

VISOKOPOROZNE GRANULE IZ ODPADNEGA STEKLA

HIGH POROSITY GRANULES PRODUCED FROM WASTE GLASS

Vilma Ducman, Mihaela Kovačević

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Prejem rokopisa - received: 1999-07-20; sprejem za objavo - accepted for publications: 1999-07-26

V prispevku je podana možnost uporabe odpadnega stekla za proizvodnjo lahkega agregata. Iz drobno pomletega stekla z dodatkom penilca smo oblikovali granule. Temperaturni interval penjenja smo določili z visokotemperaturnim mikroskopom, s katerim smo lahko spremljali proces penjenja. V tako določenem temperaturnem obdobju smo nato posušene granule žgali pri različnih temperaturah in časih. Pri žganih granulah smo določili gostoto, vrsto poroznosti (odprta, zaprta) in vpijanje vode. Iz rezultatov menimo, da lahko takšne granule uporabljamo kot agregat pri pripravi lahkih in toplotno izolacijskih opek oziroma plošč, vendar bodo na tako pripravljenih opekah oziroma ploščah potrebne nadaljnje preiskave s poudarkom na mehanskih lastnostih in trajnosti.

Ključne besede: odpadno steklo, penjeno steklo, penjene granule, lahki agregat

The potential use of waste glass for the production of light-weight aggregate has been studied. Granules made from finely ground glass together with foaming agents have been formed. The temperature interval of foaming has been determined by means of a hot stage microscope by which the foaming process can be easily observed. The subsequently dried granules have been fired at different temperatures for different periods of time and the properties of so-obtained granules such as density, type of porosity (open, closed), and water absorption have been determined. From the results we can conclude that these granules could be used as an aggregate for the production of light-weight bricks or blocks. Further investigations need to be performed regarding the properties of such light-weight bricks or blocks with emphasis on their mechanical properties and durability.

Key words: waste glass, foamed glass, foamed granules, light-weight aggregate

1 UVOD

Na trgu je več vrst lahkih agregatov. Razlikujejo se po izvoru oziroma izhodnih surovinah, videzu, gostoti, površini, poroznosti, absorpciji vode in, seveda, ceni. Največ uporabljajo ekspandirano glino, pojavljajo pa se tudi ekspandirani polistiren, razni peletirani odpadki in sintrani stekleni agregat. Idealni lahki agregat mora biti okrogle oblike, s trdo in zaprto zunanjo skorjo, ki mora zagotavljati dobro oprijemljivost z vezivom. Notranjost takšnega agregata mora biti visoko porozna. Glede na navidezno gostoto in trdnost agregata ga lahko uporabljamo za nosilne betonske elemente ali v izolacijske namene. Lahki betoni vsekakor zagotavljajo boljšo toplotno izolacijo.

Penjene steklene granule so visoko porozne in imajo relativno visoko trdnost. Pore so lahko odprte ali zaprte, odvisno od priprave. Pri zaprti poroznosti je absorpcija vode zelo nizka, kar je hkrati prednost, saj tako vezivo ne prodre v notranjost granul (in tako ne zmanjša volumna por). Proizvajamo jih tako, da drobno zmletemu steklu dodamo penilce, maso granuliramo in odžgemo nad temperaturo zmeščišča pri viskoznosti nad $\eta=10^{6.6}$ Pas, v tistem temperaturnem območju, v katerem prihaja do izhajanja plinov. Plini, ki izhajajo zaradi razpada penilca ali njegove reakcije s steklom ali z atmosfero, ostanejo ujeti v strukturi stekla. Tako nastane struktura, sestavljena iz mnogih zaprtih mehurčkov oziroma celic, obdanih s tankimi steklenimi stenami, ali pa je sestavljena iz odprtih celic, ki so medsebojno povezane (tako imenovana skeletna struktura). Penjeno

steklo z zaprtimi porami nam lahko rabi kot toplotni in/ali hidroizolacijski material¹.

Dodatke za penjenje (penilce) delimo v dve skupini²:

1. Dodatki, ki nad temperaturo zmeščišča stekla razpadejo, tako da se razvijajo plini. V to skupino spadajo MnO_2 , Co_2O_3 , $SrCO_3$, $CaSO_4$, smucec, vodno steklo ... Masni delež teh dodatkov je med 1 in 5%. Termoanalizne preiskave kažejo, da razpad poteka v območju med 750 in 950°C.
2. Dodatki, ki nad temperaturo zmeščišča stekla reagirajo s steklom ali z atmosfero. V tem primeru pogosto uporabljamo materiale, ki vsebujejo ogljik: sladkor, škrob, organski odpadki, SiC... Glede na sestavo stekla (predvsem vsebnost sulfatov) in vrsto ogljika (koks, antracit, saje, grafit) lahko proces penjenja poteka v različnih atmosferah (zrak, dušik, redukcijska atmosfera) z dodatki ogljika med 0,2 do 2 mas.%. Proces poteka v temperaturnem območju med 800 in 1000°C. Nastali plin je posledica tako oksidacije ogljika kakor reakcije med ogljikom in sestavinami stekla (sulfati, alkalije, ...). V zaprtih celicah oziroma porah je v glavnem plinasti CO_2 ali mešanica CO/CO_2 .

2 EKSPERIMENTALNO DELO

Uporabili smo odpadno steklo, zmleto in presejano pod 0,1 mm. Penilec, ki smo ga uporabili, spada med dodatke, ki nad temperaturo zmeščišča stekla razvijajo pline. Da smo lahko določili temperaturo izhajanja plina, smo izvedli analizo DTA/TGA s hitrostjo segreganja

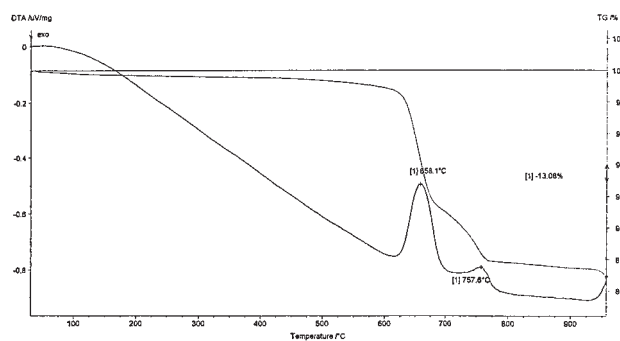
10°C/min. Istočasno smo pripravili granulo z dodatkom penilca in jo v visokotemperaturnem mikroskopu segrevali s hitrostjo 10°C/min do 1100°C. Nato smo pripravili večje količine granul, žganih pri različnih temperaturah, pri katerih smo določili navidezno gostoto in vpojnost vode. Slednjo smo določili po metodi ÖNORM 3233/1971³ (uporablja se za porozirani glineni agregat), po kateri prej posušene granule namočimo v vodo za trideset minut in nato iz razlike mase določimo vpojnost vode. Navidezno gostoto smo določili s tehtanjem in določanjem volumna s Hg-volumetrom.

3 REZULTATI

Pri izbiri ustreznega penilca je zelo pomembno, da poznamo temperaturo njegovega razpada. Pomembno je namreč, da razpad penilca oziroma reakcija penilca s steklom poteče v tistem temperaturnem območju, kjer je viskoznost stekla dovolj visoka, da nastali plini ostanejo ujeti v strukturi stekla.

S posnetka DTA/TGA izbranega penilca (**slika 1**) je razvidno, da prva stopnja razpada penilca poteče pri 620°C in doseže vrh pri 658°C (temu ustreza izguba mase 8,86%). Naslednji vrh, ki označuje oddajanje plina, je pri 757°C; temu ustreza izguba mase za nadaljnjih 3,72%. Naslednje izhajanje se začne pri okrog 930°C. S poteka krivulje TGA je razvidno, da gre v vseh treh procesih za izgubo mase, torej za izhajanje plina. Za dodatno potrditev ustreznosti izbranega penilca smo pripravili mešanico penilca in odpadnega stekla, iz nje oblikovali granulo in jo odžgali v visokotemperaturnem mikroskopu. **Slika 2** prikazuje posnetke iz slednjega.

Rezultati se ujemajo s posnetkom DTA/TGA (**slika 1**), saj opazimo zelo rahlo napihovanje pri temperaturah

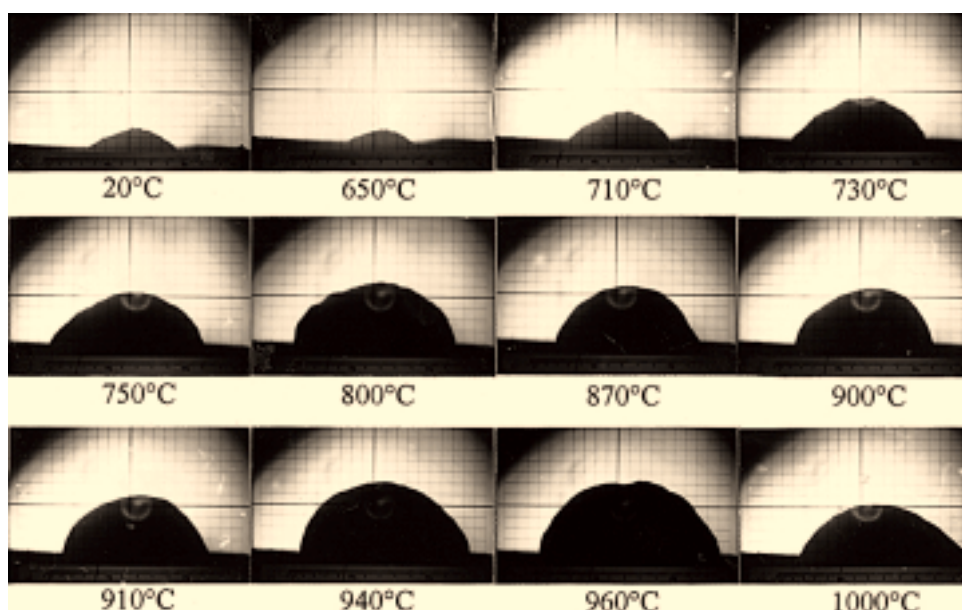


Slika 1: DTA/TGA - analiza penilca

Figure 1: DTA/TGA analysis of foaming agent

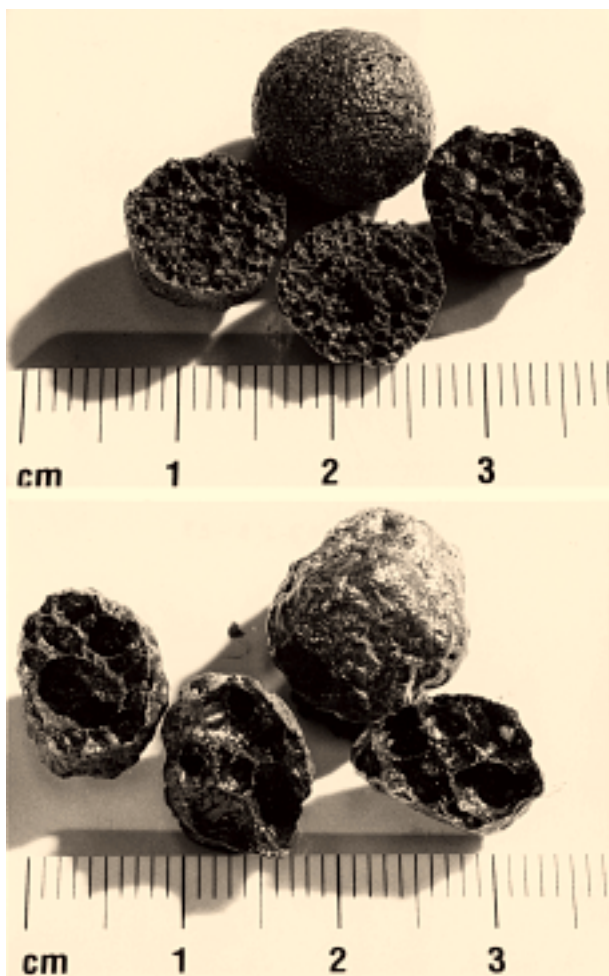
nad 650°C. Vendar plin ne ostane ujet v steklu, saj se steklo pri tej temperaturi še ne nataljuje in tako plin lahko izhaja. Pri drugem vrhu, 757°C (**slika 1**), pa plin ostane ujet v steklu (območje od 720 do 800°C na posnetkih z visokotemperaturnim mikroskopom). Tudi naslednji vrh, ki se začne pojavljati pri cca 930°C na posnetku DTA, sovпада s posnetkom iz segrevalnega mikroskopa, kjer opazimo še dodatno napihovanje vzorca pri tej temperaturi.

Na podlagi rezultatov, dobljenih s termično analizo in visokotemperaturnim mikroskopom, smo granule žgali v temperaturnem območju, v katerem smo pričakovali penjenje vzorca, in sicer pri 770, 790, 840, 880, 920°C s časom zadrževanja pri posamezni temperaturi trideset min. Granule, žgane pri nižji temperaturi, v tem primeru v območju od 770 in 840°C, so enakomerno drobno porozirane s porami, velikimi okrog 1 mm. Površina je hrapava, pore na površini so delno odprte. **Slika 3a** prikazuje prerez in videz granul, žganih pri



Slika 2: Posnetki žganja granule v visokotemperaturnem mikroskopu

Figure 2: Hot stage microscope images of a granule during firing



Slika 3: a) prerez in videz granul, žganih pri 790°C, b) prerez in videz granul, žganih pri 920°C

Figure 3: a) cross-section and appearance of granules fired at 790°C, b) cross-section and appearance of granules fired at 920°C

790°C. Pri žganju pri višjih temperaturah, v našem primeru 920°C, smo dobili granule s posamičnimi velikimi porami, tudi do 5 mm, in gladko zastekljeno površino (**slika 3b**). Pri granulah, odžganih pri različnih temperaturah, smo določili navidezno gostoto in vpojnost vode. Rezultati so podani v **tabeli 1**. Navidezna gostota je v vseh primerih nizka in ustreza zahtevam za lahek agregat, saj je navidezna gostota poroziranega glinenega agregata (ki ga v te namene največ uporabljamo) okrog 0,5 g/cm³. Vpojnost vode je med 11 in 66%, medtem ko je pri glinenem poroziranem agregatu okrog 15%, merjeno po metodi ÖNORM 3233/1971. Vpojnost vode nam poda tudi vrsto poroznosti. Iz rezultatov, podanih v **tabeli 1**, je razvidno, da je vpojnost najnižja pri 770 in 920°C. Pri 770°C so

pore vsaj še delno zaprte, nakar se z višanjem temperature pritisk plina znotraj por zvišuje, prihaja do rasti in odpiranja por oziroma do trganja sten ter s tem do uhajanja plina. Tako se pritisk znotraj por zmanjša, istočasno pa se viskoznost stekla s temperaturo povečuje, tako da pri višjih temperaturah (v našem primeru 920°C) ponovno pride do zapiranja por. Istočasno se zviša navidezna gostota.

4 SKLEPI

Iz opravljenega dela je razvidno, da je iz odpadnega stekla mogoče pripraviti penjene granule, katerih navidezna gostota dosega vrednosti med 0,19 do 0,44 g/cm³. Pore so lahko odprte (v primeru žganja pri temperaturah od 790 do 880°C) ali zaprte oziroma vsaj delno zaprte (pri temperaturi žganja 770 in 920°C); to ugotavljamo iz vpijanja vode. Za dobre izolacijske lastnosti sta pomembni velikost in porazdelitev por, hrapavost površine pa za sposobnost vezanja z vezivi. V primeru žganja pri nižjih temperaturah (na primer 790°C) je mikrostruktura drobno porozna, z enakomernimi porami, velikimi okrog 1 mm, in s hrapavo površino. Pri žganju na višji temperaturi (920°C) dobimo porozno mikrostrukturo, vendar s posameznimi velikimi porami, tudi do 5 mm, in z zaprto, zastekljeno površino. Raziskave bodo v nadaljevanju usmerjene v uporabo takšnega agregata za pripravo lahkih izolacijskih blokov oziroma plošč na osnovi različnih veziv.

Tabela 1: Navidezna gostota in vpojnost vode granul, žganih pri različnih temperaturah (čas držanja pri izbrani temperaturi 30 min.)

Temperatura žganja (°C)	Navidezna gostota (g/cm ³)	Vpojnost vode (%)
770	0,24	11,0
790	0,23	38,6
840	0,19	65,4
880	0,30	65,8
920	0,44	17,4

Zahvala:

Delo smo opravili ob finančni pomoči Ministrstva za znanost in tehnologijo RS ter Ljubecne Celje, d.d.

5 LITERATURA

- ¹ G. W. McLellan, E. B. Shand: Glass Engineering Handbook, McGraw - Hill Book Company, New York, 1984, chapter 19
- ² S. Kose, G. Bayer: Schaumbildung im System Altglas - SiC und die Eigenschaften derartiger Schumglaeser, *Glastechn. Ber.* 55 (1982) 7, 151-60
- ³ ÖNORM 3233/1971