

MOŽNOSTI ZA PONOVRNO UPORABO ODPADNEGA STEKLA

SOME POSSIBILITIES FOR THE RECYCLING OF WASTE GLASS

VILMA DUCMAN, M. KOVAČEVIĆ

Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19

V prispevku predstavljamo izolacijske plošče iz penjenega stekla, penjene steklene granule in sinter- mozaične ploščice. Osnovna surovina za vse izdelke je odpadno steklo. Za penjene ploščice smo odpadno steklo zmleli in mu dodali penila ter jih v modelu žgali nad temperaturo zmeščišča stekla. Na podoben način smo pripravili tudi porozne granule. Sinter-mozaične ploščice pa smo pripravili tako, da smo odpadno steklo ustrezne granulacije stisnili v modelčkih (z dodatkom veziva in pigmentov) ter nato sintrali nad temperaturo zmeščišča stekla. Navidezne gostote tako pripravljenega penjenega stekla so med 0,2 in 0,8 g/cm³, mikrostruktura je homogena s porami, velikimi do 3 mm, in tlačne trdnosti med 1 in 16 MPa. Upogibne trdnosti sinter-mozaičnih ploščic so nad 40 MPa, trdota po Mohsu je 6, vodna vpojnost je 0%, ploščice pa so tudi zmrzlinško odporne.

Ključne besede: odpadno steklo, penjeno steklo, penjene granule, sinter-mozaične ploščice

The contribution is concerned with foamed-glass insulation boards, foamed granules and sintered mosaic glass based on waste glass. Foamed glass samples were made by adding a foaming agent to powdered glass, and firing this mixture in moulds at temperatures within certain ranges above the glass softening point. Foamed granules were produced in a similar way. When powdered waste glass was pressed in moulds (together with a binder and pigments) and fired at temperatures above the softening point, sintered mosaic glass was obtained. The apparent density of foamed glass obtained in this way lies between 0.2 and 0.8 g/cm³, and its microstructure is homogeneous, with pore sizes up to 3 mm, and compressive strength lies between 1 and 16 MPa. The values for the bending strength of the sintered mosaic glass tiles are greater than 40 MPa, their Moh's hardness is 6, and their water absorption is 0%. These tiles are also frost resistant.

Key words: waste glass, foamed glass, foam granules, sintered mosaic tiles

1 UVOD

Poleg možnosti, da odpadno steklo zdrobimo in ponovno talimo (npr. pri proizvodnji steklene embalaže ali steklenih vlaken), je odpadno steklo možna surovina za izdelavo več vrst drugih izdelkov, med drugim penjenega stekla in sinter-mozaičnih ploščic.

Penjeno steklo (v različnih oblikah) je toplotno izolacijski material, ki ima po podatkih švicarske študije¹ primerljive oziroma celo boljše lastnosti od drugih izolacijskih materialov, pri čemer je iz okoljevarstvenega vidika zelo sprejemljivo. Po literaturnih podatkih¹ je toplotna prevodnost penjenega stekla od 0,037 do 0,048 W/mK pri navidezni gostotah med 125 in 150 kg/m³. Zaradi nizke termične prevodnosti in dobrih mehanskih lastnosti se penjeno steklo uporablja za izolacijo streh, sten, stropov in tal². Ker je negorljivo in dimenzijsko obstojno tudi pri povišanih temperaturah in obremenitvah, se lahko uporablja tudi za izolacijo v vročih razmerah (do približno 480°C). Če so pore zaprte in je material neprepusten za vodo (tako v celicah ne more priti do kondenzacije), je primeren za uporabo pod 0°C (izolacije sten, stropov in tal v hladilnicah). Zaradi odpornosti proti delovanju kislin (razen HF) in baz je primeren tudi za agresivnejše okolje (izolacijska obloga industrijskih dimnikov). Izdelki iz penjenega stekla imajo zelo nizko navidezno gostoto in jih lahko uporabljamo tudi za različne plovce (npr. indikatorji nivoja tekočin, polnila).

Če penjeno steklo pripravimo v obliki granul, nam lahko rabi kot agregat za cement ali mavec pri izdelavi lahkih izolacijskih zidnih elementov.

Sinter-mozaične ploščice se zaradi svojih estetskih značilnosti skupaj z dobrimi mehanskimi lastnostmi, zmrzlinško odpornostjo in vodno vpojnostjo enako nič uporabljajo za oblaganje zunanjih in notranjih zidov, tal in bazenov^{3,4}. Pri uporabi odpadnega stekla lahko nastane težava pri doseganju zelene barve zaradi nehomogenosti izhodnega materiala (vsebnost barvnih oksidov). To je možno odpraviti z barvnim sortiranjem stekla.

S kombinacijo sinter-mozaičnih ploščic in penjenega stekla (primer dvoplastnih ploščic) pa izkoristimo njihove dobre lastnosti in jih nadgradimo z izolacijskimi lastnostmi penjenega stekla. Dodatna prednost je, da takšno dvoplastno ploščo naredimo pri enkratnem žganju.

2 EKSPERIMENTALNO DELO

Za pripravo penjenega stekla smo odpadno steklo drobno zmleli in ga dobro premešali s penili, kot so: MnO₂, CaCO₃ ali Na- vodno steklo. Tako pripravljeno mešanico smo nasuli v modele (v našem primeru so bile šamotne cevi) in segrevali do ustreznih temperatur, glede na izbrano penilo. Vzorce smo nato ohladili do sobne temperature v peči in jih razžgali na kocke dimenzij približno 14x14x14 mm. Analizirali smo mikrostrukturo, izmerili tlačno trdnost in navidezno gostoto. Navidezno

gostoto smo ugotovili s tehtanjem in merjenjem volumna vzorca s Hg-volumetrom (za ugotovitev volumna so bili vzorci prevlečeni s tanko plastjo voska).

Za pripravo sinter-mozaičnih ploščic smo zmlatemu odpadnemu steklu dodali še anorganski pigment in vezivo. Tako pripravljeno zmes smo stisnili na stiskalnici s silo med 200 in 400 N/cm² in žgali do temperatur med 720 in 770°C. Izmerili smo skrček, vodno vpojnost, upogibno trdnost ter ugotovili zmrzlinško odpornost in trdoto po Mohsu.

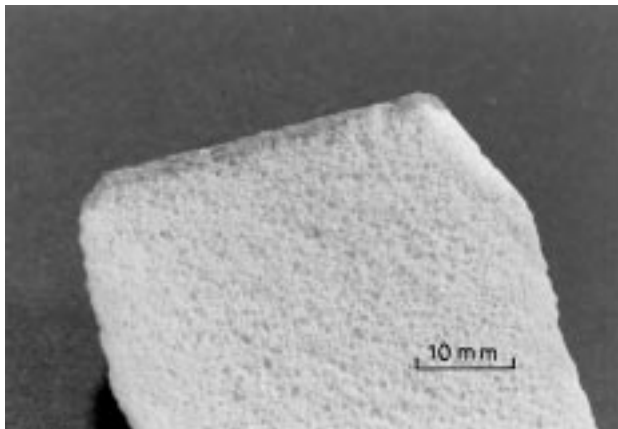
3 REZULTATI

3.1 Izolacijske ploščice iz penjenega stekla

V tabeli 1 so podane tlačne trdnosti in navidezne gostote nekaterih vzorcev z dodatkom CaCO₃ in MnO₂. Iz tabele 1 je razvidno, da dobimo iz odpadnega stekla izdelke z relativno nizko navidezno gostoto (med 0,25 g/cm³ in 0,78 g/cm³), pri čemer so tlačne trdnosti takšnega materiala visoke. Tak izdelek je zato primeren za toplotno izolacijo, kjer prihaja do večjih tlačnih obremenitev (npr. talna izolacija).

Vsebnost penila narašča v smeri A-C. Končne lastnosti penjenega stekla so odvisne od vrste penila, njegove količine, temperature žganja in izhodne velikosti delcev odpadnega stekla⁵. V preliminarnih poskusih smo ugotovili, da v primeru, ko so delci večji od 0,4 mm, do penjenja praktično ne pride. Kot najprimernejše penilo (izmed uporabljenih) se je pokazal MnO₂, saj lahko dosežemo pri nižji navidezni gostoti višje tlačne trdnosti. Optimalna temperatura penjenja je v tistem območju, kjer prihaja do nataljevanja stekla ob hkratnem delovanju penila tako, da nastali plini ostanejo ujeti v strukturi. Če je temperatura prenizka, ne pride do nataljevanja ali do reakcije penila (odpuščanje plinov ali reakcija s steklom, pri kateri pride do odpuščanja plinov). Če je temperatura previsoka se lahko pore odpirajo oz. pride lahko do poseganja materiala med žganjem.

Pri dvoplastnih ploščah smo za dekorativno plast uporabili odpadno steklo z dodatki veziva in pigmenta,



Slika 1: Prerez dvoplastne izolacijske ploščice
Figure 1: Cross-section of a two-layered insulating tile

za izolacijsko plast pa smo uporabljali mešanice iz tabele 1. Plošča je izdelana z enkratnim žganjem. Na sliki 1 je prikazan prerez dvoplastne ploščice. Ker gre pri obeh plasteh za praktično enak material, je adhezija med plastmi odlična. Pri meritvah mehanskih lastnosti je prišlo do porušitve materiala prej znotraj porozne plasti kot na stiku med plastema.

Tabela 1: Tlačna trdnost in navidezna gostota izbranih vzorcev z dodatkom CaCO₃ in MnO₂

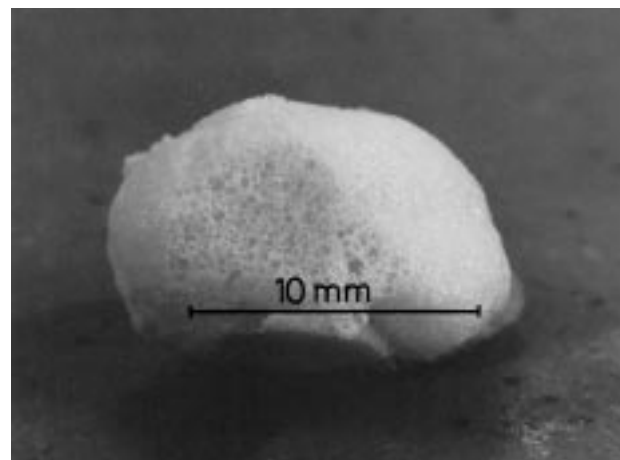
Penilo (sestava)	Tlačna trdnost (MPa)	Navidezna gostota(g/cm ³)
CaCO ₃ (A)	2,7	0,35
CaCO ₃ (B)	2,7	0,33
CaCO ₃ (B)	1,2	0,31
MnO ₂ (A)	16,6	0,78
MnO ₂ (A)	14,6	0,73
MnO ₂ (B)	12,5	0,61
MnO ₂ (B)	8,4	0,54
MnO ₂ (C)	4,8	0,25

3.2 Penjene steklene granule

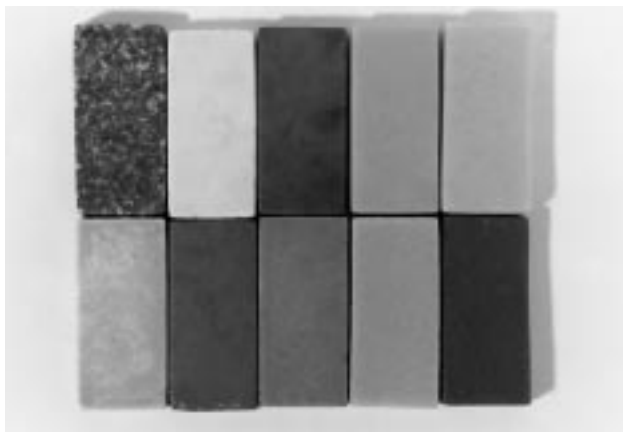
Zmlatemu steklu smo dodali penilo in nato granule ročno oblikovali in jih posušili na zraku. Takšni zmesi smo dodali tudi različne anorganske pigmente, s čimer smo dobili raznobarvne granule (primerne za dekorativne toplotno izolacijske ploščice). Glede na dodano penilo smo granule žgali v temperaturnem območju od 760 do 900°C. Vrednosti navidezne gostote tako dobljenih granul so od 0,2 do 0,8 g/cm³, pore pa so velike do 4 mm. Če so pore zaprte, se granule ne navzemajo vlage (vodna vpojnost je enaka nič). Na sliki 2 je prikazan prerez granule z navidezno gostoto 0,49 g/cm³.

3.3 Sinter-mozaične steklene ploščice

Z žganjem zmlatega stekla z dodatki anorganskih pigmentov smo dobili zmrzlinško odporne raznobarvne



Slika 2: Mikrostruktura porozne granule z navidezno gostoto 0,49 g/cm³
Figure 2: The microstructure of a porous granule with an apparent density of 0.49 g/cm³



Slika 3: Raznobarvne sinter-mozaične steklene ploščice iz odpadnega stekla

Figure 3: Coloured sintered mosaic glass tiles, made from waste glass

sinter-mozaične ploščice, katerih vodna vpojnost je enaka nič, upogibna trdnost nad 40 MPa ter trdota po Mohs-u 6. Linearni skrček pri optimalni temperaturi žganja (temperatura, kjer je površina ploščice lepo, enakomerno zastekljena, vendar so robovi še ostri) znaša 14%. Dodatek nekaterih barvnih pigmentov zviša ali zniža optimalno temperaturo žganja. Pri pripravi ploščic svetlih barv so lahko barve motne ali pa so barvni odtenki različni zaradi nehomogenosti odpadnega stekla

glede vsebnosti barvnih oksidov. Na **sliki 3** so prikazane raznobarvne sinter-mozaične steklene ploščice iz odpadnega stekla.

4 SKLEPI

Iz opravljenega dela je razvidno, da se lahko odpadno steklo uporablja kot surovina pri proizvodnji penjenega stekla ter steklenih sinter-mozaičnih ploščic. Penjeno steklo (v obliki plošč in granul) se v gradbeništvu uporablja kot toplotno izolacijski material. Za proizvodnjo penjenega stekla ni potrebno odpadnega stekla barvno sortirati, kar je neka prednost. Sinter-mozaične steklene ploščice so primerne za obloge sten in tal. Dvoplastne izolacijske ploščice združujejo prednosti sinter-mozaičnih ploščic s toplotno izolacijskimi lastnostmi penjenega stekla in so primerne za kopalniške in fasadne obloge.

5 LITERATURA

- ¹ B. Strebel, M. Welter, *Schweitzer Ingenieur und Architekt*, 47 (1991) 1128-1131
- ² G. W. McLellan, E. B. Shand: *Glass Engineering Handbook*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1984, poglavje 19
- ³ Reportage: Sinterglass-ein vielseitiges Objektmosaik, *Fliesen und Platten*, 12 (1981) 31-33
- ⁴ W. Liu, S. Li, Z. Zhang: *Glass Technology*, 32 (1991) 1, 24-27
- ⁵ V. S. Koesse, G. Bayer: *Glastechn. Ber.*, 55 (1982) 151-160