	0.6	0.5	0.3	Max. 1.2	МКС В.Б8.031:1982
Отпорност на мраз Na_2SO_4 (wt. % губиток на маса)	0.9	0.8	0.6	0.5	1.1	0.7	0.8	0.6	Max. 3	МКС В.Б8.044:1982
Отпорност на дробење (Лос Ангелес, градација Б)	/		16		/		23.2		Max. 25	МКС В.Б8.045:1978
Облик на зрна (wt. %)	6	4	4	3	11.0	10.0	9.7	7.0	Max. 20	МКС В.Б8.048:1984
Прионливост со битумен	100/90				100/90				Min. 100/90	МКС У.М8.096:1987

Од споредбата на резултатите во табела 2, произведениот агрегат од црна згура има подобри параметри за физичко-механичките карактеристики, како и има повисоки отпорностни карактеристики од традиционалниот материјал за асфалтен агрегат. Од ова може да се заклучи дека произведената црна згура како материјал целосно ги задоволува пропишаните критериуми за агрегат за асфалтни мешавини, но поради големата тежина може да ги зголеми трошоците за транспорт и монтажа.

3. ИЗГРАДБА НА ПИЛОТ ОБЈЕКТИ

Со цел да се демонстрира искористеноста на произведената црна згура во различни градежни работи, беа направени две демонстрации со употреба на црна згура и тоа: Демо 3А - Ревитализација на деградирана површина и Демо 3С - изградба на пат. За овој труд ќе се разгледа само Демо 3С.

3.1 ДЕМО 3С - ИЗГРАДБА НА ПАТ

Пристапниот пат се состои од МВ40 готови бетонски рабници во должина од 334 m, околу 25 тони основен бетон и 26 тони МВ20 готови бетонски рабници. Покрај бетонските работи, произведени се околу 218,4 m³ (525 тони) асфалт за пристапниот пат и раскрсницата и се изведени околу 1169 m² долен носив слој (тампон).

Конструкцијата на патот се состои од абечки слој АВ-16 (5 cm), битуминизиран носив слој БНС 22 (8 cm) и долниот носив слој - тампон (35 cm). Пред почетокот на работите, беше потврден квалитетот на составните материјали и беа изработени рецептури за асфалтните мешавини (табела. 3).

Табела 3. Споредба на рецептуриза за асфалт со природен агрегат и со агрегат од црна згура

Асфалтна мешавина	АВ 16s со еруптивен агрегат	АВ 16 со агрегат од црна згура	ВНС 22 А со варовник	ВНС 22 со агрегат од црна згура
Содржина на битумен (%)	5.2	5.1	4.2	4.3
Стабилност (kN)	11.5	11.6	11.2	12.5
Деформација (mm)	3.7	4	3.5	3.3
S/d (kN/mm)	3.1	2.9	3.2	3.8
Запреминска тежина по Маршал AS (t/m ³)	2.425	2.677	2.422	2.687
Специфична тежина за АМ (t/m ³)	2.555	2.827	2.533	2.835
KS/AS (%(v/v))	5.1	5.3	4.4	5.2
Исполнети шуплини (%(v/v))	70.8	71.6	69.5	68.4

Завршените геотехнички истражувања се реализирани согласно Програмата за геотехнички истражувања и испитувања кои ги предвидуваат следните работи:

- Механички ископ на истражни јами со картирање на материјалите,
- Земање репрезентативни примероци од дефинираните слоеви за лабораториски испитувања.

По добиените резултати од лабораториските испитувања, димензионирањето на коловозната конструкција е извршено според стандардот MKS UC4.012/81, за усвоен CBR 8% и средно до тешко 2x10⁶ еквивалентно сообраќајно оптоварување. Врз основа на димензионирањето, усвоена е следната конструкција:

- **АС 16** – асфалт бетон со дебелина на слој од 5 см;
- **BNS 22cA** – битуменски носечки слој со дебелина на слој од 8 см;
- **Тампон** – дробена црна згура 0/63мм со дебелина на слој од 35 см.

4. ДИСКУСИЈА

4.1 ПРЕДНОСТИ НА АГРЕГАТОТ ЗАСНОВАН НА ЦРНА ЗГУРА ЗА ИЗГРАДБА НА ПАТИШТА

Врз основа на извршените лабораториски испитувања и пилот изградбата на патишта е констатирано:

- **Агрегат за тампон** - Од споредбата на резултатите, произведениот агрегат базиран на црна згура има подобри механичко-физички карактеристики, но и поголема волуменска тежина од традиционалниот материјал за изградба на тампонски слоеви. Од ова може да се заклучи дека агрегатот

на база на црна згура како материјал целосно ги задоволува пропишаните критериуми за тампонски материјал.

- **Агрегат за асфалт** - Од споредбата на резултатите, произведениот агрегат врз основа на црна згура има подобри механичко-физички карактеристики, како и има поголема отпорност на абеење од традиционалните материјали за асфалтен агрегат. Од ова може да се заклучи дека произведениот агрегат од црна згура, како материјал целосно ги исполнува пропишаните критериуми за агрегат за асфалт.
- **Асфалтни мешавини** - Споредено со класичните асфалтни мешавини кои се приготвуваат со варовник или базалтен камен во однос на подготвената асфалтна мешавина, во овој труд, т.е. тип БНС 22 со агрегат од варовник-камен 0/4 mm; троска произведен агрегат 4/8 mm; ЕАФ згура произведен агрегат 8/11,2 mm; црна згура произведен агрегат 11,2/16 mm; Агрегат произведен од црна згура 16/22,4 mm (50%) и варовнички агрегат 16/22,4 mm (50%), нема значителни подобрувања во механичко-физичките карактеристики на асфалтот или процентот на врзивно средство (битумен) кое се користи. Слично, за асфалтна смеса тип АВ 16 со варовнички агрегат 0/4mm; произведен агрегат од црна згура 4/8 mm; еаф произведен агрегат од згура 8/11,2 mm и агрегат произведен од црна згура 11,2/16 mm, не се забележани значителни подобрувања во механичко-физичките карактеристики на асфалтот или процентот на употребено врзивно средство (битумен).

4.2 НЕДОСТАТОЦИ НА АГРЕГАТОТ ЗАСНОВАН НА ЦРНА ЗГУРА ЗА ИЗГРАДБА НА ПАТИШТА

- **Агрегат за тампон** – агрегат базиран на црна згура има поголема тежина

од природниот агрегат и може да ги зголеми трошоците за транспорт и инсталација.

- **Агрегат за асфалт** - Поради начинот на ладење на згура има поголем процент на порозни зрна. Порозните зрна апсорбираат поголем процент на битумен, што ја зголемува цената на асфалтната смеса во споредба со асфалтни мешавини со природни агрегати. Многу е тешко да се избераат порозни од цврсти (компактни) камења на лежиштето на црна згура. Црната троска е исто така потешко да се дроби во погоните за преработка за да се добие потребниот гранулометриски состав. Поради хетерогеноста на зрната на агрегатот (порозна наспроти компактната црна згура), исто така е потешко за неискусни инженери да ги програмираат агрегатните проценти во асфалтните мешавини и да ги следат дизајнираните криви на гранулометрискиот состав поради разликите во густината. (порозните зрна од црната троска имаат густина помеѓу 2,45-2,50 t/m³, додека цврстите зрна од троска имаат густина помеѓу 3,50-3,60 t/m³).
- **Асфалтни мешавини** - При изработката на асфалтите забележани се мали оштетувања при производството на асфалтот, како гризење на гумените транспортери во дозерите и мали трошења на сечилата во барабанот за сушење на агрегат (што во поголемо производство веројатно ќе биде поголема и ќе треба честа замена). Исто така, потребно е да се прилагоди ладењето на троската за да се добие компактна форма (со поголеми зрна до 22 mm се јавува поголема порозност и затоа во оваа рецептура, фракцијата од црна згура е заменета со 50% природен агрегат).

нупроизводите (црна згура) добиени при процесот на топење на старо железо во фабриката Макстил, да се модифицира и прилагоди со цел да се зголеми кршливост на материјалот. На тој начин ќе се зголеми количината на ситната фракција и ќе се скрати времето на процесот за постигнување на потребниот гранулометриски состав.

Употребливоста на црна згура за примени во градежништвото е на почетно ниво во Република Северна Македонија. За да се добијат материјали кои ќе бидат поконкурентни на пазарот со помали трошоци за преработка, мора да се внимава на начинот и техниката на ладење на троска.

Користењето на секундарни сировини како градежен материјал е одличен пример како да се намали количината на депониран отпад, да се заштитат примарните ресурси, да се обезбеди одржлив економски раст и развој со истовремено намалување на емисиите во животната средина и во исто време да се обезбедат поевтини и побрзи решенија за ревитализација на деградираните области. На овој начин ќе им помогне на градежните компании да ја зголемат својата конкурентност нудејќи поодржливи услуги.

Тековните пилот проекти придонесуваат за развој на знаење и демонстрација на добри практики за искористување на секундарни сировини во градежната индустрија, кои се од суштинско значење за поттикнување на градежните компании да градат циркуларни бизнис модели кои би ја зголемиле нивната конкурентност нудејќи поодржливи услуги.

Иновативноста и уникатноста на проектот е што за прв пат во Северна Македонија се произведени и аплицирани производи засновани на секундарни сировини за ревитализација на деградирани подрачја и рехабилитација на патишта. Додадената вредност на истата е сертификацијата на градежниот производ базиран на секундарни сировини – црна згура, т.е. агрегат за долен носив слој-тампон, од страна на сертификациското тело ГИМ Сертификација. Производот

ЗАКЛУЧОЦИ

Според сите претходно наведени предности и недостатоци, се препорачува во иднина процесот на ладење на

е сертифициран во согласност со стандардот MKC EN 13242 + A1: 2009 година, а градежниот производ е подложен на систем за проценка и верификација на конзистентноста на својствата 2+.

Позитивното влијание врз животната средина ќе стане реалност преку понуда на докажани решенија за намалена употреба на примарните сировини и користење на отпад како секундарни сировини за производство на градежни материјали со додадена вредност. Суштината на одржливиот развој е рационално користење на примарните сировини, со еднаква свест за вредноста на сите материјали во производниот процес и нивното влијание врз животната средина.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. MLADENOVIC, S. HAMLER, N. ZUPANČIČ, 2017: Environmental characterization of sewage sludge/paper ash-based composites in relation to their possible use in civil engineering. Environmental science and pollution research international, 24/1, 1030-1041.
- [2] J. TURK, A. MAUKO PRANJIC, A. MLADENOVIC, Z. COTIČ, P. JURJAVČIČ, 2016: Environmental comparison of two alternative road pavement rehabilitation techniques: cold-in-place-recycling versus traditional reconstruction. Journal of cleaner production, 121, 45-55.
- [3] M. LONCAR, H.A. SLOOT, A. MLADENOVIC, M. ZUPANČIČ, L. KOBAL, P. BUKOVEC, 2016: Study of the leaching behavior of ladle slags by means of leaching tests combined with geochemical modelling and mineralogical investigations. Journal of hazardous materials, 317, 147-157.
- [4] E. ANNUNZIATA, F. TESTA, F. IRALDO, M. FREY: Environmental responsibility in building design, Journal of Cleaner Production 112 (2016), 639-348.
- [5] F. IRALDO, B. NUCCI: Comparative life-cycle assessment of four insulating boards made with natural and recycled materials, Economics and Policy of Energy and the Environment 3(3/2015):71-88 · December 201.



We produce:

asphalt, aggregates for asphalt, aggregates for concrete, material for subbase

company for production, trade and transport
MISA-MG doo export - import Skopje
 str.Pavel Shatev no.3, lam.3 loc.10, 1000 Skopje
 contact: 02 3120 098, contact@misa-mg.mk
 www.misa-mg.mk



members of MISA-MG