

# NOVA VRSTA AGREGATA ZA LAKE BETONE NA BAZI OTPADNOG STAKLA

Karolj Kasaš<sup>1</sup>  
Arpad Čeh<sup>2</sup>  
Golub Karaman<sup>3</sup>

UDK: 502.174.1:666.127:666.973

**Rezime:** *Ogromne količine betona, koji se proizvede i ugrađuju širom sveta zahtevaju ogromne količine agregata za beton. Na taj način sve se više uništava priroda (eksploatacija šljunka, kamena, itd.).*

*Staklena ambalaža, fluorescentne cevi, stakleni otpad, nasuprot tome jako malo se iskorišćava. Industrija stakla može da primi do 20% otpadnog stakla kroz reciklažu. Ogromne količine staklenog otpada se odlažu na deponije otpada, mada se zna, da staklo nije prirodno razgradljiv materijal. U ovom radu predstavljen je jedan segment održivog razvoja i zaštite okoline.*

*Jedna od mogućnosti primene staklenog loma je prerada u ekspanzirani stakleni agregat za lake betone. U ovom radu biće prezentovane najbitnije fizičko-mehaničke karakteristike lakih betona, pravljenih od prerađenog otpadnog ekspanziranog staklenog agregata i mogućnosti njegove primene.*

**Ključne reči:** laki betoni, reciklirano staklo, agregat, zaštita okoline.

---

<sup>1</sup> Dr Karolj Kasaš, redovan profesor, dipl.inž. tehn., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel:024/554-300, [kkasas@gf.uns.ac.rs](mailto:kkasas@gf.uns.ac.rs)

<sup>2</sup> Asistent Arpad Čeh, dipl.inž., Građevinski fakultet Subotica, Kozarčka 2a, 024 554 300, [ceh@gf.uns.ac.rs](mailto:ceh@gf.uns.ac.rs)

<sup>3</sup> Viši laborant Golub Karaman, inž.građ., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, 024/554-300, [golub@gf.uns.ac.rs](mailto:golub@gf.uns.ac.rs)

## 1. UVOD

### 1.1 ODRŽIVI RAZVOJ

“Održivi razvoj je takva forma razvoja, što ispunjavanjem zahteva današnjice, ne lišava buduće generacije, od mogućnosti zadovoljavanja svojih potreba.”

Dve ključne stvari su sadržane u definiciji:

- potrebe i
- ograničenja.

Zadovoljavanje potreba se može “skladno - harmonično” obezbediti, dok to ne naiđe na ograničenje. Ova definicija ima svoju, mnogo jednostavniju formulaciju, što potiče od stanovnika države Kenija:

“Obraduj dobro, časno i pošteno zemlju. Zemlju nisu Tebi dali Tvoji roditelji. To si dobio u zajam od svoje dece!”

U Svetu današnjice, svedoci smo ogromnog razaranja, što prouzrokuje eksploatacija prirodnih dobara, između ostalog i agregata za beton, prirodnog porekla (šljunak, kamen, itd.). To sve ostavlja ožiljke na licu naše planete Zemlje, bespovratno. Ti prirodni materijali materijali nisu obnovljivog karaktera.

Demografska ekspanzija, sa jedne strane, zahteva sve veći obim izgradnje objekata raznih namena, sa druge strane, generiše se sve veća količina otpadnog materijala.

Potpisane su razne konvencije i deklaracije (Rio de Janeiro, Kyoto, itd.) sa ciljem zaštite okoline i održivog razvoja. Veliki udeo od toga je i dan danas mrtvo slovo na papiru:

- Godišnje se uništi više od 140.000 km<sup>2</sup> kišne šume (površina Srbije je oko 89000 km<sup>2</sup>),
- 20.000-30.000 vrsta životinja i biljaka izumire godišnje (svakog sata 3 vrste)!

### 1.2 RECIKLIRANJE STAKLA

Otpadno staklo je jedan od materijala, koji se selektivno odlažu, skupljaju, sortiraju i eventualno delimično recikliraju. Treba međutim odmah naglasiti, da kada je reč o reciklaži, to se odnosi samo na staklene ambalaže (boce i tegle), odgovarajućih boja i ako se ispune odgovarajući kriterijumi čistoće staklenog loma. Dakle, ne i na prozore i ostala ravna stakla, monitore, televizijske ekrane tanjire, čaše, šoljice, porcelan, kristalno i stono staklo, ogledala, sijalice itd.

Recikliranje staklene ambalaže je različitog obima od države do države, u većini razvijenih evropskih zemalja je oko 50%, dok u ostalim zemljama kreće se između 0 - 20% (slika 1). Veoma su retki slučajevi poput Švajcarske i Austrije, gde recikliranje staklene ambalaže dostiže i preko 90%. O recikliranju građevinskog otpadnog ravnog stakla, sijalica, ekrana i ostalog staklenog loma nema adekvatnih podataka, ali se može

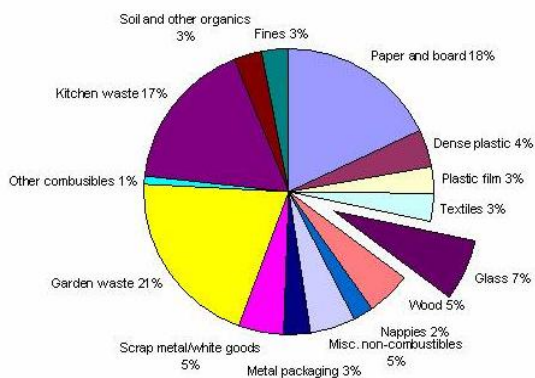
pretpostaviti, da je reč o zanemarljivim količinama što se reciklira. Ako se tome doda podatak da se staklo, praktično ne raspada tokom vremena, očigledno je da pronalaženje rešenja, za tu vrstu otpada je od ogromnog značaja sa aspekta zaštite i očuvanja životne sredine.



Slika 1 – Problematika tretiranja otpadnog stakla

### 1.3 ULOGA GRAĐEVINARSTVA U ODRŽIVOM RAZVOJU

Prema procenjenim podacima, godišnje se, u razne vrste betona ugrađuje agregat prirodnog porekla ( kamen, šljunak, itd.) od oko 10 milijardi tona na Svetu, u šta nije uračunata otkrivka i jalovina, što dodatno uništava i opterećuje čovekovu okolinu i to bespovratno, kamen, šljunak, itd. Ne spada u obnovljive prirodne resurse. Zbog gore navedenih razloga, mnoge zemlje su donele ili potpunu zabranu eksploatacije prirodnog agregata za beton (Austrija za šljunak) ili stroga ograničenja za eksploataciju istih.



Slika 2 – Prosečan sastav otpada u domaćinstvu

Među komunalno – otpadnom materijalu ( u šta nije uračunat građevinski i industrijski otpad) nalazi se u velikoj količini i stakleni otpad (flaše, ravno staklo, ekrani raznih električnih uređaja), čija razgradnja, prirodno je nemoguća (slika 2), a reciklaža se ili uopšte ne vrši ili se vrši u neznatnoj meri, te bespovratno opterećuje životni prostor (biosferu) i zauzima veliki zapreminski prostor na deponijama. Iskorišćenjem staklenog otpada, kao agregata za beton, možemo postići velike ekološke i ekonomske uštede.

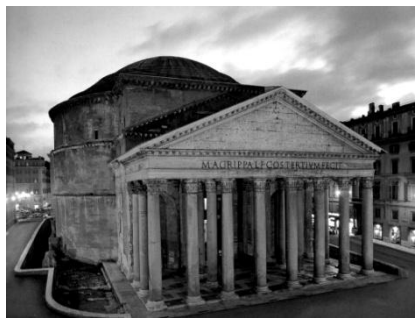
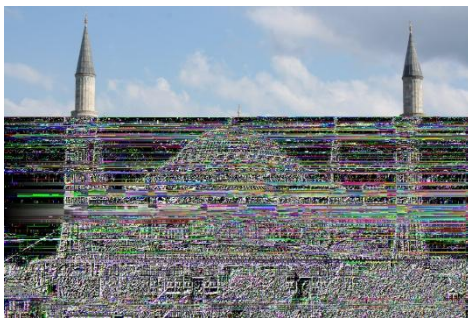
U Svetu postoje patentirani postupci za proizvodnju agregata za beton, razne zapreminske mase, na osnovu kojih se proizvode mlevenjem, mešanjem sa raznim aditivima i topljenjem – ekspandiranjem, agregati, koji se mogu iskoristiti za proizvodnju betona, raznih karakteristika. U našem radu izvršićemo prikaz karakteristika lakog betona, proizvedenog na bazi agregata od ekspandiranog otpadnog staklenog loma.

## 2 LAKI BETONI

### 2.1 ISTORIJAT

Beton je trenutno najznačajniji građevinski materijal, veoma intezivan i neprestani razvoj kao i tendencija širokospektralnog unapređenja ovog kompozita ukazuje na to da će u skorijoj budućnosti to i ostati.

Korišćenje lakih agregata pri proizvodnji kompozitnih materijala ima dug istorijat. Svakako su vredni spomena slučajevi kao što su ostaci zgrada u Vavilonu stari preko 4000 godina, objekti u grčkom i rimskom carstvu stari preko 2000 godina, ali i piramide u Meksiku (VIII vek n.e.) u kojima su koristili prirodno porozne agregate uglavnom kao vulkanski tuf i bims, izlomljena pečena porozna opeka. Međutim interesantniji su slučajevi kao što su Hagia Sofija (Istanbul, IV.vek) i Pantheon ( Rim, II. vek), gde su se već tada primenjivali laki betoni, promenljive gustine – zapreminske mase od temelja prema krovu, što svakako ukazuje na doslednu implementaciju najbitnije osobine ovog materijala prilikom projektovanja i izvođenja objekata sa ciljem racionalizacije (slika 3).



*Slika 3 – Levo Hagia Sofija (Istanbul, IV.vek), i desno Panteon ( Rim, II. vek)*

U novije doba postepena nestašica prirodnih lakih agregata u XIX veku je dovela do pojave i razvoja sve većeg broja veštačkih lakih agregata pre svega u Zapadnoj Evropi, a

posle i u SAD, Aziji, pa u XX veku i po čitavom svetu. Danas, laki betoni su najpopularniji u Severnoj Americi, Japanu, Australiji, a u Evropi, pre svega u skandinavskim zemljama i u Nemačkoj. Laki betoni su našli široku primenu u građevinarstvu. Pored višespratnih objekata, aerodromskih terminala, muzeja, mostova pravljenih kako od armiranog, tako i od prednapregnutog lakog betona, postoje primeri primene i u izgradnji tunela i naftnih platform (slika 4). [4]



*Slika 4 – Gugenhajmov muzej u Njujorku, most na Rajni kod Spejera i Marina City u Čikagu*

## 2.2 AGREGATI ZA LAKE BETONE U NOVOM SVETLU

Kod veštačkih lakih agregata prednosti (veoma dobre termoizolacione karakteristike, lakša sopstvena masa konstrukcija pravljenih od istih, zadovoljavajuća trajnost) i nedostaci (veće cene koštanja takvih betona, u odnosu na betone proizvedenih od prirodnih agregata i posebna pažnja koja se zahteva prilikom proizvodnje i ugradnje lakih betona) su ranije bili približno isti. To je bio jedan od razloga da se ti materijali, pre svega u manje razvijenim zemljama, ali i može se reći generalno nisu bili opšte rasprostranjeni ni sa aspekta proizvodnje agregata, a ni sa aspekta primene lakih betona. Međutim ako se u obzir uzme i tendencija smanjenja obima eksploatacije prirodnih agregata (pre svega prirodno rastresitog, rečnog) potreba za smanjenjem stvaranja otpadnih materijala i paralelno potreba za povećanjem količine recikliranih materijala – sposobnost korišćenja recikliranih građevinskih materijala i veštačkih agregata kao što je ekspanzirano staklo, polako postaje opšti trend i logičan pravac u proizvodnji kompozitnih materijala.

## 3 GEOFIL BUBBLES

### 3.1 PROIZVODNJA

„Geofil Bubbles“ je naziv za granulat silikatne pene – agregat na bazi ekspaniranog otpadnog staklenog loma, koji je patentiran pre 10 godina (PCT(HU99) 00017) i proizvodi se u Republici Mađarskoj u „Geofil“ Ltd. – Tatabánya.

Dosadašnja praksa u recikliranju otpadnog stakla raznog porekla (staklena ambalaža, ravna stakla na objektima, sijalice, monitori, ekrani, itd.) zbog određenih problema, prilikom sakupljanja i recikliranja (različit sastav, različite boje i kvalitet), veći deo sakupljenog staklenog otpada se zapravo ne može reciklirati u iste proizvode od stakla. Jedna od prednosti agregata „Geofil Bubbles“ je upravo u tome, što se pravi od mešanog komunalnog otpadnog stakla pomenutog mogućeg sastava, koji uz to i ne mora biti potpuno čist, već može sadržavati i razne materijale organskog ili neorganskog porekla (razne tečnosti, papirne ili plastične etikete, zatvarači, itd.).

Zrna proizvedena u rotacionim pećima su prečnika veličine 2 – 25mm, odlični su termoizolatori i dobro se lepe za razna neorganska i organska veziva (cement, gips, bitumen, razne smole, itd.) [2].



Slika 5 – „Geofil Bubbles“ – ekspanzirani stakleni agregat za lake betone[8]

### 3.2 MOGUĆNOSTI PRIMENE GEOFIL EKSPANDIRANOG STAKLENOG AGREGATA:

Geofil ekspanzirani stakleni agregat se koristi ne samo u građevinarstvu, nego i u voćarstvu, vrtlarstvu, za izradu zelenih krovova, itd. U građevinarstvu se koristi za izradu kompozitnih materijala pomoću raznih veziva (cement, gips, kreč, bitumen, epoksi malteri itd.). Naravno, do sada najviše je korišćen kao agregat lakih betona i maltera, za izradu termoizolacionih slojeva zidova i međuspratnih ploča, podova, kao materijal za zvučnu zaštitu, za proizvodnju termoizolacionih elemenata – blokova za zidanje, ali i za izradu konstruktivnih armiranobetonskih elemenata.

### 3.3 KARAKTERISTIKE AGREGATA I LAKIH BETONA PRAVLJENIH OD ISTIH:

Bitnije karakteristike „Geofil Bubbles“-a [8]:

- zapreminska masa zrna: 450-1800 kg/m<sup>3</sup>
- zapreminska masa u nasutom stanju: 250-1100 kg/m<sup>3</sup>

- sopstvena čvrstoća zrna agregata: 0,3-15,1 N/mm<sup>2</sup>
- upijanje vode: 0,4-40 %.

Karakteristike lakih betona pravljenih od ovog agregata [8]:

- zapreminska masa: 350-2000 kg/m<sup>3</sup>
- koeficijent toplotne provodljivosti: 0,1-1,5 W/mK
- čvrstoća na pritisak: 2,5 - 58 N/mm<sup>2</sup>
- zvučna izolacija: (laki beton debljine 12cm, zapr. mase 1100 kg/m<sup>3</sup>) 42 dB.

Postoje tri glavna tipa ovog proizvoda: „Geofil” A, B i C.

Tip A se koristi za proizvodnju lakih termoizolacionih betona, tip B za lake termoizolacione i konstruktivne betone, dok se tip C koristi za noseće konstrukcije. Bitnije karakteristike su prikazane u sledećoj tabeli:

*Tabela 1 – Važniji fizičko-mehanički parametri – „GeofilBubbles“, tip A, B i C [3]*

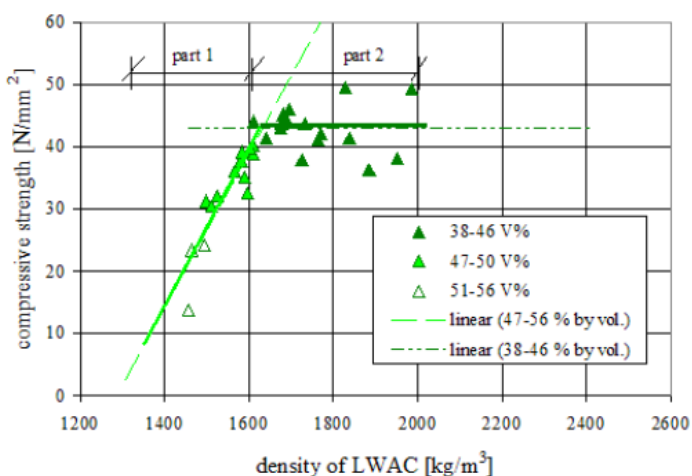
Tip agregata	Zapreminska masa agregata u nasutom stanju kg/m <sup>3</sup>	Zapreminska masa zrna agregata kg/m <sup>3</sup>	Specifična masa agregata kg/m <sup>3</sup>	Poroznost %	Upijanje vode		Sopstvena čvrstoća zrna agregata N/mm <sup>2</sup>
					m%	V%	
„Geofil“ A	260-500	480-900	2,30-2,45	40-50	9-22	18-40	0,3-3,0
„Geofil“ B	260-600	460-1100	2,05-2,30	41-59	0,4 - 2,7	0,4-6,3	0,4-2,7
„Geofil“ C	600-1100	1000-1850	2,10-2,35	35-43	0,3-13	0,1-1.1	4,8-15,1

### 3.3.1 ČVRSTOĆA LAKIH BETONA OD EKSPANDIRANOG STAKLENOG LOMA

„Geofil“ agregati od staklene pene se mogu koristiti i za izradu konstruktivnih lakih betona. Generalno, ukoliko se odlučuje za ovaj agregat sa ciljem smanjenja sopstvene mase betonske konstrukcije, dosadašnja ispitivanja pokazuju da je moguće zameniti 30% krupne frakcije prirodnog agregata i do 5% sitne frakcije istog sa „Geofil“ agregatom, a da se dobije beton iste klase čvrstoće pri pritisku (što se naravno ne odnosi na betone visokih i ultravisokih čvrstoća). Ukoliko se pak, za izradu lakih betona koristi samo „Geofil“ agregat od ekspaniranog stakla, može se računati sa manjom zapreminskom masom očvrslog betona i do 15-20%, u odnosu na betone normalne mase iste klase čvrstoće. Na taj način, dimenzije konstruktivnih elemenata je moguće smanjiti, kao i potrebnu količinu armature (čak za 20 do 30%).

Veoma je bitno spomenuti i to da laki betoni pravljeni sa „Geofil“ agregatom, mogu imati već nakon 48 sati 75% čvrstoće, od čvrstoće betona, starosti od 28 dana.

Opšte prihvaćena povezanost između udela lakog agregata u betonu i njegove čvrstoće [4] ne odnosi se u potpunosti i za predmetni agregat od ekspaniranog stakla. Naime, smanjivanje količine ovog lakog agregata je praćeno sa povećanjem pritisne čvrstoće lakih betona samo do određene granice, a iznad nje, dalje povećanje zapremine mase (smanjenjem količine agregata) ne uzrokuje dalji porast pritisne čvrstoće, te ono ostaje praktično isto (Slika 6). [5]



Slika 6 – Veza pritisne čvrstoće različitih mešavina lakih betona pravljenih od agregata „Geofil Bubbles“ i njihove zapremine mase

Kao što se vidi na datom grafikonu i relativno malo smanjenje količine agregata u ukupnoj zapremini svežeg betona rezultira приметnim rastom čvrstoće do izvesne granice. Ta granica može da varira za različite tipove ovog agregata, u granicama između 43 – 50% (zapreminskih). Taj podatak, svakako treba uzeti u obzir kao optimalni, prilikom projektovanja betonske mešavine, na bazi ovog agregata radi najracionalnije primene istog.

Kod agregata za laki beton na bazi ekspaniranog stakla, zavisnost između zapremine mase zrna agregata i njihove sopstvene čvrstoće, je sličan kao i kod ekspanirane gline i za ovaj tip agregata („Geofil-Bubbles“), veoma dobro se može aproksimirati, uz pomoć sledeće jednačine:

$$c = 1,75\rho_T^2 + 0,84\rho_T \tag{1}$$

gde je: c- čvrstoća agregata pri drobljenju u cilindru(N/mm<sup>2</sup>)  
 $\rho_T$  – zapreminska masa zrna agregata (kg/l), [5].

Čvrstoća na zatezanje kod lakih betona od ekspaniranog stakla, je povezana sa čvrstoćom na pritisak na sličan način, kao i kod betona normalne težine i kreće se između 1/5 – 1/8 od čvrstoće na pritisak.



### 3.3.2 MODUL ELASTIČNOSTI

Modul elastičnosti je moguće proračunati na osnovu dobijenih rezultata čvrstoće na pritisak. Kod lakih betona ta vrednost se smanjuje sa jednim relativnim koeficijentom, koji različiti standardi, regulišu na različit način, u zavisnosti od zapreminske mase lakog betona. Taj metod proračuna modula elastičnosti je pogodan i kod proračuna ovog tipa betona, pravljenim sa predmetnim agregatom („Geofil-Bubbles“) i to čak sa određenim stepenom sigurnosti, pošto rezultati ispitivanja pokazuju, veću merenu vrednost modula elastičnosti, od proračunatog [1].

### 3.3.3 SKUPLJANJE

Skupljanje lakih betona je generalno uvek veće od betona normalne težine, što se objašnjava na razne načine, ali je ta pojava svakako povezana sa otvorenom poroznošću agregata. Kod betona pravljenih sa ekspaniranim staklenim agregatom je takođe skupljanje veće, nego kod običnih betona pravljenih sa istim zapreminskim udelom prirodno nevezanog rečnog agregata. Interesantno je međutim, naglasiti i činjenicu, da je opasnost od pojava pukotina mnogo manja. Primenom određene, minimalne količine mineralnih vlakana, pukotine se praktično mogu i eliminisati.

## 4. PRIMENA

Laki betoni, pravljeni, na bazi „Geofil-Bubbles“ agregata su već našli primenu u više zemalja, kao termo i zvučni izolatori, sistem protivpožarne zaštite i noseće armiranobetonske, spregnute ili prednapregnute konstrukcije - istina u relativno malim količinama, nasuprot činjenici, da je uticaj primene lakih betona, pravljenih od recikliranih otpadnih materijala, na zaštitu okoline, od izuzetnog značaja.

Barijeru šire primene ovog i drugih ekološki opravdanih proizvoda čini i opreznost građevinskih inženjera i investitora, prilikom primene ovakvog novog materijala u struci, što je i opravdano, jer bez adekvatnog, pre svega opreznog odnosa, prema karakteristikama ovakvih novih materijala i tehnologija, nije moguće ni donositi pravilne zaključke o ispunjavanju odgovarajućih zahteva istih, u datim slučajevima.

## 5. ZAKLJUČAK

„Geofil GLASS FOAM GRAVEL“ – „Geofil“ laki agregat, na bazi ekspaniranog stakla, proizveden od mešanog otpadnog stakla (flaše, čaše, ravna stakla, kristal, televizijski ekrani, kompjuterski monitori) raspolaže sa karakteristikama, koje su slične kao i kod ekspanirane gline, s tim da se u ovom slučaju nema eksploatacije prirodnih resursa, ne oštećuje se čovekova okolina- ne ostavljamo ožiljke na licu naše planete- što svakako opravdava korišćenje ovog ekološki opravdanog materijala, pogotovo iz aspekta održivog razvoja.

Izuzetno je važno naglasiti značaj korišćenja otpadnih materijala – recikliranja – u ovom slučaju staklenog otpada, koji bi se na taj način mogao iskoristiti u razne građevinske svrhe umesto da se skladišti i deponuje.

Trajnost pravilno projektovanih, konstruktivnih lakih betona je slična kao i kod običnih betona, a u nekim slučajevima može biti i povoljnija (npr. ako je izložen dejstvu mraza). Neosporni dokazi trajnosti konstrukcija izgrađenih od lakog betona su već spomenuti Hagia Sofija i Pantheon. Interesantan je i slučaj potopljenih teretnih brodova iz prvog svetskog rata, proizvedenih u SAD, čiji je trup bio sagrađen od lakog betona. Naime, na komadima trupa, koji su nakon više decenija izvađeni iz mora, ispitivanja su pokazala da je laki beton obezbedio dovoljnu zaštitu od korozije ugrađenoj armaturi. Pored ovih, spomenutih, brojni su primeri iz prakse, koji potvrđuju postojanost lakih betona.

Svesni ovih činjenica, ove i slične materijale primenjuju u mnogim zemljama, već godinama, a nadamo se u budućnosti i kod nas, čemu želimo dati doprinos i sa ovim našim radom.

## 6. ZAHVALNOST

Zahvaljujemo „GEOFIL“ Kft.– u iz Republike Mađarske, koji je obezbedio materijal potreban za ispitivanje i na saradnji na ispitivanju ovog materijala. Zahvalnost dugujemo i kolektivu Departmana za ispitivanje materijala i inženjersku geologiju, Budimpeštanskog tehničkog i ekonomskog Univerziteta.

## LITERATURA

- [8] Józsa, Zs., Nemes, R., Fenyvesi O., Lublóí É., Fischer N., Czuppon G.: Könnyűbetonok tartóssága, Betonszerkezetek tartóssága - Konferenciakiadvány, Budapest, 2008, str. 237-256.
- [9] Józsa, Zs. Nemes, R.: Recycled Glass Aggregate for Lightweight Concrete, Journal of Concrete Structures, 2002, str. 41-46.
- [10] Józsa, Zs. Nemes, R.: Bond of a new Recycled Glass Lightweight Aggregate, Bond in Concrete from research to standards, Budapest, 2002, str. 420-427.
- [11] Lazić M., Romić, S.: Armirani lakoagregatni beton, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1985.
- [12] Nemes, R., Józsa, Zs.: Strength of Lightweight Glass Aggregate Concrete, Journal of Materials in civil Engineering ASCE, September/October 2006, str. 710-714.
- [13] Stefanović-Ilić A., Ilić B.: Primena lakih betona u savremenoj gradnji objekata, Internacionalni simpozijum "Tehnologija gradjenja – građevinski menadžment '97.", Subotica, 1997.
- [14] Živković S., Malešev M., Radonjanin V., Grdić Z., Zejak R.: Evropski standard EN 206-1:2000 Beton – deo 1: Specifikacija, svojstva, proizvodnja I kontrola saglasnosti /prevod sa engleskog jezika/, Zbornik radova naučno-stručnog skupa JUDIMK, Beograd, 2004
- [15] [www.geofil-bubbles.com](http://www.geofil-bubbles.com)

## NEW TYPE OF LIGHT CONCRETE AGGREGATES MADE BY USING GLASS WASTE

**Abstract:** *Immensely huge amounts of concrete, produced and placed world round, demand for huge amounts of concrete aggregates to be used. In consequence, nature is polluted and destroyed by digging gravel and stone pits, etc.*

*Simultaneously, glass containers, fluorescent tubes, glass waste have seldom been exploited. Up to 20% of glass waste can be recycled by the glass industry. Even though, glass is not a naturally degradable substance, huge amounts of this waste are regularly delivered to the wastedumps. This paper puts forward a possibility to tackle the sustainable development problem, on the one hand, and the environmental protection issue, on the other.*

*One option to apply glass waste is that it should be processed into the expanded glass aggregate and then be used to make light weight concrete. The paper presents major physical – mechanical characteristics of the light weight concrete that has been made applying the recycled, expanded glass aggregate.*

**Key words:** *recycled glass, light concrete, aggregate, environmental protection*