

číslo výstupu	názov výstupu projektu Glass4Ever	kód pracovného balíku	dodanie výstupu
V3.2.	Report o príprave odľahčených fasádnych objektov; vzorky pripravených 3D objektov.	NV3	M19

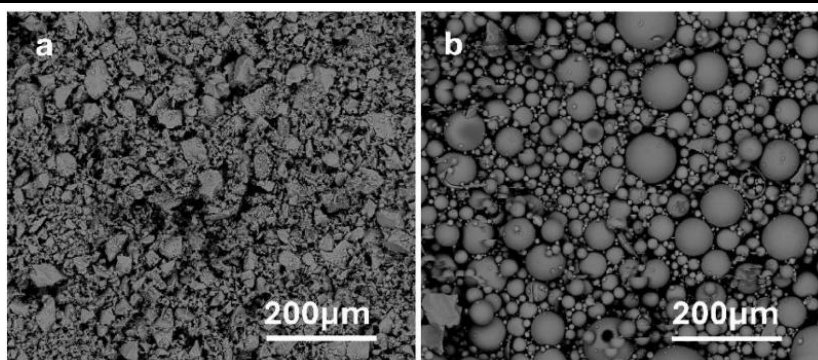
Cieľ: Príprava odľahčených priestorovo otvorených 3D objektov z odpadového skla technológiou priameho písania atramentom (Direct Ink Writing, DIW), určených na ďalšie overenie pre fasádne aplikácie.

Základom navrhnutého riešenia je využitie alkalicky aktivovaných odpadových sklených materiálov v kombinácii so sklenenými dutými mikrosférami (glass microspheres, GM). Otvorená mriežková geometria umožňuje znížiť spotrebu materiálu a hmotnosť objektu, zatiaľ čo prídavok GM zlepšuje tokové vlastnosti tlačiteľnej zmesi, stabilitu extrudovaných vlákien a pravidelnosť vytvorenej štruktúry. Postup prípravy 3D objektov bol realizovaný v troch krokoch (Krok 1–3):

- Krok 1: formulácia alkalicky aktivovanej tlačiteľnej zmesi z odpadového skla a sklenených mikrosfér.
- Krok 2: DIW 3D tlač odľahčených mriežkových objektov.
- Krok 3: Reologické a mikroštruktúrne vyhodnotenie pripravených zmesí a 3D objektov.

Krok 1 - príprava alkalicky aktivovanej tlačiteľnej zmesi

Ako základná surovina bol použitý prášok z borosilikátových odpadových skiel, samostatne alebo v kombinácii s prekursorom z odpadového AZS žiaruvzdorného materiálu (ako ďalšie plnivo). Zmesi boli aktivované 5 M roztokom NaOH. Polyetylén glykol PEG 1000 bol pridaný ako reologický modifikátor v množstve 4,5 hm. % z celkovej hmotnosti zmesi. Suspenzie sa mechanicky miešali 3 h pri 500 ot./min. V zvolených formuláciách boli po ukončení miešania pridané sklenené duté sférické častice pripravené v množstve 25 hm. % vzhľadom na hmotnosť základného skla (borosilikátového odpadového skla). Ich prídanie až v záverečnej fáze obmedzilo pôsobenie alkalického roztoku a prispelo k zachovaniu pôvodnej sférickej morfológie.



Obrázok 1: SEM snímky (a) prášku z odpadového skla, (b) dutých sklenených mikrosfér pripravených zo sodno-vápenatého odpadového skla.

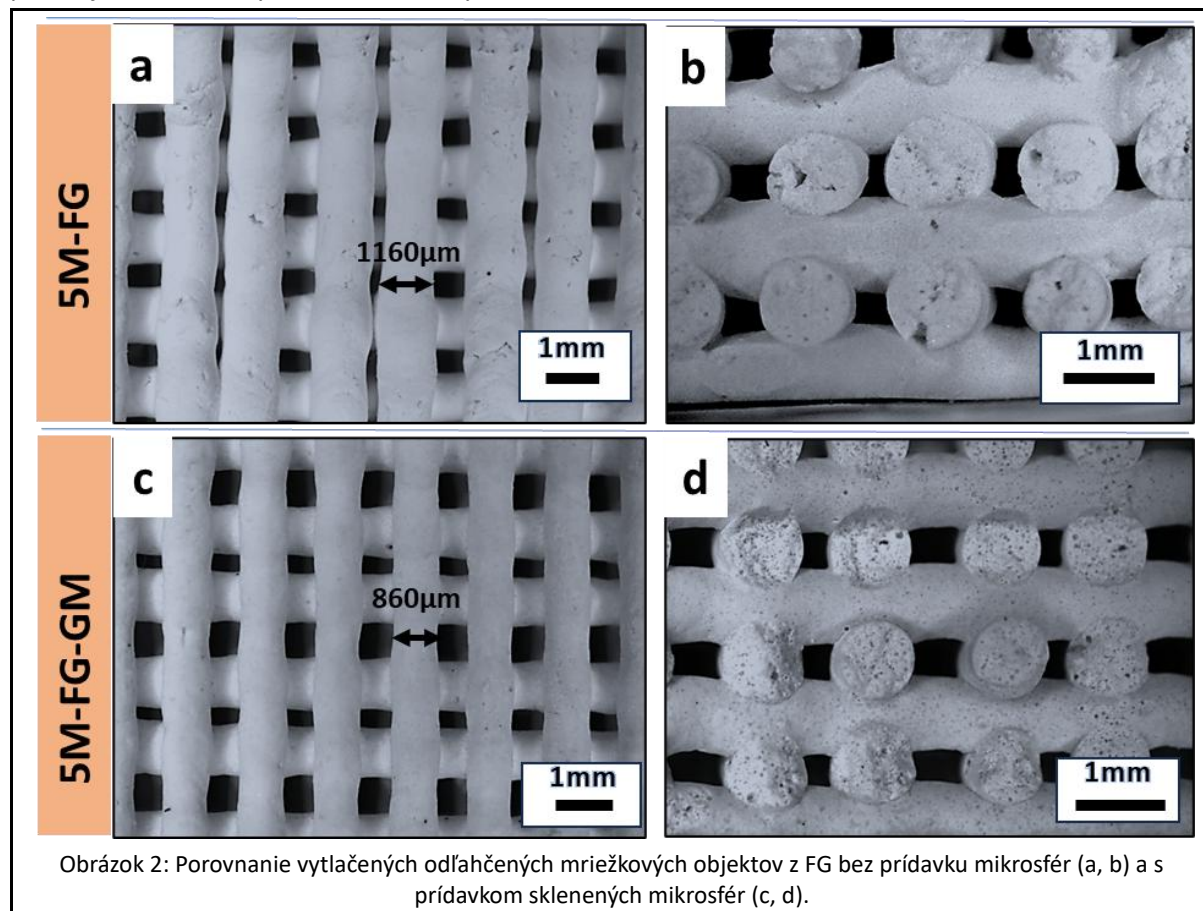
Krok 2 - DIW 3D tlač odľahčených objektov

Pripravené zmesi boli plnené do 30 cm³ striekačky a spracované na 3D tlačiarňi upravenej pre DIW systém. Tlač prebiehala pri laboratórnej teplote cez kuželovú dýzu s priemerom 840 µm. Modelové objekty pozostávali z prekrývajúcich sa vlákien v štruktúre ukladaných striedavo v smeroch 0°/90°, čím vznikla pravidelná otvorená mriežková architektúra (obrázok 2).

Tabuľka 1: Kľúčové parametre prípravy 3D tlačných objektov

Parameter	Hodnota
Aktivátor	5 M roztok NaOH
Reologický modifikátor	PEG 1000; 4,5 hm. % z celkovej hmotnosti zmesi
Obsah sklenených mikrosfér (GM)	25 hm. % vzhľadom na hmotnosť odpadového boro-silikátového skla
3D tlač	Typ DIW
Priemer dýzy	840 µm
Rýchlosť tlače	3-5 mm/s
Extrúzný tlak	0,3-0,6 bar; pri zmesi s GM približne 0,4 bar
Geometria	vrstvy 0°/90°; výška vrstvy 0,7 mm; rozstup vlákien 1,6 mm

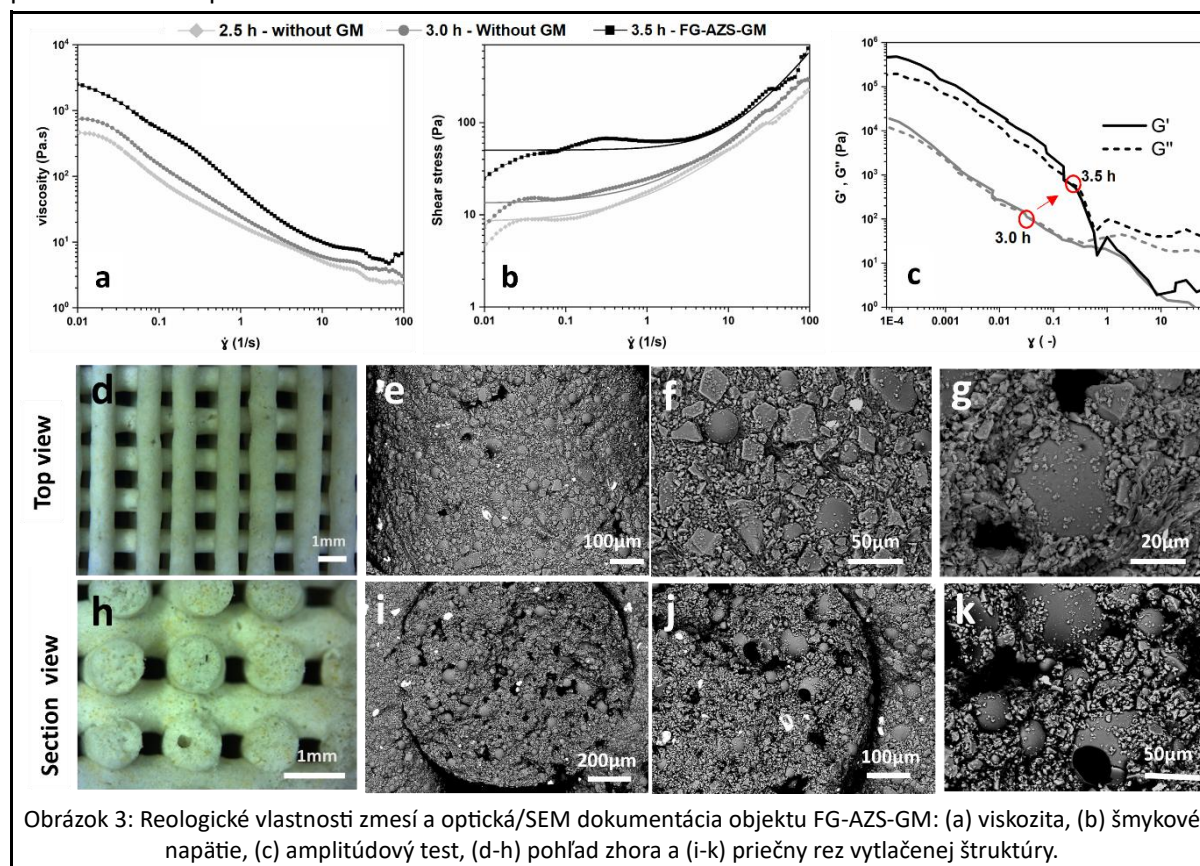
Zmes FG aktivovaná 5 M NaOH vykazovala dobrú tlačiteľnosť a po extrúzii si zachovávala tvar. Pozorované bolo iba mierne rozšírenie uložených vlákien oproti priemeru dýzy. Prídavok GM znížil potrebný extrúzný tlak približne na 0,4 bar, zlepšil tok zmesi a viedol k rovnomernejšej šírke vlákien a presnejšie definovaným medzivláknovým otvorom.



Krok 3 - optimalizácia zmesi a vyhodnotenie pripravených 3D objektov

Na ďalšie zlepšenie tlačiteľnosti boli overené formulácie obsahujúce súčasne odpadový AZS materiál a GM. Viskozita klesala so zvyšujúcou sa šmykovou rýchlosťou, čo potvrdilo pseudoplastické správanie potrebné na extrúziu 3D tlač. Vyhodnotenie podľa modelu Herschel-Bulkley preukázalo merateľnú medzu toku, ktorá zabezpečovala zachovanie tvaru vlákien po ich uložení. V lineárnej viskoelastickej oblasti bol elastický modul G' vyšší ako stratový modul G'' , a zmes preto vykazovala dostatočnú stabilitu na vytváranie viacerých vrstiev.

Optická a SEM analýza potvrdili vytvorenie pravidelných 3D architektúr a rovnomerné rozptýlenie sklenených mikrosfér a AZS častíc v alkalicky aktivovanej matici. Pozorované menšie póry pravdepodobne súviseli so zachytením vzduchu pri plnení striekačky a s odstránením PEG počas vytvrdzovania. Väčšina mikrosfér si vďaka neskoršiemu pridaniu zachovala sférický tvar bez výrazného povrchového rozpúšťania.



Záver

Boli pripravené vzorky ľahkých, priestorovo otvorených 3D objektov z alkalicky aktivovaného odpadového skla. Sklenené mikrosféry zlepšili tokové vlastnosti zmesi, znížili potrebný extrúzný tlak a podporili rozmerovú stabilitu a pravidelnosť vytlačenej architektúry. Kombinácia FG, AZS a GM poskytla homogénnu a stabilnú tlačiteľnú zmes vhodnú na prípravu odľahčených 3D objektov.

Dosiahnuté výsledky predstavujú proof-of-concept materiálového a technologického riešenia pre odľahčené fasádne prvky založené na zhodnocovaní odpadových sklenených materiálov. Pre ďalšie posúdenie fasádneho využitia bude potrebná optimalizácia geometrie a odplynenia zmesi a následné stanovenie objemovej hmotnosti, mechanickej pevnosti, nasiakavosti, mrazuvzdornosti, odolnosti voči poveternostným vplyvom a správania pri požiaroch.