

MOGUĆNOST UPOTREBE ZGURE VISOKE PEĆI KAO AGREGATA U BETONU

THE POSSIBILITY OF USING BLAST FURNACE SLAG AS CONCRETE AGGREGATE

Amir DŽANANOVIĆ
Nazim MANIĆ

STRUČNI RAD
PROFESSIONAL PAPER
UDK: 628.477.6
doi: 10.5937/GRMK1803067D

1 UVOD

Problem deponovanja otpadnog industrijskog materijala jedan je od najvećih u većini razvijenijih zemalja svijeta. Problem deponovanja posebno je naglašen ako se uzme u obzir da većina industrijski otpadnih čvrstih materijala zagađuje tlo i/ili vodu, a nerijetko i vazduh. Običan beton obično sadrži oko 12% cementa i 80% masenog agregata. To znači da na globalnom nivou, za proizvodnju betona, potrošimo godišnje od 10 do 11 milijardi tona agregata. Rukovanje, prerada i transport za tako velike količine agregata troše znatne količine energije i negativno utiču na ekologiju [1]. S druge strane, redovni izvori agregata su u velikoj mjeri iscrpljeni dok se u međuvremenu proizvedeni otpad iz industrije značajno širi [2]

Imajući u vidu gore rečeno, upotreba industrijskog otpadnog materijala u građevinske svrhe je posebno značajna. Otpad (npr. zgura, leteći pepeo, blokovi keramike i mermera) igra važnu ulogu u održivom razvoju građevinske industrije [3]. U svijetu se povećava potražnja i interesovanje za agregate iz netradicionalnih izvora kao što su industrijski nusprodukti i reciklirani otpad pri gradnji i rušenju [1]. Mnogi istraživači pokušavaju da prouče GBFS (granulirana zgura visoke peći) u proteklim godinama kako bi procijenili njene osobine i njeno ponašanje [4]. Naravno, neophodno je obezbijediti ekonomski isplativu i ekološki prihvatljivu gradnju.

Gvožđe se ne može pripremiti u visokoj peći bez proizvodnje njegovog suvog proizvoda, tj. zgure visoke peći. Korištenje ovog agregata u betonu zamjenom prirodnih agregata predstavlja obećavajući koncept jer

Amir Džananović, Institut za rađevinarstvo, građevinske materijale i nemetale d.o.o. Tuzla, RBiH
Nazim Manić, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Vuka Karadžića b.b. Novi Pazar, Serbia,
nazimmanic@hotmail.com

1 INTRODUCTION

The problem of waste disposal is one of the greatest in most developed countries in the world. It is especially pronounced considering the fact that most industrial solid waste materials contaminate soil and/or water, often the air as well. Common concrete usually contains about 12 % of cement and 80% of mass aggregate. It means that globally 10-11 billion tons of aggregates are used annually for concrete manufacturing. Operating, processing and transportation of huge quantities of aggregate consume considerable amounts of energy and have negative effect on environment [1]. On the other hand, traditional sources of aggregate are largely exhausted, while the amount of produced industrial waste significantly increases [2].

Bearing in mind the above statements, the use of industrial waste for construction purposes is especially significant. Waste (e.g. slag, fly ash, ceramic and marble blocks) plays a significant role in sustainable development of construction industry [3]. The demand for interest in non-traditional aggregates such as industrial by-products and recycled waste from building and demolition increasingly spreads worldwide [1]. Many researchers studied GBFS (granulated blast furnace slag) in the previous years in order to assess its properties and behaviour [4]. Normally, it is necessary to provide economically profitable and ecologically acceptable construction.

Iron cannot be manufactured in blast furnace without the production of its dry product, i.e. blast furnace slag. The use of this aggregate in concrete by replacing natural aggregates is a promising concept, since the

Amir Džananović, Institute for Civil Engineering, Engineering Materials and Non-metals, d.o.o. Tuzla, Bosnia and Herzegovina
Nazim Manić, State University of Novi Pazar, Vuka Karadžića b.b. Novi Pazar, Serbia,
nazimmanic@hotmail.com

čvrstoća zgure je viša nego u prirodnog agregata [5]. Kako upravo agregat zauzima najveći udio u zapremini betona, primjenom zgure kao agregata znatno bi se više pridonijelo odlaganju tog otpadnog materijala [6].

Nedavno uvedeni evropski standardi za agregate ne prave diskriminaciju između različitih izvora, agregata iz prirodnih, recikliranih ili proizvedenih materijala [1].

U ovom radu razmatrana je mogućnost upotrebe industrijskog otpadnog materijala koji nastaje u procesu industrijske proizvodnje sirovog željeza u Zenici, R BiH.

Metalurška zgura (šljaka) sporedni je proizvod nastao u termičkom procesu dobijanja sirovog željeza i čelika. Po izgledu, načinu hlađenja i mineralogiji, zgura je slična magmi iz koje su nastale silikatne eruptivne stijene kao što su bazalt, dijabaz, andezit, dacit, sijenit i druge, koje su cijenjen materijal u građevinarstvu.

Zgura odložena nedaleko od željezare u Zenici zauzima ogromnu površinu a pretpostavlja se da je u periodu od 1956. do 1992. godine na deponiji Rača odloženo cca 9.336.000 m³ materijala ili oko 19 miliona tona, i to: zgura s prirodnim ili brzim hlađenjem sa sadržajem metalne supstance (berne), vatrostalni materijali, pepeo i šljaka, livački pijesak i drugi otpadni materijali iz tehnoloških procesa metalurškog kompleksa. Količine deponovanog otpadnog materijala, zgure, velike su s tendencijom brzog porasta. Tako, u željezari Arcelomittala Zenica u 2011. godini bilo je 185.000 tona otpadne zgure za preradu, dok se u narednim godinama pretpostavlja porast na 239.800 tona na godišnjem nivou.

U ovom radu razmatrana je mogućnost upotrebe visokopečne zgure kao agregata u betonu. Prikazani su rezultati ispitivanja zgure shodno evropskim propisima EN 12620:2002+A1:2008, a neke karakteristike zgure poređene su s prirodnim agregatima.

2 PROCES DOBIJANJA ZGURE

Kao što je već rečeno, metalurška zgura (šljaka) sporedni je proizvod nastao u procesu dobijanja sirovog željeza. U procesu proizvodnje sirovog željeza, sirovine (rude željeza, koks, krečnjak) kontinuirano se ubacuju kroz vrh visoke peći, a sirovo željezo i zgura se vade s dna. Naglim hlađenjem tekuće zgure koja pliva na rastaljenom željezu ona se granulira u zrna klinkerskog oblika. Tečna zgura iz peći direktno ulazi u granulacijsku komoru u mlaz vode. Tu se izvrši granuliranje zgure. Granulirana zgura i voda odlaze u bazen za zguru. Iz bazena granulirana zgura se transportuje do potrošača.

strength of slag is higher in comparison with natural aggregate [5]. Since aggregate has the greatest part in concrete volume, the use of slag as aggregate would more significantly help depositing this waste material [6]. The recently introduced European standards for aggregates ceased to discriminate various sources of aggregates as natural, recycled or produced [1].

This paper discusses the possibility of using industrial waste produced in base iron manufacturing in Zenica, Bosnia and Herzegovina.

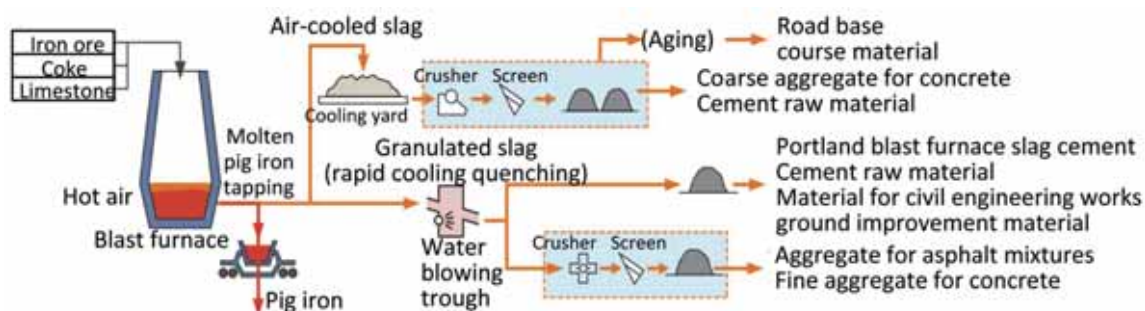
Metallurgical slag is a by-product obtained in the process of base iron and steel manufacturing. In its appearance, mode of cooling and mineralogy, slag is similar to magma, from which silicate eruptive rocks originate such as basalt, diabase, andesite, dacite, syenite etc. which are appreciated materials in construction.

The slag, deposited nearby Iron Works in Zenica occupies a large area; it is supposed that 9,226,000 m³ or about 19 million tons of material were deposited in landfill Rača in the period 1956-1992, including slag with natural and sudden cooling with the content of metal substance, fireproof materials, ash, slag, casting sand and other waste materials obtained in technological processes in the metallurgical complex. Thus in Iron Works Arceromittal Zenica, 185,000 tons of waste slag were processed in 2011, while in coming years the annual increase of 239,800 tons is assumed.

This paper considers the possibility of using blast furnace slag as concrete aggregate. The presented results of investigation are in accordance with European standards EN 12620:2002+A1:2008, and some characteristics of slag are compared to natural aggregates.

2 THE PROCESS OF OBTAINING SLAG

As it was previously said, metallurgical slag is a by-product obtained by manufacturing base iron. In the process of base iron manufacturing, the raw materials (iron ore, coke, and limestone) are continually inserted through the blast-furnace top, while base iron and slag are removed from the bottom. By sudden cooling, liquid slag that floats in melted iron granulates into clinker-shaped grains. From the blast furnace, liquid slag directly enters granulation chamber, under sprayed water where slag granulation is carried out. Granulated slag and water are removed to slag pool. From the pool, granulated slag is transported to customers.



Slika 1. Proces proizvodnje zgure visoke peći [7]
Figure 1. Manufacturing process of blast furnace slag [7]

Postoje dva oblika zgure: bazična i kisela. Bazična zgura sadrži najmanje 50% bazičnih oksida CaO i Al₂O₃ a ostatak je najvećim dijelom SiO₂. Kisela zgura sadrži znatno manje od 50% bazičnih oksida CaO i Al₂O₃ a prevladava SiO₂. Zgura visoke peći bogata vapnom (bazična zgura), upotrebljava se u proizvodnji cementa.

3 UPOTREBA ZGURE U SVIJETU

Upotreba zgure u razne namjene počinje još od davnina. Danas se skoro u svim zemljama u svijetu zgura koristi kao dodatak – punilo u cementu.

S druge strane, visoka gustoća visokopećne zgure karakterizira je kao jako pogodan materijal za hidrotehničke objekte. Naime, u Njemačkoj i Nizozemskoj oko 400 000 tona visokopećne zgure godišnje bude upotrijebljeno kao materijal za oblaganje pokosa. Osim toga, zgura je odlična za regulacije erodiranih vodotoka.

S obzirom na činjenicu da svojstva zgure zavise od njenog porijekla, mogućnost upotrebe domaće zgure kao agregata u betonu trebalo je potvrditi nizom ispitivanja [8].

Jedno od novijih područja primjene zgure jeste i njena upotreba kao agregata u betonu. Shodno postojećim podacima, upotreba zgure za beton je potpuno opravdana. Pojedine su zemlje, kao što je npr. Japan, u tome toliko daleko otišle da imaju i normu za primjenu zgure kao agregata u betonu. Kada su u pitanju evropske zemlje koje primjenjuju evropske propise, tada se ocjena karakteristika zgure pravi shodno odredbama standarda za agregat EN 12620:2002+A1:2008 – Agregati za beton, ili EN 13450:2003 – Agregati za željeznički tucanik, ili EN 13242:2002 – Agregati za nevezane i hidrauličkim vezivom vezane materijale za primjenu u građevinarstvu i u kolničkim konstrukcijama i tako dalje. Beton koji bi se spradio sa zgurom kao agregatom bio bi znatno teži od betona napravljenog s prirodnim agregatom, a samim tim stvara se mogućnost za široku upotrebu tako napravljenog betona.

U gradnji puteva, zgura se često koristi kao materijal za stabilizaciju tla. Osim u površinskim slojevima tla, granulirana visokopećna zgura uspješno je primijenjena i kao vezivo pri stabilizaciji dubljih slojeva tla, u slučaju slabije nosivosti tla na kojem je planirana gradnja inženjerskih građevina. Prema statističkim podacima, jedna od najučestalijih primjena jeste zgura u nevezanim mješavinama za donji ustroj puteva ili kao agregat u asfaltnim mješavinama.

Pored upotrebe zgure u građevinske svrhe danas je veoma česta upotreba zgure kao gnojiva u tlu. Ovo se odnosi na visokopećnu zguuru koja sadrži veliki procenat kalcijum i magnezijum-oksida koji se koristi kao zamjena za kreč. Pored ovdje navedenih primjera moguće upotrebe zgure postoje i druga područja gdje je moguće upotrijebiti zguuru, kao što je prečišćavanje vode, proizvodnja cementnog klinkera ili vraćanje u visoku peć radi ponovnog procesa proizvodnje sirovog željeza.

4 UPOTREBA ZGURE KAO AGREGATA U BETONU

Zgura visoke peći koja se postepeno hladi na vazduhu formira velike i veoma čvrste komade koje je prije svega neophodno samljeti na odgovarajuće frakcije. Mljevenje ove vrste zgure na jako sitnu frakciju (filer) nije ekonomski prihvatljivo jer je materijal jako tvrd. Za proiz-

Two types of slag are known: base and acid. Base slag contains not less than 50% of base oxides CaO and Al₂O₃, while the rest is mostly SiO₂. Acid slag consists of significantly less than 50% of base oxides CaO and Al₂O₃, while SiO₂ prevails. Blast furnace slag rich with lime (base slag) is used in the production of cement.

3 THE USE OF SLAG WORLDWIDE

The use of slag for different purposes began long time ago. Today, slag is used as additive (filler) in cement in all countries worldwide.

On the other hand, high density of blast furnace slag makes it suitable material for hydro-technical structures. Namely, in Germany and the Netherlands about 400,000 tons of blast furnace slag is used as a material for covering slopes. Besides, slag is perfect for regulation of eroded watercourses.

Due to the fact that the characteristics of slag depend on its origins, the possibility of using domestic slag as concrete aggregate should be confirmed by numerous tests [8].

One of the recent domains of application of slag is its use as concrete aggregate. According to the available data, the use of slag as concrete aggregate is completely justified. Certain countries such as Japan advanced in this field so much that they have standards related to application of slag as concrete aggregate. In European countries which apply European standards, the assessment of slag characteristics is made according to the standards for aggregate EN 12620:2002+A1:2008 – Concrete Aggregates or EN 13450:2003 – Aggregate for railway ballast or EN 13242:2002 Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for application in civil engineering, road construction, etc. The concrete manufactured with slag as aggregate would be considerably heavier in comparison with the concrete made of natural aggregates, thus the possibility for wide application of such concrete is promising.

Slag is often used in road construction as a material for stabilisation of soil. Besides surface layers, granulated blast furnace slag is used as a binder at stabilisation of deeper layers, in cases of poor loading capacity of soil where construction is planned. According to statistical data, the slag in unbound mixtures for lower road layers is the most frequent one, or as aggregate in asphalt mixtures.

Besides using slag in civil engineering, it is also often used as soil fertilizer today. This refers to blast furnace slag with great percentage of calcium and magnesium oxides used as a replacement for lime. Besides these examples, slag can be used in other sectors such as purification of water, production of cement clinker or return to blast furnace for re-manufacturing of base iron.

4 THE USE OF SLAG AS CONCRETE AGGREGATE

Blast furnace slag that gradually cools in air forms large and very rigid pieces which should be grinded first into appropriate fractions. Grinding of this slag in very tiny fractions (filler) is not economically acceptable, since the material is very rigid. In cement production, other

vodnju cementa sa zgurom koristi se druga vrsta zgure koja se nakon izlaska iz peći veoma brzo hladi sipanjem vode. Njena granulacija je 0-4 mm, a mljevenjem se može postići željena granulacija. Na slici 1. i 2. prikazani su primjeri zgure koja se postepeno hladi na vazduhu a koja je samljevena na frakcije koje se mogu koristiti za spravljanje betona i postrojenje za separaciju zgure.

Prerada zgure u tehnološkom smislu podrazumijeva:

- Dvostepeno drobljenje;
- Trostepenu magnetnu separaciju;
- Višestepenu prosijavanje;
- Odvojeno deponovanje pojedinih frakcija – agregata;
- Sortiranje izdvojene metalne komponente i odvoz u čeličanu, visoku peć i aglomeraciju.



kind of slag is used, which is cooled suddenly by pouring water. Its granulation is 0-4 mm, and the desired granulation can be obtained by grinding. Figures 1 and 2 show the slag obtained by sudden cooling in air, which is grinded into fractions that can be used for concrete manufacturing and the slag separation plant.

Slag processing in technological sense includes:

- Two-stage grinding
- Three-stage magnet separation
- Multi-stage filtering
- Separate depositing of certain fractions-aggregates
- Classifying separate metal components and transport to steel-works, blast furnace and agglomeration.



Slika 2. Uzorci materijala – frakcije zgure (lijevo) i postrojenje separacije (desno)
Figure 2. Samples of material – slag fractions (left) and separation plant (right)



Slika 3. Uzorci materijala – frakcije zgure (lijevo) i postrojenje separacije (desno)
Figure 3. Samples of material - slag fractions (left) and separation plant (right)

Nakon što je završen tehnološki proces obrade zgure, kao konačni proizvod dobiju su željene frakcije materijala: 0-4, 4-8, 8-16, 16-32, 32-64. Nakon formiranja frakcija od zgure, moguće je ispitati fizičko-meha-

After technological processing of slag, the desired fractions of material are obtained as follows: 0-4, 4-8, 8-16, 16-32, and 32-64. After slag fractions are formed, it is possible to examine their physical-mechanical and

ničke i hemijske osobine zgre i uporediti te osobine sa zahtjevima datim u EN 12620:2002+AA1:2008. Zbog obimnosti rezultata ispitivanja ovdje će biti predstavljena samo ona svojstva koja su posebno važna za spravljanje betonskih uzoraka. Na slici 3. u nastavku prikazane su frakcije zgre granulacije 11,2-16 mm i 16-31,5 mm.

chemical properties and compare the properties with those given in EN 12620:2002+AA1:2008. Due to the extensive range of results of testing, only those that are especially important for concrete sample manufacturing will be presented here. Figure 4 below, shows the slag fraction granulation of 11.2–16 mm and 16-31.5 mm.



Slika 4. Uzorci materijala – frakcije zgre 11,2-16 (lijevo) i frakcije zgre 16-31,5 (desno)
Figure 4. Samples of material - slag fractions 11.2-16 (left) and slag fractions 16-31.5mm (right)

5 REZULTATI ISPITIVANJA FRAKCIJE ZGURE

Jedna od najvažnijih osobina koju je neophodno ispitati jeste granulometrijski sastav zgre shodno standardu EN 933-1 i 933-10. Rezultati ispitivanja granulometrijskog sastava, kao i ostalih osobina dati su u nastavku (Tabela 1. – Granulometrijski prikaz, Tabela 2. – Sadržaj sitnih čestica, Tabela 3. – Los Angeles koeficijent, Tabela 4. – Indeks oblika zrna, Tabela 5. – Gustoća agregata i upijanje vode, Tabela 6. – Sadržaj hlorida i sulfata, Tabela 7. – Ispitivanje radioaktivnosti).

5 RESULTS OF TESTING FRACTIONATED SLAG

One of the most significant properties which is necessary to test is granulometric composition of slag according to the standards EN 933-1 and 933-10. The results of testing granulometric composition and other characteristics are given below (Table 1 Granulometric presentation; Table 2 - Contents of small particles; Table 3 - Los Angeles coefficient; Table 4 - Index of grain shape; Table 5 - Aggregate density and water absorption; Table 6 - Contents of chlorides and sulphates; Table 7 - Testing of radiation)

Tabela 1. Granulometrijski sastav zgre - %
Table 1. Granulometric composition of slag - %

Otvor sita Sieve opening	Frakcije Fractions	0/4 mm	4/8 mm	8/16 mm	16/31,5 mm	8-11,2 mm	11,2-16 mm	16-22,4 mm
	45,0 mm	-	-	-	100	-	-	100
31.5 mm	-	-	-	99	-	-	98	
22.4 mm	-	-	100	70	-	100	70	
16.0 mm	-	-	100	20	100	99	18	
11.2 mm	100	100	91	2	100	68	1	
8.0 mm	99	99	56	1	88	18	-	
4.0 mm	95	62	13	-	30	-	-	
2.0 mm	65	22	-	-	-	-	-	
1.0 mm	23	-	-	-	-	-	-	
0.71mm	12	-	-	-	-	-	-	
0.5 mm	7	-	-	-	-	-	-	
0.25 mm	4	-	-	-	-	-	-	
0.125 mm	3	-	-	-	-	-	-	
0.09 mm	2	-	-	-	-	-	-	
Razred po EN 12620 Category by EN 12620		Gf85	Gc90/15	Gc90/15	Gc85/20	Gc85/20	Gc85/20	Gc85/20

Tabela 2. Sadržaj sitnih čestica (prema EN 933-1)
Table 2. Contents of small particles (by EN 933-1)

Otvor sita Sieve opening	Frakcije Fractions	0/4 mm	4/8 mm	8/16 mm	16/31,5 mm	8-11,2 mm	11,2-16 mm	16-22,4 mm
	Prolaz kroz sito 0,063 mm Passage through sieve 0.063 mm		3,40	2,19	1,21	0,39	2,09	2,45
Razred po EN 12620 Category by EN 12620		f ₄	f ₄	f _{1,5}	f _{1,5}	f ₄	f ₄	f _{1,5}

Tabela 3. Los Angeles koeficijent (prema EN 1097-2)
Table 3. Los Angeles coefficient (by EN 1097-2)

Otvor sita Sieve opening	Frakcije Fractions	0/4 mm	4/8 mm	8/16 mm	16/31,5 mm	8-11,2 mm	11,2-16 mm	16-22,4 mm	Dolomitni agregat Dolomite aggregate
	Los Angeles koef. Los Angeles coeff.		16,73						
Razred po EN 12620 Category by EN 12620		LA ₂₀							LA ₂₅
Napomena / Note		Najviše LA₃₅ za betone opće namjene Most LA₃₅ for general purpose concrete							

Tabela 4. Indeks oblika zrna (prema EN 933-4)
Table 4. Index of grain shape (by EN 933-4)

Otvor sita Sieve opening	Frakcije Fractions	0/4 mm	4/8 mm	8/16 mm	16/31,5 mm	8-11,2 mm	11,2-16 mm	16-22,4 mm
	Indeks oblika zrna Index of grain shape		-	4,489	4,270	0,781	3,576	2,733
Razred po EN 12620 Category by EN 12620		-	SI ₁₅	SI ₁₅	SI ₁₅	SI ₁₅	SI ₁₅	SI ₁₅

Tabela 5. Gustoća agregata od zgre i upijanje vode (prema EN 1097-6)
Table 5. Aggregate density and water absorption (by EN 1097-6)

Otvor sita Sieve opening	Frakcije Fractions	0/4 mm	4/8 mm	8/16 mm	16/31,5 mm	8-11,2 mm	11,2-16 mm	16-22,4 mm	Dolomitni agregat Dolomite aggregate
	Stvarna gustoća čestica agregata Real density of aggregate particles (Mg/m ³)		3.533	3.640	3.641	3.458	3.600	3.577	3.493
Upijanje vode WA ₂₄ Water absorption WA ₂₄		2,513	1,516	1,257	1,136	1,492	1,108	1,171	0,85

Tabela 6. Sadržaj hlorida i sulfata
Table 6. Contents of chlorides and sulphates

Otvor sita Sieve opening	Frakcije Fractions	0/4 mm	4/8 mm	8/16 mm	16/31,5 mm	8-11,2 mm	11,2-16 mm	16-22,4 mm
Sadržaj hlorida (%) Contents of chloride (%)		0.0047						
Prema EN 12620 By EN 12620		ne sadrži hloride (maksimalno 0.06 za armirani beton) No chlorides (maximum 0.06 for reinforced concrete)						
Sadržaj sulfata (%) Contents of sulphates (%)		0.057						
Prema EN 12620 By EN 12620		AS_{1,0} (maksimalno 2% za zguru hladenu na zraku) AS_{1,0} (maximum 2% for air cooled slag)						

Tabela 7. Ispitivanje radioaktivnosti
Table 7. Testing of radiation

Otvor sita Sieve opening	Frakcije Fractions	0/4 mm	4/8 mm	8/16 mm	16/31,5 mm	8-11,2 mm	11,2-16 mm	16-22,4 mm
Radioaktivnost Radioactivity		0,123						
Dopuštena vrijednost Allowed value		1,0						
Mišljenje Opinion		Proizvod nije radioaktivan Product is not radioactive						

Ispitivanje pH vrijednosti zgre nije urađeno iako bi ovaj podatak bio zanimljiv zbog sumnje na korozivno dejstvo zgre na armaturu. Zapreminska postojanost zgre usljed promjene vlažnosti ispitana je prema priručnoj (nenormiranoj) metodi, a rezultati su pokazali da se zapremina zgre nije promjenila.

The testing of slag pH was not carried out, although this datum would be very interesting for doubt about corrosive effect of slag on reinforcement. Volume stability of slag due to the change of humidity was examined by using manual (non-standard) method, and the results showed that slag volume did not change.

6 SPRAVLJANJE UZORAKA BETONA SA AGREGATOM OD ZGURE

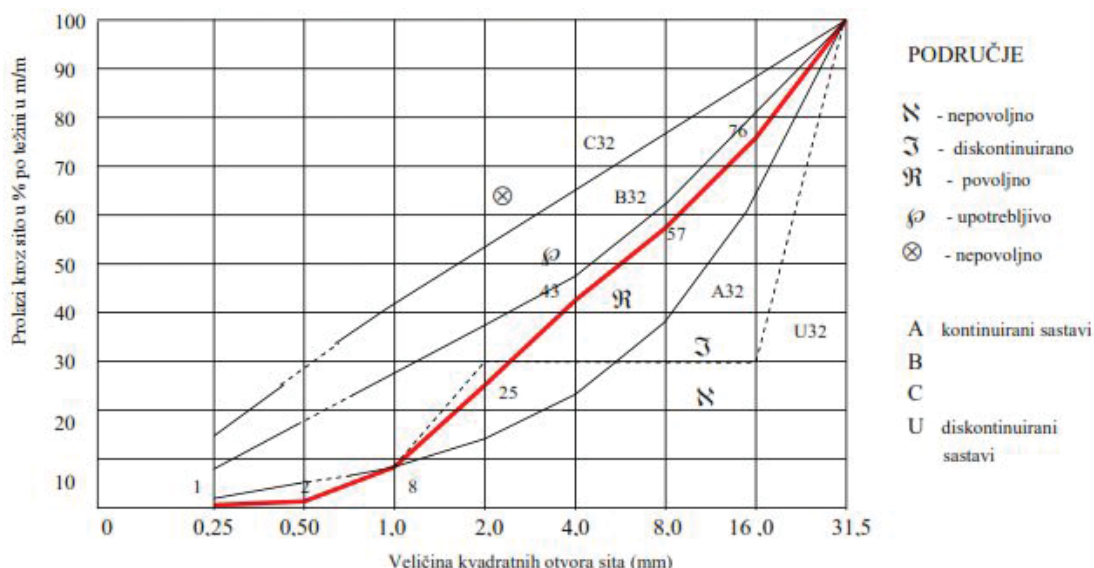
Pored ispitivanja fizičko-mehaničkih i hemijskih karakteristika zgre, autori rada su se odlučili za spravljanje uzoraka betona sa agregatom od zgre kako bi se izvršilo poređenje čvrstoća tako spravljenog betona sa čvrstoćom betona spravljenog od dolomitnog agregata. Na slici 4. data je kumulativna krivulja prosijavanja agregata od zgre.

Kao što se vidi iz prethodno prikazanih ispitivanja granulometrijskog sastava zgre i kumulativne krive prikazane na prethodnoj slici krupne čestice zgre mogu se upotrebljavati kao agregat za beton, s malim problemom frakcije 0-4 mm. U frakciji zgre 0-4 mm javlja se neznatan procenat sitnih čestica, te je teško formirati granulometrijsku krivu između graničnih krivih EMPA i Fuller. Kako bi se ovaj problem riješio, upotrijebljen je dolomitni agregat frakcije 0-4 mm, a kumulativna kriva prosijavanja sa ovim dolomitnim agregatom frakcije 0-4 mm prikazana je na slici 5.

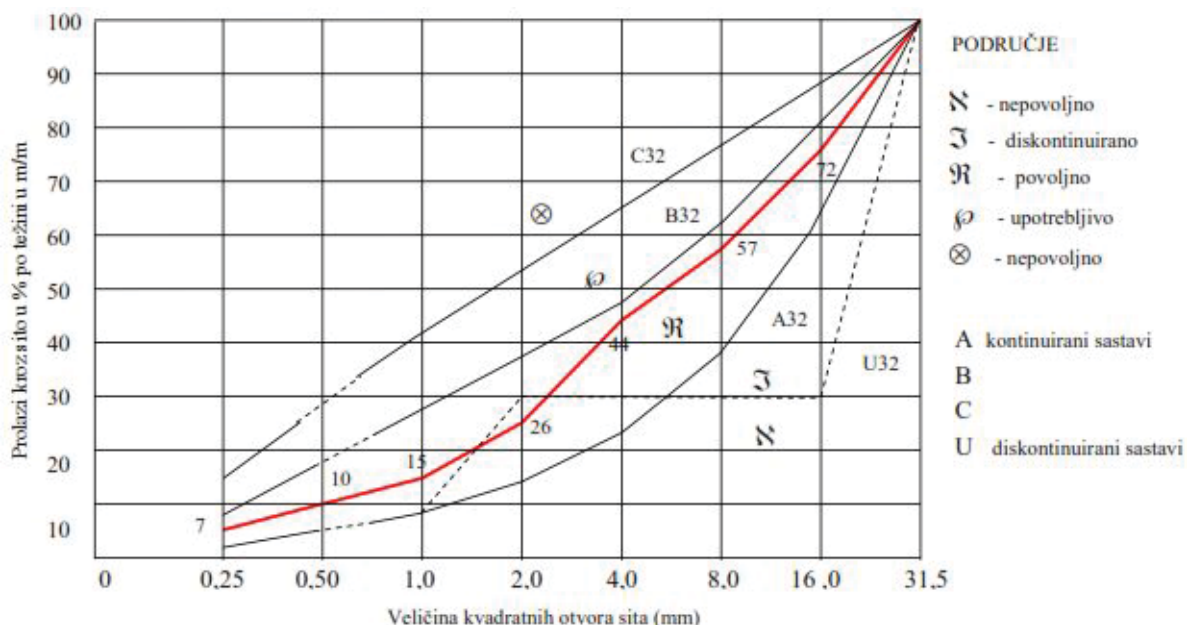
6 PREPARATION OF CONCRETE SAMPLES WITH SLAG AGGREGATE

In addition to testing physical-mechanical and chemical properties of slag, the authors of the paper decided to prepare concrete samples with slag aggregate in order to compare the strength of slag aggregate concrete with the strength of dolomite aggregate concrete. Figure 5 shows cumulative curve of sieving slag aggregate.

As it can be seen from the presented testing of granulometric composition of slag and the cumulative curve shown in the above Figure, large particles of slag can be used for concrete aggregate, with a small problem with fraction 0-4mm. In slag fraction 0-4 mm a slight percentage of tiny particles appear, thus it is difficult to create granulometric curve between boundary curves EMPA and Fuller. In order to solve this problem, dolomite aggregate in fraction 0-4 mm was used, and cumulative curve of sieving with the dolomite aggregate fraction 0-4 mm is shown in Figure 5.



Slika 5. Kumulativna krivulja prosijavanja agregata od zgure (0-4: 35%, 4-8: 12%, 8-16: 18%, 16-32: 35%)
 Figure 5. Cumulative curve of sieving slag aggregate (0-4: 35%, 4-8: 12%, 8-16: 18%, 16-32: 35%)



Slika 6. Kumulativna krivulja prosijavanja agregata
 (dolomitni agregat: 0-4: 35%, agregat od zgure: 4-8: 12%, 8-16: 18%, 16-32: 35%)

Figure 6. Cumulative curve of sieving aggregates
 (Dolomite aggregate: 0-4: 35%, slag aggregate: 4-8: 12%, 8-16: 18%, 16-32: 35%)

Znači, napravljeni su uzorci betonskih kocki s dvije recepture (Tabela 8):

1. Receptura I sa četiri frakcije agregata od zgure (iako ne uklapaju u granične krive EMPA i Fuller);
2. Receptura II s tri frakcije agregata od zgure i jednom frakcijom dolomitnog agregata.

This means that the samples of concrete cubes are prepared following two recipes (Table 8):

1. Recipe I with four fractions of slag aggregate (although they do not fit into boundary curves EMPA and Fuller)
2. Recipe II with three fractions of slag aggregate and one fraction of dolomite aggregate

Tabela 8. Sastav betonskih mješavina
Table 8. Composition of concrete mixes

Mješavina Mix	v/c	Voda Water (l)	Cement Cement (kg)	Agregat (kg) Aggregate (kg)				
				dolomitni agregat dolomite aggregate 0-4 mm	zgura slag 0-4 mm	zgura slag 4-8 mm	zgura slag 8-16 mm	zgura slag 16-32 mm
Receptura I Recipe I	0,62	205	330	-	753	258	387	753
Receptura II Recipe II	0,62	205	330	753	-	258	387	753

Za svaku nevedenu recepturu napravljeno je po pet ispitnih uzoraka. Dva uzorka su ispitana nakon sedam dana, a preostala tri nakon 28 dana. Kasniji prirast čvrstoće betona nije kontrolisan.

Upotrijebljena količina cementa od 330 kg/m³ dovoljna je kako bi se dobio beton čija čvrstoća odgovara klasi betona C25/30 kada se upotrebljavaju sve četiri frakcije od dolomitnog agregata. Za spravljanje betonskih uzoraka korišten je cement iz Lukavca (CEM II/B-M (V-W) 42,5N). Hemijski sastav upotrijebljenog cementa dat je u tabeli 9.

Five test samples were done for each recipe. Two samples were tested after 7 days, while the remaining 3 after 28 days. Further increase of concrete strength was not tested later.

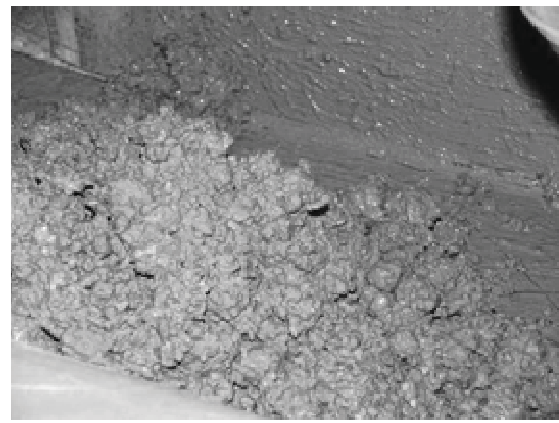
The used amount of 330 kg/m³ of cement was sufficient for preparation of concrete with strength that corresponded to class C25/30 concrete, when all four fractions of dolomite aggregate were used. The cement from Lukavac (CEM II/B-M (V-W) 42.5N) was used for preparation of concrete samples. Chemical composition of the obtained cement is shown in Table 9.

Tabela 9. Hemijski sastav cementa iz cementare Lukavac – CEM II/B-M(V-W) 42,5N (prema EN 196-2)
Table 9. Chemical composition of cement from cement plant Lukavac – CEM II/B-M (V-W) 42.5N (by EN 196-2)

Ispitana osobina The tested property	Ispitna metoda Testing method	Rezultati ispitivanja Results of testing (%)
Gubitak žarenjem The loss by annealing	EN 196-2, tačka 7 / chapter 7	2,25
Nerastvorivi ostatak u HCl i Na ₂ CO ₃ Insoluble residue in HCl and Na ₂ CO ₃	EN 196-2, tačka 9 / chapter 9	10,07
SiO ₂	EN 196-2, tačka 13.6 / chapter 13.6	25,87
CaO	EN 196-2, tačka 13.14 / chapter 13.14	53,49
MgO	EN 196-2, tačka 13.15 / chapter 13.15	1,99
Fe ₂ O ₃	EN 196-2, tačka 13.10 / chapter 13.10	4,02
Al ₂ O ₃	EN 196-2, tačka 13.11 / chapter 13.11	2,20
SO ₃	EN 196-2, tačka 8 / chapter 8	1,87
Cl	EN 196-2, tačka 14 / chapter 14	0,0053
Na ₂ O ₃	-	0,219
K ₂ O	-	0,612

Važno je napomenuti da se prilikom izrade recepture i sa sve četiri frakcije od zgure javlja značajno slijevanje uzoraka, do 20 mm i da je ugradljivost betona u čelične uzorke otežana. S druge strane, upotrebom dolomitnog agregata, slijevanje se smanjuje a ugradljivost je poboljšana. Na slici 6. prikazan je postupak pripremanja uzoraka betona. Kao što se vidi na slici 6. pripremljene su kocke 15x15x15 cm.

It should be mentioned that during preparation of recipe, significant slump, up to 20 mm, occurred when all four slag fractions were used, thus workability of concrete in steel samples was hard to achieve. On the other hand, the use of dolomite aggregate reduced slump and workability improved. Figure 6 shows the procedure of concrete sample preparation. As it can be seen in Figure 6, the cubes 15x15x15cm were prepared.



Slika 7. Priprema uzoraka betona
Figure 7. Preparation of concrete samples



Slika 8. Priprema uzoraka betona
Figure 8. Preparation of concrete samples

Nakon propisnog spravljanja i njegovanja uzoraka izvršeno je ispitivanje, a rezultati ispitivanja dati su tabelarno u nastavku (Tabela 10. – Rezultati ispitivanja betonskih uzoraka kocki 15x15x15 cm – Receptura I, Tabela 11. – Rezultati ispitivanja betonskih uzoraka kocki 15x15x15 cm – Receptura II).

Testing was carried out after proper manufacturing and maintaining samples, and the results are shown in table below (Table 10 – Test results for concrete cube samples 15x15x15cm – Recipe I, Table 11 – Test results for concrete cube samples 15x15x15cm – Recipe II)

Tabela 10. Rezultati ispitivanja betonskih uzoraka kocki 15x15x15 cm – RECEPTURA I
Table 10. Test results for concrete cube samples 15x15x15cm – RECIPE I

Oznaka betonskog tijela Code of concrete cubes	Težina Weight (kg)	Zapr. masa Volume mass (kg/m ³)	Dimenzije (cm) Dimensions (cm)			Površina Area (m ²)	Sila Force (kN)	Čvrstoća 7 dana Strength 7 days (MPa)	Čvrstoća 28 dana Strength 28 days (MPa)
			a	b	c				
K-1	9,652	2860	15	15	15	0,0225	517,50	23,00	-
K-2	10,058	2980	15	15	15	0,0225	630,00	28,00	-
K-3	9,754	2890	15	15	15	0,0225	866,25	-	38,50
K-4	9,889	2930	15	15	15	0,0225	911,25	-	40,50
K-5	9,889	2930	15	15	15	0,0225	888,75	-	39,50
PROSJEČNO / AVERAGE								25,50	39,50

Tabela 11. Rezultati ispitivanja betonskih uzoraka kocki 15x15x15 cm – RECEPTURA II
Table 11. Test results for concrete cube samples 15x15x15 cm – RECIPE II

Oznaka betonskog tijela Code of concrete cubes	Težina Weight (kg)	Zapr. masa Volume mass (kg/m ³)	Dimenzije (cm) Dimensions (cm)			Površina Area (m ²)	Sila Force (kN)	Čvrstoća 7 dana Strength 7 days (MPa)	Čvrstoća 28 dana Strength 28 days (MPa)
			a	b	c				
K-6	9,180	2720	15	15	15	0,0225	506,25	22,50	-
K-7	9,315	2760	15	15	15	0,0225	472,50	21,00	-
K-8	9,281	2750	15	15	15	0,0225	798,75	-	35,50
K-9	9,754	2890	15	15	15	0,0225	843,75	-	37,50
K-10	9,450	2800	15	15	15	0,0225	821,25	-	36,50
PROSJEČNO / AVERAGE								21,75	36,50

7 ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata dobijenih prilikom ispitivanja uzoraka betona spravljenih sa zgurom iz željezare Zenica, a imajući u vidu kratak period ispitivanja i ograničena sredstva, ustanovljeno je sljedeće:

- Fizičko-mehaničke karakteristike zgure zadovoljavaju uslove definisane u evropskim normama za ovu vrstu materijala, naročito kada je u pitanju krupna frakcija zgure. Važno je napomenuti da materijal nije štetan za okolinu ili ljudsko zdravlje.

- Radioaktivnost zgure, promjena zapremine, procenat hlorida ili sulfata u dozvoljenim je granicama.

- Pripremljeni uzorci betona dali su vrijednosti čvrstoće na pritisak koje odgovaraju klasi betona oznake C25/30. Važno je napomenuti da se radi o betonu čija je zapreminska masa znatno veća od betona koji je napravljen sa dolomitnim agregatom. Zbog toga, betoni napravljeni sa agregatom od zgure najviše primjene nalaze kod hidrotehničkih objekata, kod temelja objekata, kod potpornih zidova i na drugim mjestima gdje je poželjna veća zapreminska masa betona.

- S obzirom da je zgura materijal koji ima povećanu otpornost na habanje poželjna je upotreba ovog materijala kao agregata za beton za saobraćajne površine.

- Zgura visoke peći se može koristiti kao agregat za betone koji su otporni na visoke temperature.

- Ugradljivost betona napravljenog od agregata od zgure otežana je, a slijeganje je povećano. Ovi problemi se mogu jednostavno riješiti dodavanjem aditiva za beton, kako bi se povećala ugradljivost, a samim tim smanjilo slijeganje.

- Kao što se vidi na krivuljama prosijavanja, ovom agregatu od zgure nedostaje sitna frakcija (fileri), nedostaje frakcija između 0 i 0,25 mm što može proizvesti niz negativnih posljedica po beton. Ove posljedice mogu biti loša ugradljivost, veća vodopropustljivost i slično.

Na kraju, sa sigurnošću tvrdimo da je moguća upotreba agregata od zgure za spravljanje betona kao građevinskog materijala. Naročito se preporučuje upotreba ovog materijala u izgradnji temeljnih konstrukcija, potpornih zidova, zaštiti kosina, regulaciji vodotoka i tako dalje, jer je zapreminska masa ovako

7 CONCLUSIONS

Based on the results obtained by testing slag concrete samples obtained from Iron Works Zenica, and bearing in mind a short period of investigation and limited finances, the following was found:

- Physical-chemical properties of slag fulfil the conditions defined by European standards for this kind of material, especially related to larger slag fractions. It is important to notify that the material is harmless for human health and environment.

- Radioactivity of slag, change of volume, percentage of chlorides or sulphates is within permissive boundaries.

- The prepared concrete samples have values of strength under pressure that correspond to the concrete category C25/30. It should be noted that this concrete has considerably larger mass in comparison with concrete manufactured with dolomite aggregate. Therefore slag aggregate concrete is mostly used for hydro-technical structures, structure foundations, sustaining walls and other places where larger volume of concrete mass is desirable.

- Since slag is a material with strong abrasive resistance, the use of this material as concrete aggregate for traffic surfaces is desirable.

- Blast furnace slag can be used for concrete that is resistant to high temperatures.

- Workability of concrete manufactured from slag aggregate is hard to achieve, and the slump increases. These problems can be solved easily by adding additives for concrete in order to increase its workability, and hence reduce its slump.

- As it can be seen from sieving curves of this slag aggregate, the small fractions (fillers) are missing. This lack of 0-0.25 fractions can cause a series of negative consequences in concrete. The consequences may be poor workability, higher water absorption etc.

Finally, it can be concluded that it is possible to use of slag aggregate for manufacturing concrete as civil engineering material. The use of this material is especially recommended for constructing foundations, sustainable walls, protection of slopes, regulation of watercourses etc., since volume mass of this manufactured concrete is significantly larger in comparison

spravljenog betona znatno veća od betona s dolomitnim agregatom. Moguća je upotreba i drugih receptura, ali je neophodno dodatno ispitivanje. Upotreba ovog industrijskog nusproizvoda doprinosi očuvanju okoliša i smanjenju upotrebe agregata iz prirodnih izvora.

8 LITERATURA REFERENCES

- [1] Junak J., Stevulova N., Draganovska M.: "Testing concrete samples prepared with different types of industrial wastes", The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING" 22–23 May 2014, Vilnius, Lithuania Conference Paper, 2014.
- [2] Dash, M. K., Patro S.K., Rath A.K.: "Sustainable use of industrial-waste as partial replacement of fine aggregate for preparation of concrete – A review", International Journal of Sustainable Built Environment 5, 2016, 484–516.
- [3] Ulubeyli G.C., Artirb R.: "Sustainability for Blast Furnace Slag: Use of Some Construction Wastes", Procedia - Social and Behavioral Sciences 195, 2015, 2191–2198.

REZIME

MOGUĆNOST UPOTREBE ZGURE VISOKE PEĆI KAO AGREGATA U BETONU

Amir DŽANANOVIĆ
Nazim MANIĆ

Industrijskom proizvodnjom sirovog željeza kao sporedni proizvod dobijaju se velike količine otpadnog industrijskog materijala koji je neophodno deponovati. Dugo vremena otpadni materijal pri proizvodnji sirovog željeza deponovao se bez ikakve prethodne obrade ili selekcije. Na mjestima gdje se deponuje otpadni materijal veoma često bi došlo do zagađenja tla i/ili vode i do trajnog zauzimanja zemljišta, a nerijetko i do stvaranja vještačkih klizišta na mjestu deponovanja.

Iz tog razloga javila se ideja o istraživanju mogućnosti upotrebe industrijskog nusproizvoda pri proizvodnji željeza u građevinske svrhe, odnosno kao agregata u betonu. Kako bi se ustanovila mogućnost upotrebe zgure visoke peći kao agregata u betonu bilo je neophodno ispitati fizičko-mehaničke i hemijske osobine zgure, a nakon toga pripremati uzorke betona.

Eksperimentalno je dokazano da se zgura iz pogona „Željezare“ (Arcelor Mittal) iz Zenice može koristiti kao agregat u betonu, što bi doprinijelo smanjenju količine ove vrste otpadnog materijala, a sačuvao bi se agregat iz prirode koji se obično koristi za spravljanje betona. Korišćenjem zgure za izradu betona smanjila bi se zagađenost prirode, a s druge strane – sačuvali bismo prirodu „nepovređivanjem“, jer bismo koristili manje količine krupnog agregata.

Gljučne riječi: zgura, agregat, beton

with concrete manufactured with dolomite aggregate. Application of other recipes is possible, but additional investigation is necessary. The use of this by-product contributes to the environmental protection process and reduced use of aggregates from natural sources.

- [4] Singha G., Das S., Ahmed A.A., Saha S., Karmakarb S.: "Study of Granulated Blast Furnace Slag as Fine Aggregates in Concrete for Sustainable Infrastructure", Procedia - Social and Behavioral Sciences 195, 2015, 2272–2279.
- [5] Hiraskar K.G., Patil C.: "Use of Blast Furnace Slag Aggregate in Concrete", International Journal Of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 5, May 2013.
- [6] Netinger I., Rukavina J. M., Bjegović D.: „Mogućnost primjene domaće zgure kao agregat u betonu“, GRAĐEVINAR 62, 2010, 1, 169-175.
- [7] Takayuki M., Koichi T., Kenichi A., Sachiko H.: "Production and Use of Blast Furnace Slag Aggregate for Concrete", NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL TECHNICAL REPORT No. 109 JULY, 2015.
- [8] Netinger I., Bjegović D., Varevac D., Morić D.: "Primjena zgure iz čeličana kao agregata u betonu" GRAĐEVINAR 63, 2011, 1, 35-43.

SUMMARY

THE POSSIBILITY OF USING BLAST FURNACE SLAG AS CONCRETE AGGREGATE

Amir DZANANOVIC
Nazim MANIC

Large quantities of material are obtained for waste disposal in industrial production of basic iron. It is a long habit of waste management after industrial production of base iron without previous processing or selection. On the places of waste disposal, the contamination of soil and/or water is evident, and it resulted in permanent land degradation and frequent formation of artificial landslides.

These facts gave birth to the idea to investigate the possibility of using industrial by-products of iron manufacturing for construction purposes, i.e. concrete aggregate. In order to determine the possibility of blast furnace slag as concrete aggregate, it was necessary to examine physical and chemical properties of slag, and thereafter to prepare concrete samples.

The use of slag from "Željezara" Works (Arcelor Mital, Zenica) was experimentally proved as possible concrete aggregate, which could lead to reduction of this waste material, while preserving natural aggregate that was often used in production of concrete. By using slag in concrete production, environmental pollution will be reduced, and on the other hand, nature will remain "untouched", since smaller quantities of natural aggregate will be used.

Key words: slag, aggregate, concrete