

Kam kráča sklo na Slovensku? Priemysel, vzdelávanie, veda a výskum **prof. Ing. Dušan Galusek, DrSc., Slovenská sklárska spoločnosť**

Sklo je jedným z materiálov, bez ktorých by mnohé dnešné technológie nemohli existovať. Využíva sa v stavebníctve (fasády, sklené izolačné peny), automobilovom priemysle (bočné aj čelné sklá automobilov, zrkadlá, sklené vlákna ako výstuže plastových dielov automobilov), v telekomunikáciách (optické vlákna, ktoré sú jediné schopné preniesť vysokou rýchlosťou požadované objemy dát), výrobe elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov (fotovoltaické panely), elektronike a zobrazovacej technike (LCD panely, vysoko pevné krycie sklá mobilných telefónov), obalovej technike (bezpečné, zdravotne nezávadné a recyklovateľné obaly pre uskladnenie a transport potravín, nápojov a liečiv), a samozrejme v optike, kde si bez sklenených šošoviek nedokážeme tento sektor vôbec predstaviť.

V posledných rokoch sa však sklo uplatňuje aj v oblastiach, kde by sme to očakávali menej, napríklad v biomedicínskych aplikáciách, kde sa využíva ako materiál na výrobu štruktúr použiteľných ako kostné náhrady, alebo ako súčasť kompozitov s biopolymérnou maticou použiteľných ako náhrady mäkkých tkanív (chrupaviek a kože), alebo materiálov podporujúcich hojenie rán. Nezastupiteľnú úlohu skla v našom každodennom živote reflektovala aj Európska komisia, ktorá ho zaradila medzi takzvané kľúčové materiály (key enabling materials), a Organizácia spojených národov, ktorá na svojom valnom zhromaždení na jeseň roku 2021 vyhlásila rok 2022 za Svetový rok skla.

V dnešnej turbulentnej dobe sa výroba skla, rovnako ako ostatné priemyselné odvetvia, potýka s mnohými problémami, ktoré vyplývajú najmä zo spôsobu jeho výroby. Sklo sa konvenčne pripravuje tavením pri vysokých teplotách, často presahujúcich 1400 °C, z čoho vyplýva vysoká energetická náročnosť sklárskych výrob, ako aj ich nezanedbateľný príspevok k produkcii skleníkových plynov, najmä oxidu uhličitého. Oxid uhličitý sa pri výrobe neprodukuje len pri samotnom taviacom procese, pri ktorom sa ako palivo primárne používa zemný plyn, a v procese tvarovania (ďalší vysokoteplotný proces), ale aj v dôsledku rozkladu surovín, zložiek sklárskeho kmeňa, ktorý obsahuje rôzne uhličitany, najmä uhličitany sodný, draselný a vápenatý.

Ako mi povedal jeden z mojich kolegov, sklárskych technológov, jedna jediná slovenská skláraň vyprodukuje ročne toľko oxidu uhličitého, že na jeho absorpciu by bolo potrebné vysadiť jeden kilometer široký pás lesa v dĺžke päťdesiat kilometrov. V dôsledku vysokých cien plynu a iných energií na svetových trhoch je však momentálne najväčším problémom našich výrobcov skla vysoká energetická náročnosť výroby. Mnohí preto už dnes uvažujú na spôsobmi, ktorými by podstatne znížili energetickú náročnosť svojej výroby a tým zabili dve muchy jednou ranou: znížili výrobné náklady a zároveň výrazne obmedzili produkciu skleníkových plynov. V tomto smere sa momentálne vo svete presadzuje niekoľko trendov. Prvým je takzvané kyslíkové tavenie, pri ktorom sa vzduch v spaľovacom procese nahrádza čistým kyslíkom. Ak si uvedomíme, že dusík, ktorého sú vo vzduchu približne štyri pätiny, vystupuje v procese horenia ako inertná zložka, ktorá navyše ochladzuje plameň, sú prínosy tohto prístupu zrejmé. Proces zlepšuje energetickú bilanciu taviaceho procesu, s úsporou paliva na úrovni 20-30%, so zodpovedajúcou redukciou produkcie CO₂, a prakticky úplnou elimináciou tvorby NO_x. Druhou možnosťou je elektrický príhrev taviaceho agregátu, pri ktorom sa tavenie plynovými horákmi kombinuje s elektrickým príhrevom, ktorý zabezpečujú elektrické odporové ohrevné elementy ponorené priamo v sklovine. Ďalšie možnosti predstavuje napríklad dôsledná regenerácia tepla odchádzajúceho z taviaceho agregátu v spaliniach, prípadne jeho využitie pri predohreve sklárskeho kmeňa (vsádzaky).

Ohľadne najvhodnejších alternatív ďalšieho znižovania energetickej náročnosti a produkcie skleníkových plynov v taviacom procese sa v súčasnosti vedú rozsiahle odborné, ale aj menej odborné diskusie. Jednou z navrhovaných technológií je celoelektrický ohrev, teda kompletne zabezpečenia taviaceho procesu pomocou elektrických ohrevných elementov bez použitia plynových horákov. Výhodou tohto postupu je nízka energetická náročnosť, nevýhodou fakt, že nie je vhodná pre každé zloženie skla. Celoelektrické tavenie tiež nie je vhodné vo výrobných, ktoré vyžadujú pomerne rýchle a rozsiahle zmeny objemu produkcie. Ako vhodná alternatíva sa preto javí náhrada zemného plynu v sklárskych horákoch vodíkom ako palivom, ktoré neprodukuje žiadne emisie CO₂. Táto technológia je však zatiaľ v plienkach a vyžaduje obrovské množstvo výskumnej práce. Predbežné experimenty ukazujú, že spaľovanie vodíka a z neho vyplývajúci vysoký obsah vodnej pary v taviacom agregáte zásadným spôsobom ovplyvňuje technologický proces, či už v dôsledku tvorby peny na povrchu roztaveného skla, ale aj v dôsledku rozpúšťania vody v sklovine. Vyšší obsah vody v sklotvornej tavenine ovplyvňuje jej technologické vlastnosti, ako sú teplotná závislosť viskozity, povrchové napätie, ale aj vlastnosti výsledného skla, ako napríklad jeho korózna odolnosť. Pre úspešné využitie vodíka ako

paliva pri výrobe skla bude potrebné modifikovať konštrukcie sklárskych pecí, vyvinúť a skonštruovať nové typy horákov, ale zrejme aj vyvinúť nové typy žiaruvzdorných materiálov do taviacich agregátov s vyššou koróznou odolnosťou. Vzhľadom na výbušnosť vodíka a problémy s jeho bezpečným uskladnením a transportom je nezanedbateľnou otázkou aj bezpečnosť celého procesu. A samozrejme, v oboch prípadoch, pri celoelektrickom aj vodíkovom tavení, je kľúčovou podmienkou naša schopnosť vyrobiť dostatočné množstvo elektriny, prípadne vodíka, pomocou obnoviteľných zdrojov energie. Využitie fosílnych palív pri výrobe energie použitej pri produkcii skla nie je riešením problému, iba jeho odsunutím na inú úroveň.

Ako vidno z predchádzajúcej časti, výrobcovia skla vo svete, a samozrejme aj na Slovensku, čelia momentálne mnohým výzvam. Celkovo však môžeme povedať, že sa sklárskemu priemyslu u nás darí, a že s výnimkou výroby plochého (tabuľového) skla máme v Slovenskej republike zastúpené takmer všetky najdôležitejšie segmenty sklárskej výroby. Väčšinu výrobcov združuje Slovenský zväz sklárskeho priemyslu. Johns Manville Slovakia, a.s. v Trnave je našim jediným výrobcom ťahaných sklenených vlákien, používaných v rôznych segmentoch od stavebníctva, cez automobilový priemysel, až po výstuže kompozitov používaných v listoch vrtnúť veterných elektrární. Producentom obalového skla je Vetropack Nemšová s.r.o., s ktorého výrobkami ako sú fľaše najrôznejšieho typu sa denne stretávame na policiach obchodov a supermarketov. Vetropack Nemšová je aj našim najväčším odberateľom sklenených črepov z recyklovaného zberu. Prídavok črepov významným spôsobom znižuje energetickú náročnosť výroby, a zároveň prispieva k zníženiu obsahu pevného domového odpadu, ktorý by inak putoval na skládky. RONA a.s. Lednické Rovne je najstarším a najúspešnejším výrobcom



domáceho úžitkového skla a skla pre gastronómiu, ktorý sa presadil aj na trhoch v zahraničí. Viac ako 90 % výroby ich kristáľového skla sa v súčasnosti exportuje. Firma je svetovou jednotkou vo výrobe kalíškoviny technológiou ťahanej nohy. Táto strojová technológia umožňuje výrobu dokonalých tvarov,

ktoré sú svojou kvalitou a estetickou hodnotou prakticky nerozoznatelné od ručnej výroby. Borosilikátové sklo pre medicínske aplikácie (ampulky, liekovky, injekčné striekačky) vyrába na Slovensku Medical Glass a.s. Bratislava, ako súčasť nadnárodného konzorcia Stevanato Group. Firma sklo priamo nevyrába (netaví), ale spracováva už dodané polotovary, sklené trubice od zahraničných výrobcov. Posledným výrobcom skla, ktorý je členom Slovenského zväzu sklárskeho priemyslu je Knauff Insulation s.r.o. Nová Baňa, ktorého hlavným produktom je rozfukovaná minerálna vlna používaná ako tepelno a zvukovo izolačný materiál v stavebníctve.

Priaznivcov skla, a najmä úžitkového a domáckenského skla určite poteší, že po viacročnej prestávke obnovila svoju výrobu aj sklárňa R-Glass Katarínska Huta, ktorá tak nadviazala na dlhoročnú tradíciu sklárskej výroby na Gemeri. Okrem toho máme na Slovensku viacero firiem, ktoré sklo netavia, ale ďalej spracovávajú. Ako príklady môžeme uviesť Spoločnosť AGC Trenčín, s. r. o., ktorá spracováva základné ploché sklo od spoločnosti AGC Glass Europe, a ktorá ponúka rozsiahlu škálu výrobkov, ktoré sú riešením takmer pre všetky stavebné projekty, či už ide o použitie v izolačných oknách, na fasádach komerčných budov ale aj v interiéri rodinných domov a administratívnych budov. Portfólio slovenských spracovateľov skla dopĺňajú viaceré firmy, ktoré vyrábajú tvrdené, prípadne lepené sklá pre automobilový priemysel.

Ako vidno z predchádzajúceho textu, sklársky priemysel na Slovensku je v relatívne dobrej kondícii. Ako je to ale so vzdelávaním a výskumom v tejto oblasti? Tu sa situácia, žiaľ, nevyvíja úplne ideálne. V oblasti výchovy stredoškôľakov sme v posledných rokoch urobili krok späť, keď pre nedostatok financovania (ale aj záujmu zo strany žiakov základných škôl) došlo k zavretiu Strednej odbornej školy sklárskej v Lednických Rovniach, resp. k jej zlúčeniu so Spojenou školou v Púchove. Škola ponúka vzdelávanie v umeleckom odbore Výtvarné spracovanie skla, a v technologickom odbore Technik sklárskej výroby. Podľa mojich najnovších informácií dochádza po zániku sklárskeho učilišťa v Poltári v súčasnosti k oživeniu učňovskej výchovy pod záštitou R-Glass Katarínska Huta.

V oblasti vysokoškolského vzdelávania je situácia ešte o niečo ťažšia. Fakulta chemickej a potravinárskej technológie STU v Bratislave, ktorá bola tradičným poskytovateľom VŠ vzdelávania v oblasti technológie skla na túto úlohu, po odchode viacerých významných odborníkov do dôchodku, do istej miery rezignovala. Dôvodom je aj veľmi nízky záujem študentov, kde vo všetkých troch zameraniach (sklo, keramika, anorganické spojivá) končia ročne v priemere 2-3 absolventi. Dieru na trhu v tomto smere do istej miery supluje Fakulta priemyselných technológií v Púchove a Centrum pre funkčné a povrchovo funkcionalizované sklá (FunGlass) Trenčianskej univerzity Alexandra Dubčeka v Trenčíne (TnUAD). Posledne menované centrum sa však zameriava skôr na tretí (doktorandský) stupeň štúdia a teda prednostne na výchovu odborníkov pre vedeckú a výskumnú kariéru. Tým sa dostávame aj k otázke výskumu a vývoja v oblasti skla a sklárskych technológií na Slovensku.

Jediným pracoviskom, ktoré sa v SR cielene, dlhodobo a systematicky venuje výskumu a vývoju v oblasti skla a sklárskych technológií je práve Centrum FunGlass. Centrum nadväzuje na tradíciu Výskumného a vývojového ústavu sklárskeho, ktorý existoval v Trenčíne do roku 1990, a na Centrum kompetencie pre výskum skla, spoločné pracovisko UACH SAV, TnUAD a FChPT STU (VILA), ktoré pôsobilo na pôde TnUAD prakticky od jej vzniku v roku 1997. Centrum FunGlass je jediným pracoviskom v SR, ktoré uspelo v náročnej medzinárodnej konkurencii a získalo financovanie z programu EÚ Horizon 2020 v rámci schémy Teaming na vybudovanie centra sklárskeho výskumu s európskym rozmerom v Trenčíne. Finančná podpora v celkovej sume 25,5 M€ (15 M€ z programu Horizon 2020 a 10,5 M€ komplementárne financovanie z Operačného programu Výskum a vývoj) umožnila centru, ktorá začalo svoju činnosť v roku 2017, výrazne vyrásť, či už z pohľadu personálnej kapacity, alebo z hľadiska výskumnej infraštruktúry. V centre momentálne pracuje takmer 90 výskumníkov a doktorandov zo 14 krajín sveta, ktorí majú k dispozícii viac ako 1200 m² laboratórnych a iných priestorov vybavených špičkovou prístrojovou technikou. Centrum svojim výskumnými aktivitami pokrýva široký rad rôznych tém, ktoré reagujú na potreby slovenského a európskeho sklárskeho priemyslu, ale aj témy základného výskumu pre pokročilé aplikácie skla, keramiky a kompozitov.

Z pohľadu priemyslu sú zrejme najvýznamnejšie aktivity spojené s riešením otázok tavenia skla v spolupráci s RONA, a.s. Lednické Rovne, testovanie odolnosti úžitkového skla pri umývaní v umývačkách riadu, prípadne aktivity zamerané na zhodnocovanie skleneného odpadu, ktorý nie je možné použiť pri výrobe obalového skla. Tieto zahŕňajú napríklad sklá z televíznych obrazoviek a monitorov s obsahom ťažkých kovov, odpadové lubrikované sklené vlákna, alebo použité borosilikátové medicínske sklo. Centrum skúma možnosti ich zhodnotenia a transformácie na stavebné

materiály s využitím nízko-teplotných technológií (alkalická aktivácia sklenej drte a následná konsolidácia), ich konverziu na sklené (duté) mikrogulôčky využiteľné ako spevňujúca a ľahčiaca prísada do plastových dielov, prípadne využitie 3D tlače pri zužitkovaní medicínskeho skla a jeho použitie pri výrobe filtrov na čistenie odpadových vôd.

V oblasti základného výskumu centrum pokrýva niekoľko tém. V oblasti funkčných skiel sa centrum zameriava na výskum a vývoj opticky aktívnych (luminiscenčných) skiel a sklokeramických materiálov pre energeticky úsporné osvetľovacie zdroje, prípadne pre optickú termometriu. Zaujímavými novými témami sú aj materiály pre fotokatalytickú výrobu vodíka, prípadne sklá na báze MOF (metal organic frameworks). V oblasti výskumu a vývoja povlakov a tenkých vrstiev pracuje centrum na vývoji nových typov korózne odolných povlakov pre ochranu ľahkých hliníkových a horčíkových zliatin využívaných v leteckom a automobilovom priemysle, ako aj na vývoj sklenených, sklokeramických a keramických povlakov na vysokoteplotnú koróznú ochranu ocelí používaných napríklad vo výmenníkoch tepla v teplárňach a spaľovniach komunálneho odpadu. V oblasti biomateriálov vyvíja centrum nové typy skiel s prídavkom iónov s potenciálne terapeutickými účinkami. Takéto sklá sa pripravujú v kusovej forme konvenčným tavením, alebo vo forme mezopórovitých nanočastíc metódou sól-gél. V závislosti od zloženia a formy sa takéto sklá potom testujú pre aplikácie v humánnej medicíne, či už pri regenerácii kostných defektov, podpore hojenia rán, ako médiá na transport liečiv, či ako materiály s antibakteriálnym účinkom bez použitia antibiotík.

Sklo, jeho výroba, výskum a vývoj sú momentálne na Slovensku v relatívne dobrej kondícii, zostáva len veriť, že bez väčších strát prežijú momentálne ťažké obdobie, a že v takejto kondícii zostane aj v budúcnosti.

Súpis obrázkov:

Obr. 1. Takto sa tavi sklo v laboratóriu.

Obr. 2. Mezopórovité bioaktívne sklené nanočastice pripravené metódou sól-gél.

