

**OCJENA USKLAĐENOSTI SVOJSTAVA GRANULIRANE  
VISOKOPEĆNE TROSKE IZ TVORNICE ARCELORMITTAL ZENICA  
SA ZAHTJEVIMA STANDARDA BAS EN 15167-1**

**ASSESSMENT OF CONFORMITY OF THE ARCELORMITTAL  
ZENICA GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG  
PROPERTIES ACCORDING TO THE STANDARD BAS EN 15167-1  
REQUIREMENT**

**Adnan Mujkanović, Anesa Ključanin, Nevzet Merdić, Marina Jovanović, Amel  
Zahirović, Amna Karić, Azra Halilović  
Metalurško-tehnološki fakultet, Univerzitet u Zenici,  
Zenica, B&H**

**REZIME**

*Granulirana visokopećna troska je nusproizvod u procesu dobivanja gvožđa u visokoj peći. Sastoji se većim dijelom od silikata i odlikuje se hidrauličnim i pucolanskim svojstvima te se koristi kao djelimična zamjena za cement. Standard BAS EN 15167-1(2009): Primjena granulirane troske iz visokih peći za beton, malter i injekcione mase – Dio 1: Definicije, specifikacije i kriteriji usklađenosti, definira zahtjeve za hemijska i fizička svojstva koje troska mora ispuniti da bi se mogla koristiti za ovu namjenu. U radu su predstavljeni rezultati eksperimentalnih ispitivanja granulirane visokopećne troske iz tvornice ArcelorMittal Zenica. Utvrđeno je da ovaj nusproizvod zadovoljava sve kriterije standarda BAS EN 15167-1 te se može koristiti kao mineralni dodatak za cementne kompozite.*

**Ključne riječi:** usklađenost, visokopećna troska, cementni kompoziti, BAS EN 15167-1

**SUMMARY**

*Ground granulated blast-furnace slag is a by-product of iron in blast-furnace. It mainly consists of silicate and possesses both cementitious and pozzolanic properties and it is widely used as a partial cement replacement. The norm BAS EN 15167-1(2009): Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout, specifies the requirements for chemical and physical properties for GGBS to be used as a Type II addition in the production of concrete conforming with the European Standard EN 206-1: Concrete: Specification, performance, production and conformity. This paper provides the results of experimental tests of properties of ground granulated blast furnace slag produced in ArcelorMittal Zenica. It was found that this by-product meets all the criteria of BAS EN 15167-1 and can be used as a mineral admixture for cement composites.*

**Keywords:** conformity, granulated blastfurnace slag, cement composites, BAS EN 15167-1

**1. UVOD**

Intenzivno građenje dovodi do povećane eksploatacije neobnovljivih prirodnih resursa i emitovanja velike količine CO<sub>2</sub>. Zato već duže vrijeme postoji potreba za alternativnim sirovinama i inovativnim tehnikama koji će uspjeti zadovoljiti rastuću potrebu za materijalima za gradnju. Za proizvodnju betona se odavno koriste različiti otpadni materijali ili nusproizvodi

kao zamjena za prirodni agregat ili cement. Standard BAS EN 206 [1] definiše mineralne dodatke kao „fino disperzne materijale koji se koriste u betonu s ciljem poboljšanja određenih svojstava ili postizanja nekih posebnih svojstava“. Prema navedenom standardu razlikuju se dva osnovna tipa mineralnih dodataka za beton:

- gotovo inertni dodaci (tip I) i
- reaktivni (pucolanski ili latentno hidraulični) dodaci (tip II).

Od mineralnih dodataka tipa I koriste se:

- fileri koji zadovoljavaju uvjete standarda BAS EN 12620 [2] i
- pigmenti koji zadovoljavaju uvjete standarda BAS EN 12878 [3].

Dodaci tipa II aktivno doprinose razvoju čvrstoće cementnih kompozita i često se koriste kao djelimična zamjena za cement. To su općenito nusproizvodi visokotemperaturnih industrijskih procesa i u ovu grupu spadaju:

- mljevena granulirana visokopećna troska koja zadovoljava uvjete standarda BAS EN 15167-1 [4],
- leteći pepeo termoelektrana koji zadovoljava uvjete standarda BAS EN 450-1 [5] i
- silikatni prah koji zadovoljava uvjete standarda BAS EN 13263 [6].

Ukoliko su usklađeni s navedenim standardima, ovi materijali se mogu koristiti kao dodaci za betone (direktno miješanje sa ostalim komponentama u tvornicama betona). Pored toga, ovi dodaci se takođe mogu koristiti i kao sastojci kompozitnih portland cemenata (mljevenje i miješanje s klinkerom u tvornicama cementa). Ovakva primjena dozvoljena je ako su svojstva mineralnih dodataka u skladu s kriterijima iz osnovnog Europskog standarda za cement BAS EN 197-1 [7].

Jedan od najcjenjenijih i najviše korištenih mineralnih dodataka za betone i cemente je granulirana visokopećna troska (GVPT). Nastaje pri topljenju željeznih ruda u visokoj peći, a obrazuje se iz jalovinskog dijela željeznih ruda i iz topitelja. Glavne komponente troske su CaO, MgO, SiO<sub>2</sub> i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i čine više od 93 % sastava troske, a ostatak čine FeO, MnO, CaS, itd. Fizikalne karakteristike visokopećne troske kao što su njena gustoća, poroznost i krupnoća zrna, određene su vrstom rude korištene u procesu, načinom naknadne obrade i uvjeta hlađenja. Naime, ako se nastala troska nakon ispuštanja iz peći hladi sporo i na zraku, formira se kristalna struktura, a ta vrsta troske naziva se zrakom hlađena ili kristalna troska. Ukoliko se tekuća troska brzo hladi velikim količinama vode u tzv. granulatoru, nastaju staklaste amorfne granule, koje predstavljaju proizvod pod nazivom granulirana troska. GVPT se odlikuje latentno hidrauličnim svojstvima, odnosno može da stupa u reakcije tek nakon odgovarajuće aktivacije. U cementnim kompozitima aktivator troske je produkt hidratacije cementa kalcijev hidroksid Ca(OH)<sub>2</sub>. Sadržaj staklaste faze i bazicitet se smatraju najvažnijim faktorima koji utiču na reaktivnost troske. Sagledavanje mogućnosti primjene GVPT kao sirovine za proizvodnju mineralnih dodataka za cementne kompozite vrši se na bazi ispitivanja njenih svojstava [8].

Način na koji se GVPT uvodi u betonske mješavine, direktno ili kao komponenta cementa, ne utiče u velikoj mjeri na svojstva betona. Međutim, upotrebom ovih dodataka u tvornicama betona ostvaruju se višestruki povoljni efekti:

- smanjuju se transportni troškovi, jer dodaci mogu da se direktno transportuju do tvornice betona, bez transporta troske ili pepela do tvornice cementa,
- omogućava se znatno fleksibilnija upotreba dodataka i promjena sastava betona u cilju optimiziranja njegovih tehničkih performansi,
- odvojenim mljevenjem GVPT i klinkera postiže se ravnomjerniji stepen usitnjavanja dva materijala (gvpt je tvrdi materijal koji se teže usitnjava) [9].

Na tržištu građevinskih materijala mogu se pronaći cementi s fiksnim sadržajem GVPT. S druge strane, primjenom GVPT moguće je, u skladu s preferiranim karakteristikama betona koristiti mnogo širi spektar udjela GVPT u vezivnoj komponenti, pa se tako preporučuju udjeli:

- 66 - 80% GVPT ako je prioritet sulfatna otpornost i otpornost na dejstvo hloridnih jona,
- 50 - 70% GVPT ako je prioritet smanjenje toplote hidratacije i pojava pukotina u toku očvršćavanja betona,
- 25 - 40% GVPT ako je prioritet izbjegavanje produženog vremena obrade,
- 20 - 40% GVPT ako je prioritet postizanje ranih visokih čvrstoća,
- 80 - 95% GVPT ako je prioritet usporen razvoj čvrstoće,
- 30-40% GVPT ako je prioritet izbjegavanje prekomjernog usporavanja očvršćavanja u hladnim uvjetima [10].

Iako u razvijenim zemljama troska predstavlja vrlo cijenjenu sirovinu za proizvodnju raznovrsnih građevinskih materijala, ona je u našoj zemlji do danas nedovoljno iskorištena. Godišnje tvornica ArcelorMittal Zenica proizvede blizu 500.000 t GVPT. Ukoliko postoje zahtjevi na tržištu za ovom troskom onda se ona koristi kao građevinski materijal. U suprotnom troska se odlaže na industrijsko odlagalište Rača ili se privremeno skladišti u krugu tvornice [11]. Cilj ovog istraživanja je utvrditi da li navedena troska zadovoljava kriterije standarda BAS EN 15167-1, odnosno da li se može koristiti kao mineralni dodatak za betone, maltere i injekcione mase. Na taj način bi se omogućila šira i ekonomičnija primjena ovog vrijednog metalurškog nusproizvoda.

## 2. KRITERIJI STANDARDA EN 15167-1 ZA UPOTREBU GRANULIRANE VISOKOPEČNE TROSKE U BETONU

Standardom BAS EN 15167-1 „Granulirana visokopečna troska za upotrebu u betonima i malterima“ propisane su hemijske i fizičke karakteristike koje troska mora zadovoljavati da bi se koristila kao mineralni dodatak. Definicija GVPT iz standarda je da je to „staklasti materijal dobijen brzim hlađenjem rastopljene troske pogodnog sastava, dobijenog topljenjem željezne rude u visokoj peći, koji se sastoji od najmanje dve trećine mase staklaste troske i posjeduje hidraulična svojstva kada se prikladno aktivira“. GVPT mora sadržavati najmanje dvije trećine masenog udela kalcijevog oksida (CaO), magnezijevog oksida (MgO) i silicijevog dioksida (SiO<sub>2</sub>). Ostatak mora biti aluminijum-oksid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) zajedno s malim količinama drugih spojeva. Odnos mase (CaO + MgO)/(SiO<sub>2</sub>) mora biti veći od 1. Prema ovom standardu GVPT ne smije sadržavati nikakve dodatne sastojke osim sredstava za mljevenje čija ukupna količina ne smije biti veća od 1 % u odnosu na masu GVPT, od čega organski sadržaj tih sredstava za mljevenje ne smije biti veći od 0.2 %. Na taj način se osigurava da sredstva za mljevenje neće doprinijeti koroziji armature ili negativno uticati na svojstva GVPT ili betona. Hemijska svojstva GVPT trebaju biti u skladu sa zahtjevima navedenim u tabeli 1 [4].

Tabela 1. Hemijski zahtjevi za GVPT prema BAS EN 15167-1 [4, 12]

Svojstva	Referentni test	Zahtjevi <sup>a</sup>
Magnezijum-oksid (MgO)	EN 196-2	≤ 18 %
Sulfidi	EN 196-2	≤ 2,0 %
Sulfati	EN 196-2	≤ 2,5 %
Gubitak žarenjem, korigovan za oksidaciju sulfida	EN 196-2	≤ 3,0 %
Hloridi <sup>b</sup>	EN 196-2	≤ 0,1 %
Sadržaj vlage	EN 196-2 (Annex A)	≤ 1,0 %

<sup>a</sup> Zahtjevi se daju po masi GVPT  
<sup>b</sup> GVPT može sadržavati više od 0,1 % hlorida, ali u tom slučaju maksimalni sadržaj hlorida, kao vrednost koja se ne sme prekoračiti, mora biti navedena na pakovanjima ili u dokumentima

Što se tiče fizičkih svojstava, specifična površina određena u skladu sa metodom propustljivosti zraka prema standardu BAS EN 196-6 [13] mora biti veća od 2750 cm<sup>2</sup>/g. Početno vrijeme vezivanja, kada se određuje u skladu sa standardom BAS EN 196-3 [14], mješavine 50 % GVPT i 50 % cementa (tip CEM I, klase čvrstoće 42,5 ili više, minimalna spec. površina po Blaineu 3000 cm<sup>2</sup>/g), ne smije biti više od dva puta duže od početka vremena vezivanja čistog cementa. Indeks aktivnosti se treba izraziti kao odnos (u procentima) čvrstoće na pritisak mješavine sastavljene od 50 mas. % GVPT i 50 mas. % cementa, i čvrstoće na pritisak ispitivanog čistog cementa. Čvrstoća na pritisak se ispituje u skladu sa BAS EN 196-1 [15] na uzorcima sa standardnim pijeskom pri vodovezivnom omjeru 0,5. Indeks aktivnosti za 7 kao i za 28 dana ne smije biti manji od 45% odnosno 70% respektivno [4].

### 3. USKLAĐENOST SVOJSTAVA GVPT IZ TVORNICE ARCELORMITTAL ZENICA SA ZAHTJEVIMA STANDARDA EN 15167-1

Troska je prvo osušena u ventilacionoj sušnici na temperaturi 110 °C, a zatim u kugličnom mlinu samljevena na specifičnu površinu oko 4700 cm<sup>2</sup>/g. Hemijski sastav visokopećne troske je ispitan ispitan je u skladu sa standardom BAS EN 196-2 dok su vrijeme vezivanja i indeks aktivnosti ispitani u skladu sa standardima BAS EN 196-1 i BAS EN 15167-1. Pored toga ispitana je gustoća i specifična površina troske, zatim vrijeme vezivanja i standardna konzistencija smjese sastavljene od istih dijelova troske i cementa tipa CEM I, te savojna i pritiska čvrstoća nakon 2, 7 i 28 dana. Sva navedena ispitivanja izvršena su na institutu IGH Split d.d. U tabeli 2 predstavljeni su rezultati hemijske analize GVPT, a u tabeli 3 rezultati ispitivanja referentnog uzorka (čisti cement CEM I 42,5R) te rezultati smjese sastavljene od 50 % mase cementa i 50 % mase GVPT.

Tabela 2. Hemijska analiza prema standardu BAS EN 196-2:2013

Svojstvo	Rezultat (% mase)
Gubitak žarenjem	0,00
Korigovani gubitak žarenjem	0,26
Sadržaj sulfata, SO <sub>3</sub>	0,41
Sadržaj sulfida, S <sup>2-</sup>	0,64
Sadržaj manganovog oksida, MnO	2,64
Sadržaj ukupnog silicijevog oksida, SiO <sub>2</sub>	41,05
Sadržaj željeznog (III) oksida, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,83
Sadržaj aluminijevog oksida, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,79
Sadržaj kalcijevog oksida, CaO	40,62
Sadržaj magnezijevog oksida, MgO	4,88
Sadržaj hlorida kao Cl <sup>-</sup>	0,003
Sadržaj natrijevog oksida, Na <sub>2</sub> O	0,22
Sadržaj kalijevog oksida, K <sub>2</sub> O	0,82
Ekvivalent natrijevog oksida, Na <sub>2</sub> O	0,76
Sadržaj ugljik (IV) oksida, CO <sub>2</sub>	0,38
Sadržaj vlage, H <sub>2</sub> O	0,04

Tabela 3. Fizička svojstva GVPT

Uzorak	Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	Spec. površ. (cm <sup>2</sup> /g)	Stand. konz. (%)	Početak vezivanja (min)	Postojanost volumena (mm)	Čvrstoća (MPa)			
						Savojna		Pritisna	
						7 dana	28 dana	7 dana	28 dana
CEM I	3,14	3600	26,0	180	-	-	-	41,4	49,3
GTVP	2,90	4700	24,4	235	0,0	5,1	9,2	28,9	51,9

U tabeli 4 dat je uporedni prikaz kriterija u pogledu hemijskog sastava prema standardu BAS EN 15167-1 i rezultata ispitivanja hemijskog sastava, dok su u tabeli 5 predstavljeni kriteriji navedenog standarda i rezultati fizičkih svojstava referentnog uzorka i uzorka sa 50 % mase GVPT.

Tabela 4. Ocjena GVPT iz tvornice ArcelorMittal Zenica u pogledu hemijskog sastava prema standardu BAS EN 15167-1:2006

Svojstvo	Rezultat (% mase)	Zahtjev iz BAS EN 196-2
Magnezijum-oksidi (MgO)	4,88	≤ 18 %
Sulfidi	0,64	≤ 2,0 %
Sulfati	0,41	≤ 2,5 %
Gubitak žarenjem, korigovan za oksidaciju sulfida	0,26	≤ 3,0 %
Hloridi	0,003	≤ 0,1 %
Sadržaj vlage	0,04	≤ 1,0 %
CaO+MgO+SiO <sub>2</sub>	86,55	≥ 66,7%
(CaO + MgO)/(SiO <sub>2</sub> )	1,11	≥ 1,0

Tabela 5. Ocjena GVPT iz tvornice ArcelorMittal Zenica u pogledu fizičkih svojstava prema standardu BAS EN 15167-1

	Spec. površina troske (cm <sup>2</sup> /g)	Početak vremena vezivanja (BAS EN 196-3)	Indeks aktivnosti GVPT (BAS EN 196-1, BAS EN 15167)	
Zahtjev BS EN 15167-1	≥ 2750	Max. dvostruko duži kod u odnosu na čisti cement	7 dana	28 dana
Rezultat	4700	Čisti cement: 180 min 50% GVPT + 50% cement: 235 min	≥45 %	≥ 70 %
			69,8	105,3

Podaci predstavljeni u tabelama 4 i 5 pokazuju da GVPT iz tvornice „ArcelorMittal Zenica“ zadovoljava sve fizičke i hemijske kriterije propisane standardom EN 15167-1.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata ispitivanja može se zaključiti da GVPT iz tvornice ArcelorMittal Zenica zadovoljava sve kriterije standarda BAS EN 15167-1 u pogledu hemijskog sastava. Sadržaji magnezijevog oksida, sulfata, sulfida i hlorida, kao i sadržaj vlage i gubitak žarenjem, su znatno ispod maksimalnih dozvoljenih vrijedosti. Suma masenih procenata silicijevog dioksida, kalcijevog oksida i magnezijevog oksida je za gotovo 20% iznad minimalno propisane vrijednosti. Omjer sume masenih procenata kalcijevog i magnezijevog oksida, sa procentom silicijevog oksida je takođe iznad minimalno dozvoljene vrijednosti od 1,0. Od fizičkih

svojstava standard BAS EN 15167-1 propisuje specifičnu površinu, početak vremena vezivanja te indeks aktivnosti nakon 7 i 28 dana. Specifična površina mljevene GVPT je 4700 cm<sup>2</sup>/g, što premašuje minimalnu dozvoljenu vrijednost od 2500 cm<sup>2</sup>/g. Početak vezivanja smjese sastavljene od 50% mase GVPT i 50% mase cementa tipa CEM I je takođe unutar dozvoljene vrijednosti (dva puta duže od početka vezivanja čistog cementa). Indeksi aktivnosti na 7 i 28 dana visoko premašuju minimalne vrijednosti propisane standardom BAS EN 15167-1, na temelju čega se može konstatovati da je GVPT iz tvornice ArcelorMittal Zenica visokoreaktivni mineralni dodatak za cementne kompozite. Na osnovu izloženog može se zaključiti da je GVPT iz tvornice ArcelorMittal Zenica, samljevena na Blaineovu specifičnu površinu od 4700 cm<sup>2</sup>/g, svojim kvalitetom usklađena sa svim kriterijima relevantnog standarda te da se može koristiti kao mineralni dodatak za betone i maltere i injekcione mase.

## ZAHVALA

*Ovaj rad je rezultat projekta naslova "Razvoj ekološki prihvatljivog betona visokih performansi upotrebom lokalno dostupnih mineralnih dodataka" sufinansiranog od Federalnog ministarstva obrazovanja i nauke. Autori se zahvaljuju Ministarstvu na finansijskoj pomoći.*

## REFERENCE

- [1] BAS EN 206+A1:2018, Beton - Specifikacija, osobine, proizvodnja i usklađenost, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2018.
- [2] BAS EN 12620+A1:2009, Agregati za beton, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2009.
- [3] BAS EN 12878:2015, Pigmenti za bojenje građevinskih materijala baziranih na cementu i/ili kreču - Specifikacije i metode ispitivanja, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2015.
- [4] BAS EN 15167-1:2009, Primjena zrnaste šljake iz visokih peći za beton, malter i injekcione mase – Dio 1: Definicije, specifikacije i kriteriji usklađenosti, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2009.
- [5] BAS EN 450-1:2013, Leteći pepeo za beton - Dio 1: Definicija, specifikacije i kriterij usklađenosti, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2013.
- [6] BAS EN 13263-1+A1:2009, Silikatni prah za beton – Dio 1: Definicije, zahtjevi i kriteriji usklađenosti, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2009.
- [7] BAS EN 197-1:2013, Cement - Dio 1: Sastav, specifikacije i kriteriji usklađenosti cemenata za opću upotrebu, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2013
- [8] Lea, F. M., & Hewlett, P. C. (2004). *Lea's chemistry of cement and concrete*. New York: Elsevier Butterworth-Heinmann.
- [9] M. Oner, A study of intergrinding and separate grinding of blast furnace slag cement, *Cement and Concrete Research* 30 (2000) 473-480
- [10] <https://ukcsma.co.uk/ggbs-concrete/addition-to-concrete>, Cementitious Slag Makers Association, London (april 2021)
- [11] Zahtjev za izdavanje integralne okolišne dozvole za pogone i postrojenja ArcelorMittal Zenica, Zenica, januar 2021, [fmoit.gov.ba](http://fmoit.gov.ba)
- [12] BAS EN 196-2:2014, Metode ispitivanja cementa - Dio 2: Hemijska analiza cementa, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2014.
- [13] BAS EN 196-6:2020, Metode ispitivanja cementa - Dio 6: Određivanje finoće cementa, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2020.
- [14] BAS EN 196-3:2018, Metode ispitivanja cementa – Dio 3: Određivanje vremena vezivanja i postojanosti, za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2018.
- [15] BAS EN 196-1:2018, Metode ispitivanja cementa - Dio 1: Određivanje čvrstoće, za standardizaciju Bosne i Hercegovine, 2018.