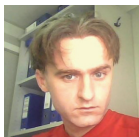


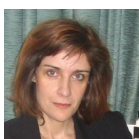
Primljen / Received: 12.4.2011.
 Ispravljen / Corrected: 11.1.2012.
 Prihvaćen / Accepted: 24.1.2012.
 Online / Online: 15.2.2012.

Tlačna čvrstoća stabilizacijskih mješavina od zgure iz čeličana

Autori:



Ivica Androjić, mag.ing.aedif.
 Osijek-Koteks d.d.
ivica.androjić@osijek-koteks.hr



Prof.dr.sc. Sanja Dimter, dipl.ing.građ.
 Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku
 Građevinski fakultet
sdimter@gfos.hr

Prethodno priopćenje

[Ivica Androjić, Sanja Dimter](#)

Tlačna čvrstoća stabilizacijskih mješavina od zgure iz čeličana

U radu su opisana ispitivanja tlačnih čvrstoća stabilizacijskih mješavina sa zgurom iz željezare Sisak i "standardnih" stabilizacijskih mješavina s drobljenim kamenim agregatom iz kamenoloma "Velika". Ispitivanjem se nastojalo utvrditi pogodnost zgure kao agregata u nosivim slojevima kolničkih konstrukcija te utjecaj udjela veziva i granulometrijskog sastava stabilizacijskih mješavina na tlačne čvrstoće. Rezultati tlačnih čvrstoća dobivenih ispitivanjem zadovoljili su stroge kriterije postavljene tehničkim propisima te potvrdile mogućnost primjene zgure u stabiliziranim nosivim slojevima kolničkih konstrukcija.

Ključne riječi:

kolnička konstrukcija, stabilizacijska mješavina, čeličana zgura, tlačna čvrstoća

Preliminary note

[Ivica Androjić, Sanja Dimter](#)

Compressive strength of steel slag stabilized mixes

The compressive strength testing, conducted on stabilisation mixes with steel-furnace slag originating from the Sisak Ironworks, and on "standard" stabilisation mixes with crushed stone aggregate from "Velika" Quarry, is presented in the paper. The testing was made to check whether slag can be used as aggregate in pavement base courses, and to determine in what way compressive strength values are influenced by binder content and grading of stabilisation mixes. Compressive strength results obtained during this testing comply with stringent criteria set in technical regulations, and confirm that slag can be used in stabilized base courses of pavement structures.

Key words:

pavement structure, stabilized mixes, steel slag, compressive strength

Vorherige Mitteilung

[Ivica Androjić, Sanja Dimter](#)

Druckfestigkeit von Stabilisierungsmischungen aus Stahlschlacke

In der Arbeit wird die Prüfung der Druckfestigkeit von Stabilisierungsmischungen aus Stahlschlacke aus der Werft Sisak und „standardmäßige“ Stabilisierungsmechanismen mit gebrochenem Zuschlag aus dem Steinbruch "Velika" beschrieben. Bei der Prüfung, die zufriedenstellend ausgefallen ist, war man bestrebt, die Eignung der Schlacke als Zuschlag in den Tragschichten von Fahrbahnkonstruktionen sowie den Einfluss des Bindemittels und der granulometrischen Zusammensetzung der Stabilisierungsmischungen auf die Druckfestigkeit festzustellen.

Schlüsselwörter:

Fahrbahnkonstruktion, Stabilisierungsmischung, Stahlschlacke, Druckfestigkeit

1. Uvod

Pri izgradnji prometnica uvijek su potrebne velike količine prirodnih materijala. Takav kontinuirani zahtjev za prirodnim materijalima osiromašuje prirodna izvorišta, a troškovi nabave i transporta u područjima koja oskudijevaju kvalitetnim agregatima znatno povećavaju troškove građenja. Otpadni materijali i industrijski nusproizvodi mogu stoga, kao alternativa, imati u cestogradnji višestruko značenje. Radi se o vrstama materijala koji zahtijevaju složeno odlaganje u velikim količinama, te su stoga vrlo štetni za okoliš, dok kao zamjena standardnih materijala ili njihova dopuna imaju, između ostalog, i značajno ekonomsko opravdanje. Njihova upotreba pridonosi racionalnijem rješenju zalih kvalitetnog agregata, a usto povoljno utječe na rješavanje ekoloških problema nastalih odlaganjem otpadnih materijala. Jedan od materijala koji nastaje kao nusproizvod pri pročišćavanju metala, njegovom lijevanju i legiranju, a ima mogućnosti primjene u cestogradnji je zgura. Primjena zgure je u svijetu poznata već dugi niz godina, što znači da su u vezi s tim provedena i brojna istraživanja. Zgura se najviše koristi u asfaltnim mješavinama, iako su njezine dobre karakteristike iskorištene i za primjenu u ostalim slojevima kolničke konstrukcije [1]. Prosječno se u svijetu godišnje proizvede 200 do 240 milijuna tona visokopečne te 115 do 180 milijuna tona zgure, dok se u Europi tog materijala godišnje proizvede oko 12 milijuna tona, od čega se oko 65% zgure i čeličana koristi kao agregat u cestogradnji.

Do sada su u Republici Hrvatskoj provedena istraživanja na području primjene zgure kao agregata u betonu [2, 3] te su u tijeku istraživanja o primjeni zgure kao agregata u asfaltnim mješavinama [1]. Izvedene su pokusne dionice na kojima je zgura ugrađivana u nevezane slojeve kolničkih konstrukcija pristupnih cesta i u bitumenizirane nosive slojeve. Tako stečena iskustva i rezultati laboratorijskih ispitivanja potvrđuju dobra svojstva ovog materijala te ohrabruju nastavak istraživanja.

Teško prometno opterećenje na našim cestama traži izvedbu kolničke konstrukcije koja u svom sastavu ima stabilizirani nosivi sloj. Osim pored povećanja nosivosti kolničke konstrukcije, takvi slojevi su dobra podloga kolničkom zastoru, a povećavaju i otpornost kolničke konstrukcije na štetno djelovanje smrzavice [4]. Stabilizacijske mješavine koje se koriste u izgradnji nosivih slojeva kolničkih konstrukcija su mješavine sastavljene od zrnatih kamenih materijala (šljunak, kamen, pijesak) povezanih cementom.

S obzirom na to da u cijeni stabilizacijske mješavine značajnu ulogu ima cijena kamene mješavine (pijeska, šljunka ili drobljene kamene sitneži) koja premašuje 70%, zamisao ovog ispitivanja bila je smanjiti troškove stabilizacijske mješavine zamjenom "standardne" kamene mješavine drobljenom zgurom iz čeličana mješavine 0/31,5 iz željezare Sisak te tako dobiti ekonomski prihvatljiviju stabilizacijsku mješavinu propisane kvalitete [6]. Zgura iz Željezare Sisak je nusproizvod proizvodnje čelika koji

nastaje tijekom separacije rastopljenog čelika od nečistoća u pećima za njegovu proizvodnju. Nečistoće su ugljikov monoksid te silicij, mangan, fosfor i nešto željeza u obliku tekućeg oksida. Pomiješane s vapnom i dolomitnim vapnom, te nečistoće stvaraju čeličanu zguru. Pri proizvodnji jedne tone čelika pojavljuje se oko 150-200kg/t tog nusproizvoda. Zgura iz Željezare Sisak je mješovitog sastava - kombinacija visokopečne i elektropečne zgure - i deponirana je na ukupno 25 ha. Količina odlaganog materijala na tom području procjenjuje se na 1,5 milijuna tona [5].

2. Eksperimentalni dio

Cilj istraživanja bio je istražiti pogodnost zgure za primjenu u stabiliziranom nosivom sloju kolničke konstrukcije te mogućnost ostvarenja mehaničkih svojstava stabiliziranog materijala, prvenstveno tlačne čvrstoće, jer o tom svojstvu prije svega ovisi mogućnosti primjene.

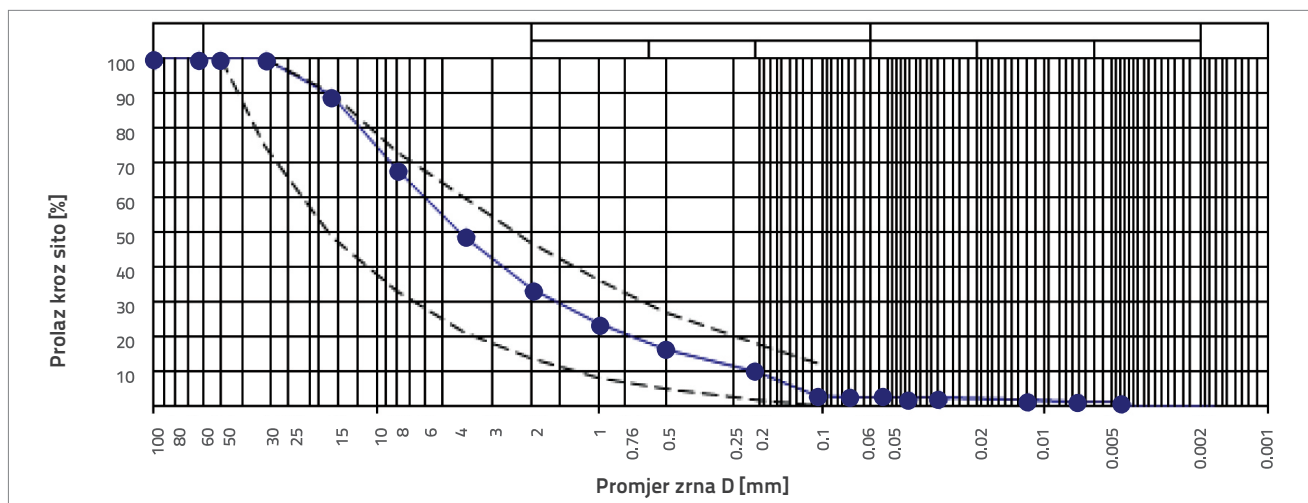
2.1. Ispitivanje pogodnosti zgure iz čeličana za izradu stabiliziranog nosivog sloja

Pogodnost materijala za izradu nosivog sloja stabiliziranog hidrauličnim vezivom definirana je Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama, knjiga III, toč.5-02 [6]. Materijal za izradu stabiliziranog nosivog sloja mora zadovoljiti zahtjeve postavljene u pogledu granulometrijskog sastava i fizikalno-mehaničkih svojstava zrna. Provedena su djelomična laboratorijska ispitivanja zgure u svrhu ocjenjivanja pogodnosti za izradu nosivih slojeva stabiliziranih hidrauličnim vezivom. Granulometrijski sastav zgure prikazan je na slici 1., a rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava zgure sadržani su u tablici 1.

Granulometrijskom analizom uzorka dobivena je krivulja iz koje je vidljivo da se uzorak mješavine zgure (0-31,5 mm) nalazi u granulometrijskom području pogodnom za primjenu u nosivim slojevima. Osim granulometrijskog dijagrama, provjereni su i ostali uvjeti: koeficijent nejednolikosti $U=32,05$ (što je u traženim granicama od 15 do 50), promjer najvećega zrna je 31mm (što zadovoljava zahtjev od maksimalno 31,5 mm), udio čestica manjih od 0,02 mm je 1,95 (što je manje od maksimalno dopuštenih 3%).

Usporedba dobivenih vrijednosti granulometrijskog sastava i onih traženih u Općim tehničkim uvjetima, knjiga III, točka 5-01.1.1 i 5-02.1.1 [6] potvrđuje pogodnost zgure za izradu nosivog sloja stabiliziranog hidrauličnim vezivom (tablica 1.).

Određivanje laboratorijske referentne suhe prostorne mase i udjela vode izvršeno je prema HRN EN 13286-2 [7], toč.6.3 i 7.5. Uzorak stabilizacijske mješavine sa zgurom zbijen je energijom modificiranog Proctora 2,66 MJ/m³ s dodatkom cementa (SPECIJAL, CEM II/A-M (S-V), razreda čvrstoće 42,5N), te je postignuta maksimalna suha prostorna masa $\gamma_{dmax}=2,32$ t/m³ uz optimalnu vlažnost $w=8,40\%$.



Slika 1. Granulometrijski dijagram zgre

Tablica 1. Rezultati ispitivanja fizikalno-mehaničkih svojstava zgre

Svojstvo	Oznaka norme	Jedinica mjere	Rezultat ispitivanja zgre	Uvjeti prema [6]
Gustoća	HRS CEN ISO/TS 17892-3	t/m ³	3,13	
Udio čestica manjih od 0,02 mm		mas %	1,95	< 3,0
Koeficijent nejedolikosti $U=d_{60}/d_{10}$	HRS CEN ISO/TS 17892-4 toč.5.2		32,05	15-50
Promjer najvećeg zrna	HRS CEN ISO/TS 17892-4 toč.5.2	mm	46	< 63
Optimalna vlaga (Wopt)	HRN EN 13286-2 toč.6.3	%	8,30	
Maksimalna suha prostorna masa (γ_{dmax})	HRN EN 13286-2 toč. 7.5	t/m ³	2,324	
Oblik zrna	HRN B.B8.048	%	9,8	maks. 40
Upijanje vode	HRN B.B8.031	%	5,8	maks. 1,6
Trošnost zrna	HRN B.B8.037	%	1,6	maks. 7
Mineraloško-petrografska klasifikacija	HRN B.B8.003		drobljena zgura	

Prema dobivenim podacima, fizikalno-mehanička svojstva zgre zadovoljavaju postavljene uvjete za kamene materijale osim upijanja vode, koje iznosi iznosi 5,80%, što je više od maksimalno dopuštenih 1,60% prema Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama [6].

Ispitivanja volumne postojanosti zgre, raspadanja zrakom hladene zgre uslijed prisutnosti dikalcijeva silikata i željeza te određivanje prostorne mase zrna i upijanje vode prema relevantnim europskim normama provedena su u Laboratoriju za kamen in agregatn ZAG – Ljubljana. Rezultati ispitivanja zadovoljavaju SIST EN 1744-1/1999 te je potvrđeno da ne postoji opasnost od raspadanja zgre uslijed prisutnosti dikalcijeva silikata i željeza.

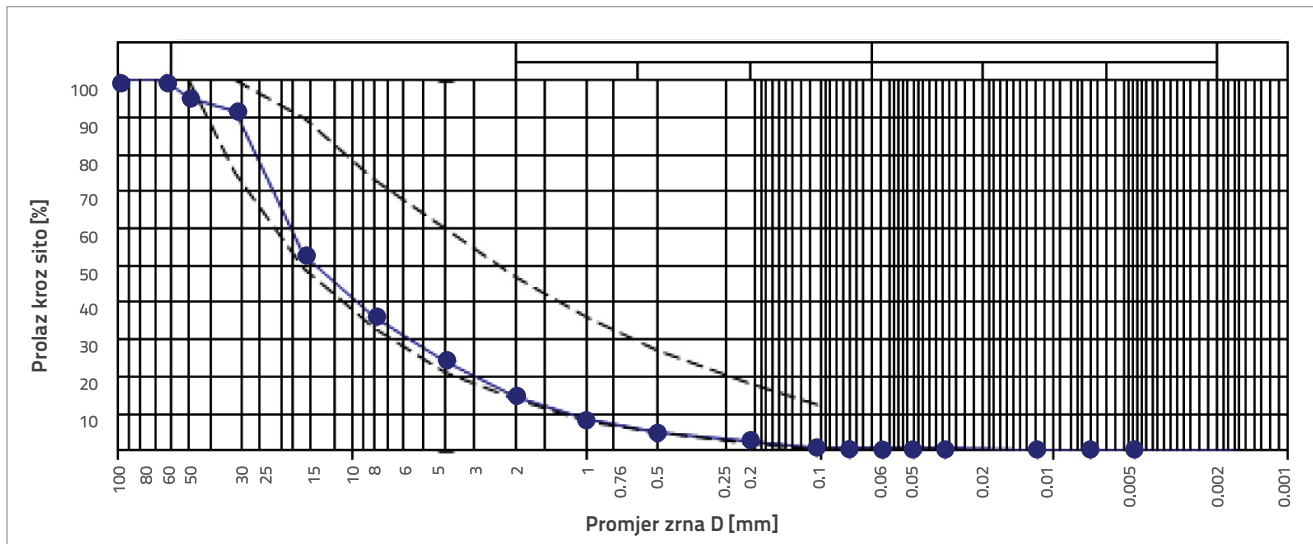
Na temelju laboratorijskih ispitivanja u svrhu ocjenjivanja pogodnosti za izradu nosivih slojeva stabiliziranih hidrauličnim vezivom moguće je zaključiti da zgura zadovoljava tražene kriterije u pogledu granulometrijskog sastava i fizičko-mehaničkih svojstava, osim za kriterij upijanja vode – maksimalno upijanje vode je 1,6% (zgura 5,8%) te da je pogodna za izradu stabilizacijskih mješavina.

2.2. Karakteristike sastavnih materijala za izradu stabilizacijskih mješavina

2.2.1. Svojstva agregata i veziva

Planiranim ispitivanjima bilo je potrebno usporediti tlačnu čvrstoću stabilizacijskih mješavina različitih agregata. Agregat u jednoj skupini mješavina činila je zgura iz Željezare Sisak (0/31,5), a u drugoj standardna drobljena kamena mješavina iz kamenoloma "Velika" (0/63), koja se inače koristi za izradu nosivih slojeva kolničkih konstrukcija. Na slici 2. vidljiv je granulometrijski sastav drobljene kamene mješavine iz kamenoloma "Velika".

Granulometrijskom analizom uzorka drobljene kamene mješavine dobivena je krivulja iz koje je vidljivo da je veličina zrna mješavine od 0 do 63,0 mm. Koeficijent nejedolikosti mješavine iznosi $U=17,06$, najveće izmjereno zrno iznosi 70 mm, udio čestica manjih od 0,02 mm iznosi 0,53, a svi navedeni rezultati potvrđuju pogodnost kamenog materijala za izradu nosivog sloja stabiliziranog hidrauličnim vezivom [6, 8].



Slika 2. Granulometrijski dijagram drobljene kamene mješavine

Granulometrijski sastav kamene mješavine sadrži veću količinu krupnijih čestica. S obzirom na to da je u cementom stabiliziranim mješavinama točkasto vezivanje zrna agregata cementom, kod krupnijeg granulometrijskog sastava kamene mješavine potreba za hidrauličnim vezivom je manja.

Karakteristike zgure kao agregata detaljno su objašnjene u točki 2.1. Granulometrijska krivulja zgure upućuje na veličinu zrna 0/31,5 mm, s velikom količinom sitnih čestica u svom sastavu te manjkom krupnijih frakcija, uslijed čega dolazi do potrebe za većom količinom cementa radi ostvarivanja traženih zahtjeva čvrstoće. Zgura iz čeličana je šupljikave strukture i ima sposobnost većeg upijanja vode; njena optimalna vlažnost je za 3 do 4% veća u odnosu na ispitanu drobljenu kamenu mješavinu. Za stabilizaciju obje skupine mješavina upotrijebljen je cement SPECIJAL, CEM II/A-M (S-V) 42,5N. Specijal sadrži minimalno 80% portlandskog cementnog klinkera, do 20% miješanog dodatka, kombinacije silicijskog letećeg pepela i zgure visoke peći (S), do 5% sporednog dodatnog sastojka (pupila) i regulator vezivanja (prirodni gips).

2.2.2. Priprema i njega uzoraka

Za potrebe ispitivanja pripremljeno je pet stabilizacijskih mješavina sljedećeg sastava:

1. zgura sa 0,5% cementa, od ukupne mase,
2. zgura sa 0,7% cementa, od ukupne mase,
3. zgura sa 2,0% cementa, od ukupne mase,
4. drobljena kamena mješavina s 0,5% cementa, od ukupne mase,
5. drobljena kamena mješavina s 0,7% cementa, od ukupne mase.

Uzorci promjera 15,0 cm i visine 11,8 cm izrađeni su u standardnom Proctorovu kalupu uz energiju zbijanja

modificiranog Proctora $E=2,66 \text{ MJ/m}^3$ (slika 3.). Nakon izrade uzorci su istiskivani hidrauličnom prešom iz kalupa te ostavljeni na plastičnoj podlozi u prostoriji sa 62% vlažnosti, na sobnoj temperaturi $+20^\circ\text{C}$. Uzorci su njegovani 3, 7 i 28 dana, nakon čega su obavljena ispitivanja tlačne čvrstoće.



Slika 3. Uzorci stabilizacijskih mješavina (lijevo zgura, desno drobljeni kamen)

2.2.3. Rezultati ispitivanja tlačnih čvrstoća

Tlačna čvrstoća stabilizacijskih mješavina ovisi kako o svojstvima materijala tako i o uvjetima njega, a određuje se kao prosječno naprezanje u uzorku izloženom jednoaksijalnom pritisku pri sili koja izaziva lom (HRN U.B1.030 [9]). Uzorak za ispitivanje tlačne čvrstoće stavljen je u prešu s konstantnim prirastom sile do loma uzorka, registrirana je sila loma te je tlačna čvrstoća stabilizacijskih mješavina izračunana po formuli:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (\text{MN} / \text{m}^2)$$

gdje je:

P - tlačna sila loma u MN,

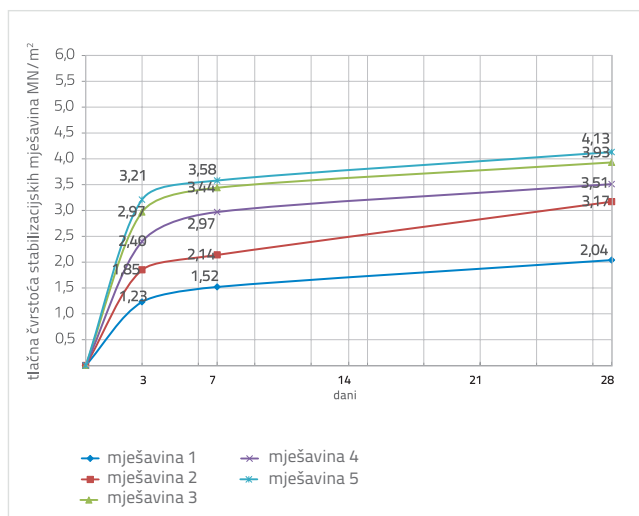
A - površina uzorka u m^2

Tablica 2. Rezultati ispitivanja tlačnih čvrstoća

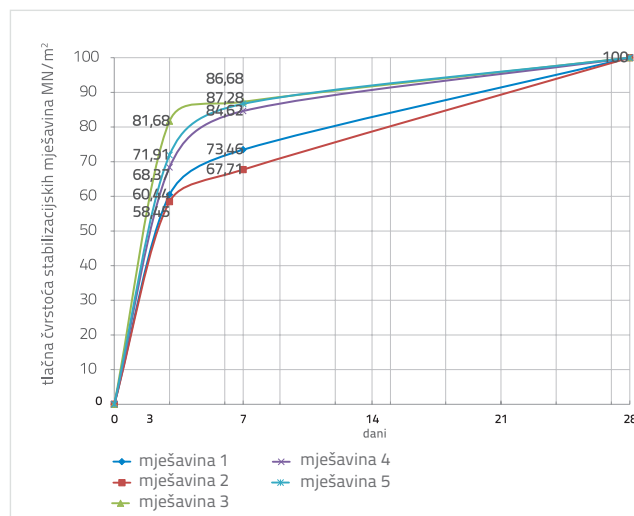
Oznaka mješavine	Sastav mješavine	Optimalna vlažnost [%]	Tlačna čvrstoća nakon 3 dana [MN/m ²]	Tlačna čvrstoća nakon 7 dana [MN/m ²]	Tlačna čvrstoća nakon 28 dana [MN/m ²]
1	zgura sa 0,5% cementa	8,7	1,23	1,50	2,04
2	zgura sa 0,7% cementa	8,8	1,85	2,14	3,17
3	zgura sa 2% cementa	8,5	3,21	3,43	3,93
4	drobljena kamena mješavina sa 0,5% cementa	5,0	2,40	2,97	3,51
5	drobljena kamena mješavina sa 0,7% cementa	5,0	2,97	3,58	4,13

Tablica 3. Tražena tlačna čvrstoća stabilizacijskih mješavina

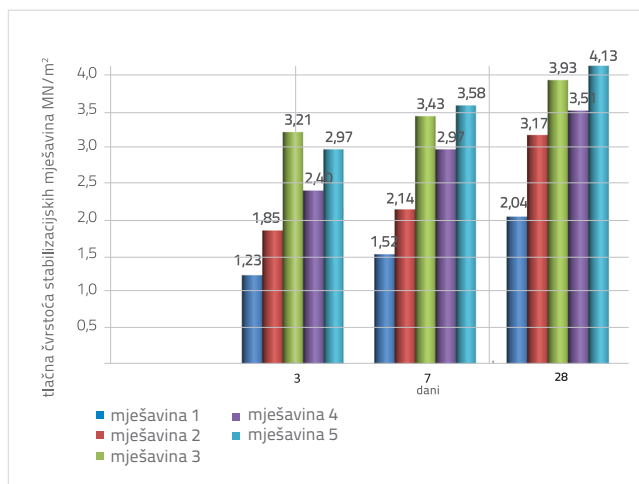
Sloj	Tlačna čvrstoća stabilizacijske mješavine (MN/m ²)	
	nakon 7 dana	nakon 28 dana
Nosivi sloj kolničke konstrukcije autocesta i cesta vrlo teškog prometnog opterećenja	2,0 do 5,5	3,0 do 6,0
Nosivi sloj kolničke konstrukcije cesta teškog i srednje teškog prometnog opterećenja	1,5 do 5,5	2,5 do 6,0



Slika 4. Tlačna čvrstoća stabilizacijskih mješavina



Slika 6. Prirast tlačnih čvrstoća stabilizacijskih mješavina



Slika 5. Histogramski prikaz tlačnih čvrstoća stabilizacijskih mješavina

Rezultati ispitivanja tlačnih čvrstoća stabilizacijskih mješavina prikazani su tablično (tablica 2.) i grafički (slike 4. do 6.).

Dobivene vrijednosti tlačnih čvrstoća uzoraka stabilizacijskih mješavina sa zgurom nakon njege od 28 dana uspoređeni su s propisanim tlačnim čvrstoćama prema Općim tehničkim uvjetima za radove na cestama [6], odnosno HRN U.E9.024 [8], čiji su uvjeti prikazani u tablici 3.

3. Analiza rezultata ispitivanja

Usporedbom dobivenih rezultata ispitivanja tlačnih čvrstoća stabilizacijskih mješavina vidljivo je da su mješavine zgure sa 0,7% i 2,0% cementa (mješavine 2 i 3) zadovoljile stroge kriterije postavljene za nosive slojeve autocesta i cesta vrlo teškog prometnog opterećenja. Postavljene uvjete za tlačnu čvrstoću

za obje skupine, teškog i srednje teškog prometnog opterećenja, nije zadovoljila stabilizacijska mješavina zgure sa 0,5% cementa (mješavina 1), čija je tlačna čvrstoća iznosila 2,04 MN/m². Analizom rezultata ispitivanja tlačne čvrstoće stabiliziranih mješavina od zgure iz čeličane i drobljene kamene mješavine pri jednakim udjelima cementa i različitom vlažnošću došlo se do vrijednih spoznaja.

Granulometrijski sastav drobljene kamene mješavine 0/63 je krupnijeg sastava, sa znatnim manjkom sitnijih čestica, no unutar graničnih krivulja definiranih Općim tehničkim uvjetima na cestama. Takva stabilizacijska mješavina zahtijeva manje količine hidrauličnog veziva za ostvarenje traženih čvrstoća u usporedbi s mješavinom zgure.

Granulometrijski sastav mješavine od zgure 0/31,5, s velikom količinom sitnijih frakcija, također je unutar graničnih krivulja definiranih prema [6]. U sastavu mješavine nalazi se veća količina sitnijih čestica te je potreban veći postotak cementa da bi se ostvarili traženi zahtjevi čvrstoće. S obzirom na razliku u granulometrijskom sastavu mješavina pri jednakim udjelima veziva stabilizirane mješavine zgure ukazuju na niže rezultate tlačnih čvrstoća (tablica 4.).

Tablica 4. Odnosi tlačnih čvrstoća stabilizacijskih mješavina nakon 28 dana

Stabilizacijske mješavine	Odnosi tlačnih čvrstoća mješavina nakon 28 dana
kamena mješavina / zgura (sa 0,5% cementa)	1,72
kamena mješavina / zgura (sa 0,7% cementa)	1,30

Iz dijagrama na slikama 4. do 6. vidljivo je da su tlačne čvrstoće stabilizacijskih mješavina od zgure s udjelom cementa 0,5% niže od čvrstoća stabilizacijske mješavine s drobljenim kamenim materijalom 98,70% nakon 7 dana te 72,5% nakon 28 dana. Uočljiv je znatan pad razlike u tlačnim čvrstoćama nakon 28 dana. Za stabilizacijske mješavine s dodatkom cementa 0,7% vidljiva je razlika u tlačnim čvrstoćama nakon 7 dana 67,29% te 30,49% nakon 28 dana. Iz tih rezultata može se zaključiti da je povećanjem količine veziva u stabilizacijskim mješavinama te produljenjem njege uzoraka razlika u tlačnim čvrstoćama mješavina manja.

Stabilizacijske mješavine nakon njege od 3 dana ostvare tlačne čvrstoće od 58,45 do 81,68% ukupnih tlačnih čvrstoća ostvarenih nakon 28 dana. Najniži prirast čvrstoće od 58,45% nakon 3 i 7 dana u odnosu na čvrstoću od 28 dana ostvaruje mješavina od zgure s 0,7% cementa (mješavina 2), dok najviši prirast tlačne čvrstoće ostvaruje mješavina od zgure s 2% cementa (mješavina 3). Najmanji prirast čvrstoće od 5,6% nakon 7 dana u odnosu na čvrstoću od 3 dana ostvaruje stabilizacijska mješavina od zgure s 2% cementa, dok za ostale mješavine prirast iznosi 13,02 do 16,25% u odnosu na čvrstoću ostvarenu nakon 7 dana.

U usporedbi s drobljenom kamenom mješavinom zgura ima tendenciju većeg upijanja vode i šupljikavu strukturu te je pri njenom korištenju potrebna veća količina veziva. Prilikom toga dolazi do potrebe za većom količinom vode da bi se ostvarila optimalna vlažnost te maksimalno suha prostorna masa pri određenoj energiji zbijanja. Uslijed veće potrebe za vodom (3-4%) u odnosu na drobljenu kamenu mješavinu, a pri jednakim udjelima veziva, stabilizacijske mješavine sa zgurom, ostvaruju niže tlačne čvrstoće.

4. Zaključak

U radu su opisani rezultati ispitivanja tlačnih čvrstoća stabilizacijskih mješavina sa zgurom iz željezare Sisak te mješavina s drobljenim kamenim agregatom iz kamenoloma "Velika". Ispitivanjem se nastojalo utvrditi pogodnost zgure kao agregata u stabiliziranim nosivim slojevima te utjecaj količine veziva i vlage na tlačnu čvrstoću stabilizacijskih mješavina sa zgurom. Dobiveni rezultati uspoređeni su sa "standardnom" stabilizacijskom mješavinom drobljenog kamenog agregata nakon njege 3, 7 i 28 dana.

Na temelju provedenih laboratorijskih ispitivanja u svrhu ocjenjivanja pogodnosti zgure za izradu nosivih slojeva stabiliziranih hidrauličnim vezivom, moguće je zaključiti da zgura zadovoljava tražene kriterije u pogledu granulometrijskog sastava i fizikalno mehaničkih svojstava osim za kriterij upijanja vode gdje je maksimalno upijanje vode 1,6% (zgura 5,8%), ali nakon dodatnih ispitivanja utvrđena je pogodnost za izradu stabilizacijskih mješavina.

Prilikom izrade stabilizacijskih mješavina znatnu ulogu u prirastu tlačne čvrstoće ima udio vode. Razlika u strukturi materijala zgure u odnosu na kamenu mješavinu zahtijeva veću količinu vode (3 do 4%) kako bi se ostvarila najveća gustoća u zbijenom stanju zgure te stoga izravno utječe na niže vrijednosti čvrstoće.

Prilikom ispitivanja tlačnih čvrstoća stabilizacijske mješavine od drobljenog kamenog materijala ostvarene su znatno veće tlačne čvrstoće pri jednakim udjelima veziva u usporedbi sa stabilizacijskim mješavinama sa zgurom.

Stroge kriterije tlačnih čvrstoća stabilizacijskih mješavina za pojedina prometna opterećenja prema [6, 8] zadovoljavaju stabilizacijske mješavine zgure s 0,7% i 2% cementa (mješavine 2 i 3). Stabilizacijska mješavina zgure sa 0,5% cementa (mješavina 1) nije postigla traženu vrijednost tlačne čvrstoće.

Temeljem dobivenih rezultata ispitivanja može se zaključiti da se stabilizacijske mješavine zgure sa 0,7% i 2% cementa mogu primijeniti za izradu stabiliziranih nosivih slojeva u kolničkim konstrukcijama autocesta i cesta vrlo teškog prometnog opterećenja te cesta teškog i srednjeg prometnog opterećenja.

Primjena čeličane zgure u slojevima kolničke konstrukcije bila bi ekonomski i ekološki prihvatljiva: ugrađivale bi se velike količine jeftinog (otpadnog) materijala i ujedno smanjivala količina zgure na odlagalištima. Dobiveni rezultati opisani u ovom radu predstavljaju doprinos u istraživanju mogućnosti

primjene otpadnih materijala u kolničkim konstrukcijama, a daljnji nastavak istraživanja te izrada pokusnim dionica omogućili bi potpuniji uvid u svojstva i ponašanje stabilizacijskih mješavina sa zgurom.

LITERATURA

- [1] Barišić, I.; Dimter, S.; Netinger, I.: *Possibilities of Application of Slag in Road Construction*, Tehnički vjesnik 17, 2010., 4, 523-528,
- [2] Netinger, I.; Bjegović, D.; Varevac, D.; Morič, D.: *Primjena zgure iz čeličana kao agregata u betonu*, Građevinar, Vol. 63 No.02., 2011., 169-175
- [3] Netinger, I.; Rukavina, M. J.; Bjegović, D.: *Mogućnost primjene domaće zgure kao agregat u betonu*, Građevinar 62, 2010., 1, 35-43
- [4] Dimter, S.: *Svojstva stabilizacijskih mješavina namijenjenih gradnji cesta*, disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2005.
- [5] Netinger, I.; Bjegović, D.; Jelčić, M.; Đuroković, M.: *Primjena zgure u graditeljstvu*, Sabor hrvatskih graditelja, Cavtat, Hrvatski savez građevinskih inženjera, 2008., 281-292
- [6] Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Knjiga III, Kolnička konstrukcija, IGH, 2001.
- [7] HRN EN 13286-2 *Nevezane i hidrauličnim vezivom vezane mješavine* – 2.dio: Ispitne metode za određivanje laboratorijske referencijske gustoće i udjela vode – Zbijanje po Proctoru (EN 13286-2:2004)
- [8] HRN U.E9.024 – Izrada nosivih slojeva kolničkih konstrukcija cesta od materijala stabiliziranih cementom ili sličnim hidrauličnim vezivima.
- [9] HRN U.B1.030 *Određivanje pritiskne čvrstoće tla*