

Povrch skla a jeho kvantifikace pomocí pokročilých analytických technik

Glass surface and its quantification using advanced analytical techniques

Ondrej Gedeon

VŠCHT Praha

Znalosti o povrchu skla mají prvořadý význam pro mnoho aplikací ve vědě a průmyslu: úzce například souvisí s problémy a vývojem v oblasti chemické a mechanické odolnosti, biologické kompatibility, povrchové úpravy a funkcionalizace. Proto je překvapivé, jak málo se ví o povrchu skla, které vůči objemu vykazuje výrazně odlišné fyzikální, chemické a strukturní vlastnosti. Nedostatek dat je často odůvodňován jak omezeními u experimentálních technik tak limity teoretických výpočtů a mdelů.

Příspěvek prezentuje výsledky získané korozí povrchu izostrukturálních skel. Isostrukturální skla jsou zde skla se stejnou strukturou skla z hlediska distribuce BO, NBO a Qn. Byly připraveny dvě sady izostrukturálních skel: jedna napodobuje sklo Float a druhá průmyslový barnatý křišťál. Čerstvé povrchy byly připraveny lámáním a povrchy byly poté vystaveny zvýšené vlhkosti a teplotě, aby došlo k reprodukovatelné korozi. Zkorodované povrchy byly studovány povrchově citlivými metodami se submikrometrovým laterálním rozlišením: SEM, EDX a TOF-SIMS, které byly vzájemně korelovány za účelem získání hlubšího náhledu na počáteční stavy korozních procesů na povrchu. Výsledky ukazují jak nehomogenní plošnou korozi na povrchu spojenou s nehomogenním rozložením prvků, tak nehomogenní hloubkové profily jednotlivých prvků. Oba pozorované jevy úzce souvisejí s relaxací povrchu skla, která bude stručně diskutována z termodynamického a strukturního pohledu.

Knowledge about glass surface is of paramount importance for many applications in science and industry. For example, it is closely linked to problems and developments in chemical and mechanical resistance, biocompatibility, surface treatment and functionalization. Therefore, it is surprising how little is known about the surface of glass, which exhibits significantly different physical, chemical and structural properties in comparison to volume. The lack of data is often justified by both the limitations of experimental techniques and the restrictions given by theoretical calculations and models.

The paper presents the results obtained by corrosion of the surfaces of isostructural glasses. Isostructural glasses here are glasses with the same glass structure in terms of BO, NBO and Qn distribution. Two sets of isostructural glass have been prepared: one mimics Float glass and the other industrial barium crystal. Fresh surfaces were prepared by breaking and the surfaces were then exposed to elevated humidity and temperature to cause reproducible corrosion. Corroded surfaces were studied by surface-sensitive methods with sub-micrometer lateral resolution: SEM, EDX and TOF-SIMS, which were correlated to obtain a deeper insight into the initial states of corrosion processes on the surface. The results show 1) inhomogeneous surface corrosion on the surface associated with inhomogeneous distribution of elements and 2) inhomogeneous depth profiles of individual elements. Both observed phenomena are closely related to the relaxation of the glass surface, which will be briefly discussed from a thermodynamic and structural point of view.

Possible improvements and tools to increase the glass quality in high quality soda lime- and crystal glasses

Joachim Gesslein

HORN Glass Industries AG

High-quality soda lime and crystal glasses must fulfill very high requirements referring to the permissible gaseous and solid inclusions. This will usually be achieved (Or generally achieved) through appropriate raw materials and a good melting process. After that, these glasses must be additionally homogenized so that small differences in the chemical concentration, refractive index, and density, caused by the melting process, are compensated. Drain systems removes the corroded refractory components, or they must be finely distributed by stirring systems in order to make them virtually invisible in the final product. Therefore, regular attempts are being made to further improve the glass quality with suitable measures, in the field of glass conditioning. However, the formation of new problems caused by corrosion of glass contact materials or glass defects by bubbles, inclusions, etc., must be avoided simultaneously. The common tools therefore are:

- Stirrer systems
- Bottom drains
- Surface drains

In this presentation, these tools will be explained in more detail, how they work, and where the most effective place for installation will be. In addition, there are various mixed systems, made with expensive platinum components for technical or special glasses with the highest demands, but this will not be discussed in detail here. Also, the correct design of the throat, riser, distributor, forehearth, spout, and the correct selection of suitable refractory and glass contact materials may have a considerable influence on the subsequent glass quality. As well as the correct dimensioning of the plant layout and the resulting glass bath surface, the residence time and flow rates of the glass, as well as the engineering of the heating systems, also have an impact on the later glass quality. An insufficient design can lead to new glass defects, for example, with long and intensive contact of the glass with the refractory materials or the evaporation of light volatile components at the glass surface. The problems and solutions described here result mainly from my own experience, which I gathered during my more than 30 years of work in the glass industry.

Využití obnovitelné energie a využití vodíku jako nosiče energie v ČR z pohledu ORLEN UniCRE

The utilization of renewable energy and hydrogen as an energy carrier in the Czech Republic from the perspective of ORLEN UniCRE

Adam Giurg

ORLEN UniCRE a.s.

Evropská Unie se zavázala k uhlíkové neutralitě do roku 2050. Vodíková ekonomika může významně pomoci k dosažení tohoto cíle. Navíc využití vodíku je velmi široké od využití v průmyslu až po využití v mobilitě. Skupina PKN ORLEN má vodík ve své strategii a plánuje významný rozvoj vodíkových technologií. ORLEN UniCRE se na těchto záměrech významně podílí a podporuje rozvoj vodíku především na území České republiky a Slovenska.

Pro snižování uhlíkové stopy je počítáno s výrobou zeleného/obnovitelného vodíku. Tento vodík je značně spojen s obnovitelnými zdroji energie. Proto naše pozornost směřuje i na využití obnovitelných zdrojů energie, které by mohli napájet jednak výrobu vodíku, tak i rafinerské či petrochemické jednotky. Pro tyto účely je potřeba stabilní zdroj energie o velkém výkonu, produkující elektrickou energii a teplo. Z toho důvodu se zaměřujeme i na využití dalších nízko uhlíkových technologií jako např. SMR (Small Modular Reactor).

Naším krátkodobým cílem je investice do vhodného nízkoemisního zdroje energie s následnou konverzí energie na nízkoemisní vodík uplatnitelných jak v zavedených, tak i plánovaných rafinerských, anebo petrochemických výrobnách. Hnacím motorem je především poptávka zákazníků po produktech s co nejnižší emisní stopou. Z dlouhodobého hlediska pak cílíme na středoevropský automobilový trh se záměrem poskytovat vodík jako nosič energie. Kromě rozvoje infrastruktury se k této oblasti pojí i vzorkování vodíku a jeho analýza. Dále se zaměřujeme na alternativní možnosti uskladnění vodíku, které by zvýšili množství vodíku na plnicích stanicích. V neposlední řadě se zabýváme vývojem mobilní vodíkové plnicí stanice, která by mohla být využita i veřejně. V našem zájmu je i rozvoj vodíkové mobility na železnici. Máme podaný projekt na vývoj vodíkové posunovací lokomotivy. Tyto projekty jsou propojeny s plněním vodíku v areálu Chempark Záluží a distribucí vodíku po ČR. Další významné využití vodíku je přímo v areálu Chempark Záluží v rafinerských a petrochemických procesech. Využití zeleného vodíku v těchto jednotkách povede ke snížení emisní stopy paliv a plastů.

The European Union is committed to carbon neutrality by 2050. The hydrogen economy can significantly help to achieve this goal. In addition, the use of hydrogen is very broad, from industrial use to mobility. The PKN ORLEN Group has hydrogen in its strategy and plans a significant development of hydrogen technologies. ORLEN UniCRE participates significantly in these plans and supports the development of hydrogen, especially in the territory of the Czech Republic and Slovakia.

To reduce the carbon footprint, the production of green/renewable hydrogen is planned. This hydrogen is heavily associated with renewable energy sources. That is why our attention is directed towards the utilization of renewable energy sources, which could power both hydrogen production and refinery or petrochemical units. For these purposes, a stable energy source with high power that

produces electric energy and heat is needed. For that reason, we also focus on the utilization of other low-carbon technologies such as SMR (Small Modular Reactor).

Our short-term goal is to invest in a suitable low-emission energy source with subsequent energy conversion to low-emission hydrogen applicable in both established and planned refineries or petrochemical production. The driving force is primarily customer demand for products with the lowest possible emission footprint. In the long term, we are targeting the Central European automotive market with the intention of providing hydrogen as an energy carrier. In addition to infrastructure development, hydrogen sampling and analysis are also related to this area. We are also focusing on alternative hydrogen storage options that would increase the amount of hydrogen at filling stations. We are developing a mobile hydrogen filling station that could also be used publicly. We are also interested in the development of hydrogen mobility on railways. We have submitted a project for the development of a hydrogen shunter. These projects are connected with the filling of hydrogen at the Chempark Záluží and the distribution of hydrogen in the Czech Republic. Another important utilization of hydrogen is directly in the Chempark Záluží in refinery and petrochemical processes. The utilization of green hydrogen in these units will lead to a reduction in the emission footprint of fuels and plastics.

How does the Glass Industry Decarbonise, how will furnaces change?

Stuart Hakes

FIC (UK) Ltd

Tavení skla laserem a možnosti jeho využití pro 3D tisk

Vlastimil Hotař

TUL Liberec

Korozní odolnost slitin na bázi Fe3Al v bezolovnaté sklovině

The corrosion resistance of Fe3Al-based alloys in lead-free glass

Adam Hotař

TUL Liberec

Role toku taveniny při kontinuálním tavení skel

Lubomír Němec

VŠCHT Praha

Pokroky v oblasti optických vláken

Progress in optical fibers

Ivan Kašík

Ústav fotoniky a elektroniky, AVČR

Více než 40 let uběhlo od doby, kdy se ve Společné laboratoři silikátů VŠCHT a ČSAV začalo rozvíjet studium problematiky křemenných optických vláken. Jejich jedinečné optické vlastnosti je předurčily k používání v telekomunikacích – pro přenosy na kratší i dlouhé mezikontinentální vzdálenosti. Původní výzkumné cíle se v té době zaměřovaly na dosažení minimálních optických ztrát, modelování a přípravu vhodných vlnovodných struktur a posléze na úspěšný transfer dosažených výsledků do průmyslové výroby. Na tyto práce vzápětí navázal výzkum modifikací křemenných skelných materiálů a nových struktur vhodných pro vláknové sensory, zesilovače a lasery. Taková speciální vlákna v krátkých metrážích se používají pro regeneraci signálů v telekomunikační síti nebo přímo pro generování laserového záření na různých vlnových délkách, s výkonem od několika miliwattů po kilowatty, sloužící jako zdroj čisté energie. Většinou jde o skla dopovaná ionty prvků vzácných zemin. A protože přítomnost vzácných zemin v křemenném skle vede k odmísení již při nízkých koncentracích, je nutné skelné matrice podstatně modifikovat, obvykle oxidem hlinitým nebo oxidem fosforečným. Tyto změny vyžadují podstatné úpravy technologií CVD, kterými jsou optická vlákna většinou připravována. Pozornost bude tedy věnována optickým křemenným vláknům dopovaným ionty erbia, yterbia, thulia, holmia, technologii MCVD pro jejich přípravu a několika typickým výsledkům.

More than 40 years is over from initiation of research of silica optical fibers in Joint Laboratory of Silicates of the Institute of Chemical Technology and Czechoslovak Academy of Sciences. Excellent optical properties predetermined these fibers for application in telecommunications – for short as well as for long-haul data transmission. Primary research activities were focused on reaching of minimum optical losses, modelling and experimental preparation of various waveguiding structures and later on successful industrial transfer of the technology. Later this research continued by investigation of modifications of silica-based glass materials and novel fiber structures suitable for fiber sensors, amplifiers and fiber lasers. Such specialty fibers of short segments are used for recovering of signals in telecommunication network or directly for laser generation of variety of wavelengths with output optical power ranging from milliwatts to kilowatts, employed as sources of green energy. Usually glasses doped with ions of ions of rare earths are used for these purposes. Since presence of rare earths in silica glass leads to phase separation even if low concentration, pure silica matrix must be significantly modified, usually by alumina or phosphorus pentoxide. Such changes require essential modifications of CVD technologies used for optical fiber fabrication. In this contribution the attention will be given to silica optical fibers doped with erbium, ytterbium, thulium and holmium, fabricated by MCVD technology and some typical results will be demonstrated.

Energetická budoucnost ve sklářství

Helena Krutská

EcoGlass, a.s.

Studie mapuje možné náhrady plynu ve sklářském průmyslu z pohledu malé rodinné firmy. Konkrétně uvádí výhody a nevýhody použití bioplynu, vodíku a elektřiny. Ačkoli je možnost použití vodíku v současné době hojně skloňována, v praxi se zatím stále pohybujeme v úplných začátcích. Z dosavadních pokusů tavení skla pomocí vodíkových hořáků, lze zmínit např. tavení na float vaně v St. Helens ve společnosti Pilkington. Studie také zmiňuje možné výrobní zdroje vodíku a mapuje jejich limity použití v praxi. Můžeme nalézt projekty, které se zaměřují na komplexní řešení výroby a spotřeby vodíku na jednom místě, aby se limitovaly komplikace a vícenáklady spojené s dopravou. Budoucnost masovějšího využití vodíku se ale ukazuje jako velmi vzdálená, pokud vůbec reálná.

Při použití bioplynu čelíme nedostatku zdrojů a nedostatku komerčně dostupných zařízení, která při použití bioplynu budou spolehlivě fungovat. Z hlediska ekologie má výroba bioplynu z existujícího městského odpadu mnohem větší smysl, než instalace střešních solárních panelů s 15 % účinností, i s ohledem na vedlejší produkty při výrobě v podobě hnojiv.

Pro Českou republiku se v krátkém časovém horizontu jeví elektrická energie jako jediné možné řešení energetické krize nebo částečné náhrady zemního plynu. Práce se zabývá možnostmi, jakým způsobem navýšit množství elektrické energie, které by bylo nezbytné pro přechod průmyslové výroby na tento zdroj. Pro větší rozvoj jaderné energetiky je velkou limitou komplikovaná byrokracie, a i když se současná vláda plánuje danou problematikou zabývat, jeví se dosavadní snaha jako zcela nedostatečná a neschopná rychle reagovat na měnící se celosvětové dění.

Studie uvádí množství příkladů výroby skla ve sklárnách v Evropě nebo Jižní Americe pomocí jiných energetických zdrojů, než je zemní plyn. Je třeba zdůraznit, že některé jsou úspěšné pouze díky značnému zjednodušení výrobního procesu, některé neuvádí ani rámcovou finanční náročnost a žádný neukazuje na jednoduché a rychlé řešení současné energetické hrozby. Nejen obor sklářství se tak bude muset touto problematikou dále intenzivně zabývat.

Konfokální mikroskopie korodovaného povrchu skla

Jan Macháček

VŠCHT Praha

Cílem práce je kvantifikace míry koroze skla pomocí konfokální mikroskopie a optického měření drsnosti.

Luminiscence skelných nanovláken dopovaných lanthanoidy

Martin Míka

VŠCHT Praha

Sklo-keramické luminofory pro krátkou a střední infračervenou oblast

Glass-ceramic luminophores for short- and mid-infrared lasers

Jan Mrázek

Ústav fotoniky a elektroniky, AVČR

Vláknové lasery představují jeden z objevů, který změnil moderní svět. Přes jejich nezastupitelnou roli v telekomunikacích je rozvoj v mnoha oborech spojený s aktivními luminiscenčními materiály vyzařujícími v infračervené oblasti 2 -3 μm . Jako aktivní médium se ve vláknových laserech obvykle používají prvky vzácných zemin (RE). Pro dosažení požadovaných luminiscenčních vlastností je však nutné přesně přizpůsobit chemické složení a strukturu nanokrystalů, ve kterých se ionty RE nacházejí.

V příspěvku představujeme sol-gel metodu přípravy nanokrystalického $(\text{RE}_{0,05}\text{Y}_{0,95})_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ (RE=Eu, Ho) zachyceného v matici z křemenného skla. Výchozí sol byl připraven smícháním prekurzorů $(\text{RE}_{0,05}\text{Y}_{0,95})_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ s předem hydrolyzovaným tetraethoxysilanem. Vzniklý sol byl tepelně zpracován na xerogel nebo nanosen ve formě tenkých vrstev na planární optické substráty. Byl studován vliv strukturních vlastností na optické a luminiscenční vlastnosti připravených materiálů. Vypracovaná metodika umožňuje připravit prášky a tenké vrstvy s přizpůsobenou velikostí a morfologií nanokrystalů v optické kvalitě. Zavedená metoda vede k tvorbě vysoce homogenních nanokrystalů $(\text{RE}_{0,05}\text{Y}_{0,95})_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ homogenně distribuovaných uvnitř křemíkové matrice. Velikost nanokrystalů se pohybovala od 20 nm do 200 nm. Luminiscenčními vlastnostmi iontů RE³⁺ v krystalické mřížce pyrochloridu byly korelovány se strukturou a morfologií připravených materiálů.

Výsledky přinášejí základní informace o vlivu velikosti nanokrystalů na jejich luminiscenční vlastnosti. V příspěvku je široce diskutováno využití připravených nanokrystalů v oblasti laserů a planárních optických zesilovačů.

Fiber lasers represent a breakthrough that have changed the modern world. Despite their indispensable role in telecommunications, the breakthroughs in many fields are associated with active materials emitting in the 2 -3 μm infrared region. Rare-earth elements are widely exploited as an active medium in the fiber lasers. However, the chemical composition and nanocrystal structure must be precisely tailored to achieve the required luminescence properties.

In this contribution we present a versatile sol-gel synthesis of nanocrystalline $(\text{RE}_{0,05}\text{Y}_{0,95})_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ (RE=Eu, Ho) encapsulated inside a silica glass matrix. The starting sol was prepared by mixing the precursors of $(\text{RE}_{0,05}\text{Y}_{0,95})_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ with pre-hydrolyzed tetraethylorthosilicate. Formed sol was treated to xerogel or deposited as thin films on planar optical substrates. Optical and luminescence properties of formed materials were related to their structural properties. Presented approach allows us to prepare powders and thin films with tailored size and morphology of formed nanocrystals in an excellent optical quality. The introduced method leads to the formation of the highly-uniform nanocrystalline $(\text{RE}_{0,05}\text{Y}_{0,95})_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ homogeneously distributed inside a silica matrix. The size of nanocrystals ranged from 20 nm to 200 nm. The morphology and the structure of the formed nanocrystals are linked to the luminescence properties of RE³⁺ ions incorporated into the pyrochlore lattice.

The results present fundamental information about the effect of the size of the nanocrystals to their luminescence properties. The promising application of prepared nanocrystals in the field of lasers and planar optical amplifiers is widely discussed in the contribution.

The future of Glass Melting, Electric or Hydrogen?

Erik Muijsenberg

GLASS SERVICE, a.s.

Vliv složení a vlastností kmene na rychlost tavení při vitrifikaci jaderného odpadu v elektrické tavící peci

Richard Pokorný

VŠCHT Praha

Celoelektrické tavení s nulovou uhlíkovou stopou a s minimálním množstvím čeřiv

Josef Smrček

-

Sklo v betonu

Glass in concrete

Martina Šídlová

VŠCHT Praha

Použití skla do betonu je obecně problematické z důvodu vzniku alkalicko-křemičité reakce (ASR) mezi zrnem skla a pojivem (cementem). Tato degradační reakce projevující se vznikem expanzního gelu a objevující se v průběhu životnosti výrobku způsobuje vznik tlaků uvnitř betonu, jež vedou ke vzniku prasklin a následně k jeho destrukci.

Obecně platí, že aby k ASR v betonu mohlo dojít, musí být splněny tři podmínky. V betonu musí být přítomno reaktivní kamenivo (amorfní forma SiO_2), dále musí být přítomny alkálie (Na^+ ionty, K^+ ionty) a v neposlední řadě musí být beton vystaven vodě/vlhkosti.

Pokud je předpoklad, že by k alkalicko-křemičité reakci mohlo dojít, existují možnosti, jak ASR potlačit. Nejúčinnější a v praxi nejpoužívanější je dnes přidávání tzv. minerálních příměsí (pucolánů). Mezi nejběžněji používané minerální příměsi patří popílek z uhelných elektráren, vysokopecní struska nebo mikrosilika. Velmi dobře funguje i metakaolin, který je ovšem z pohledu stavebnictví drahý. Mezi minerální příměsi však můžeme řadit i jiné hlinito-křemičité látky mající vyšší měrný povrch, resp. malou velikost částic. Existují práce, jež ukazují, že jako pucolán může sloužit i mleté sklo.

The utilization of glass in concrete is generally problematic due to the formation of an alkali-silica reaction (ASR) between the glass grain and the binder (cement). This degradation reaction, manifested by the formation of the expansion gel and occurring during the life of the concrete product, causes the formation of pressures inside the concrete, which lead to the formation of cracks and subsequently to its destruction.

In general, three conditions must be met for ASR in concrete to occur. Reactive aggregate (amorphous form of SiO_2) must be present in the concrete, alkalis (Na^+ ions, K^+ ions) must also be present and, last but not least, the concrete must be exposed to water/moisture.

If there is a presumption that an alkali-silica reaction could occur, there are options to suppress the ASR. The most effective and in practice the most used today is the addition of mineral admixtures (pozzolans). The most commonly used mineral admixtures include fly ash from coal-fired power plants, blast furnace slag or microsilica. Metakaolin also works very well, but it is expensive from the point of view of construction. However, mineral admixtures can also include other aluminosilicates having a higher specific surface area, resp. small particle size. There are works that show that ground glass can also serve as a pozzolan.

Simulation of batch motion and melting in industrial furnaces using method of discrete elements

Miroslav Trochta

GLASS SERVICE, a.s.

Potential of Inorganic Polymer-Oriented glass from foams to photocatalytic destructors for water treatment applications

Akansha Mehta

FunGlass Trenčín

Additive manufacturing of transparent and porous glass 3D structure

Jozef Kraxner

FunGlass Trenčín

Nowadays, additive manufacturing (AM) technology is verified in many production processes as a rapid prototyping tool, except for the production of glass 3D structures, in which processing remains a challenge. The technology of AM has been developing for more than 30 years, and its utilization in our era covers even houses construction at the final, high-quality level. In summary, in recent years, 3D printing devices have become cheaper, reliable and easier to use, which has led to the rapid development of their application in various application fields. The primary aim is to introduce a new sustainable route for upcycling pharmaceutical glasses in borosilicate system and to fabricate novel transparent and porous 3D glass structures. In the first step, the achieved glass precursor from pharmaceutical glass waste by milling process with particle size distribution below 80 μm was fed into an oxygen-methane (O_2/CH_4) torch (flame synthesis process), and solid glass microspheres (SGMs) were prepared. The second step was the fabrication of various 3D structures by stereolithography (SLA) 3D printer (Original Prusa SL-1, Prusa Research a.s., Prague, Czech Republic) operating in the visible light range (405 nm) with the incorporation of SGMs in a photocurable resin. The spherical shape facilitated a high solid content, up to 70 wt% of the SGMs in the suspension. After burn-out of the organic binder and sintering treatment at a temperature range of 750 -1100°C, various scaffolds (porous and transparent) have been achieved.

Acknowledgment

This paper is a part of dissemination activities of project FunGlass. This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 739566. Authors also gratefully acknowledge the financial support from Slovak Grant Agency of Ministry of Education, Science, Research and Sport, VEGA 1/0456/20.

Martin Kubíček

Teplotechna-Prima, s.r.o.

Innovative Dye Sorbent Based on 3D Printing of Pharmaceutical Glass Waste

Mokhtar Mahmoud

FunGlass Trenčín

Synthetic dyes are released in wastewater from different industrial outlets, such as paper, cosmetics, leather, printing, textile industries etc. Most of these industries utilize large quantities of dyes and release these dye contaminants into the environment as wastewater effluents. On the other hand, the obstacles involved in the upcycling of glass waste for glass manufacturing, coupled with its growing quantities and non-biodegradable nature, bring the need for the development of new applications. The objective of our work is to fabricate an efficient 3D glass object for treating wastewater. 3D Printing (Additive manufacturing) technologies enable the fabrication of objects with complex geometries in much simpler ways than conventional shaping methods. In the current study, we have applied stereolithography (SLA), which belongs to a family of additive manufacturing known as vat-polymerizations. Fine Pharmaceutical glass waste was suspended in the photocurable resin with a solid loading weight of 55 wt%. 3D gyroid structures were printed with a layer thickness of 50 μm . After debinding, and sintering, the printed gyroids were activated by applying 2.5 molar of sodium hydroxide for enhancing the adsorbing sites. The printed activated and non-activated gyroids were examined to adsorb methylene blue dye, and the adsorption efficiency of the printed glass gyroids was compared to other recent printed materials including titania, carbon, and ceramic filters.

Keywords: additive manufacturing; dye sorbents; glass waste; stereolithography; water treatment.

Acknowledgment

This paper is a part of dissemination activities of project FunGlass. This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 739566. Authors also gratefully acknowledge the financial support from Slovak Grant Agency of Ministry of Education, Science, Research and Sport, VEGA 1/0456/20.

