

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 655

ISSN 1213-4198

thesis IS

Ing. Tomáš Melichar

Optimalizace procesu sintrace
sklosilikátových materiálů
při využití druhotných surovin

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

Ing. TOMÁŠ MELICHAR

**OPTIMALIZACE PROCESU SINTRACE SKLOSILIKÁTOVÝCH
MATERIÁLŮ PŘI VYUŽITÍ DRUHOTNÝCH SUROVIN**

GLASS-SILICATE MATERIALS SINTERING PROCESS
OPTIMIZATION WITH SECONDARY RAW MATERIALS
UTILIZATION

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

| | |
|----------------|---|
| VĚDNÍ OBOR | 3911V006 Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství |
| VEDOUCÍ PRÁCE | doc. Ing. JIŘÍ BYDŽOVSKÝ, CSc. |
| OPONENTI | Prof. Ing. MARCELA FRIDRICOVÁ, CSc.; doc. Ing. TOMÁŠ KLEČKA, CSc.; |
| | Ing. OLDŘICH DOBRÝ, CSc. |
| DATUM OBHAJOBY | 26. 3. 2012 |

Klíčová slova:

sklo, silikát, sintrace, optimalizace, druhotná surovina, obkladový prvek

Keywords:

glass, silicate, sintering process, optimization, secondary raw material, tile

Název pracoviště:

Ústav technologie stavebních hmot a dílců

OBSAH:

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 5 |
| 1 SHRUTÍ STÁVAJÍCÍCH POZNATKŮ | 6 |
| 1.1 Sintrace | 6 |
| 1.2 Sklosilikátové materiály | 6 |
| 2 CÍL PRÁCE | 7 |
| 3 METODIKA PRÁCE | 8 |
| 4 VÝSLEDKY A ZJIŠTĚNÍ | 11 |
| 4.1 Analýza vstupních surovin..... | 11 |
| 4.1.1 Granulometrické složení | 12 |
| 4.1.2 Chemické složení..... | 12 |
| 4.1.3 Objemová, sypná, měrná hmotnost a mezerovitost | 14 |
| 4.2 Stanovení vlastností vyrobených vzorků – laboratorní podmínky | 14 |
| 4.2.1 Parciální substituce primární suroviny..... | 15 |
| 4.2.2 Plná náhrada vsázky..... | 16 |
| 4.3 Sklosilikáty s probarvenou maticí | 18 |
| 4.4 Studium mikrostruktury sklosilikátových materiálů..... | 20 |
| 4.5 Poloprovodní ověření receptur..... | 21 |
| 5 EKONOMICKÉ ASPEKTY VÝROBY SKLOSILIKÁTŮ | 23 |
| ZÁVĚR | 23 |
| POUŽITÉ ZDROJE | 25 |
| CURRICULUM VITAE | 26 |
| ABSTRACT | 30 |

ÚVOD

Předkládaná disertační práce se zabývá problematikou optimalizace sintračního procesu sklosilikátových materiálů s důrazem na využití vybraných typů druhotných surovin (např. sklo pocházející z automobilů), příp. odpadů (kupř. obrazovkové a zářivkové sklo).

Průmyslová výroba stavebních hmot a prvků je náročná, a to nejen z hlediska spotřeby energie, nýbrž i nerostných surovinových zdrojů, kterých celosvětově ubývá poměrně vysokým tempem. Rovněž těžbou a zpracováním surovin může v některých případech docházet k negativnímu ovlivnění životního prostředí.

V několika posledních dekádách minulého století nastal ve stavebnictví dynamický rozvoj v oblasti využívání odpadů ve formě druhotných surovin. Důležitou roli v této problematice zaujímá recyklační proces, jehož výstupem jsou druhotné suroviny, které jsou v mnoha případech považovány za plnohodnotné suroviny a nejen ve stavební praxi nalézají hojně uplatnění. Významným kritériem využití druhotných surovin při výrobě nejen stavebních hmot je schopnost jejich uplatnění v novém materiálu, buď jako součásti matrice (tj. materiál, který se vyznačuje vlastnostmi obdobnými jako konkrétní matrice) či pouze jako plniva (inertní látky). Rovněž je nutné zmínit legislativní aspekty, které se také podílejí výrazně na nakládání s odpady a druhotnými surovinami. Typickým příkladem využití těchto surovin ve stavebnictví je aplikace v cementových kompozitech či při výrobě betonu. Vybrané druhotné suroviny jsou také známy pod názvem tzv. vedlejší energetické produkty. I přesto, že jsou zpracovávány značné objemy odpadů, nezanedbatelné množství stále končí na skládkách bez dalšího využití.

Mezi druhotné suroviny patří i různé druhy recyklovaného skla. Při výrobě skla, resp. produktů ze skla je kladen důraz mimo jiné na jejich „vizuální“ vlastnosti (barva, transparentnost atd.), které jsou také jedním z podstatných kritérií jejich konkurenceschopnosti na trhu. S ohledem na tento fakt nelze při výrobě uplatnit recyklované sklo vždy v plné míře, tj. zcela nahradit sklářský kmen, jenž je výchozí surovinou pro produkci skla, ale pouze v omezeném množství. Tato skutečnost je úzce spjata s vysokými nároky na čistotu střepů a závisí na typu produktu. Pravděpodobně nejznámějšími typy skla v souvislosti s recyklací jsou čiré a barevné obalové lahve a nádoby, dále se pak jedná např. o ploché sklo pocházející většinou z demolic staveb, popř. z vraků automobilů. Některé typy recyklovaného skla však nejsou pro sklárny žádoucí vůbec. Za zmínku stojí elektrotechnické výrobky, které vyčerpaly svou životnost, tj. zářivky, reflektory, lampy, světlomety (z automobilů) atd. Značný objem odpadu skla vzniká též z demontáží již neupotřebitelných televizorů a monitorů. Jedná se o starší typy CRT (Cathode Ray Tube) obrazovek, které jsou nyní postupně nahrazovány LCD monitory. Rovněž na demontáž obrazovek, dále pak čištění a třídění získaných střepů existují specializované linky, jejichž technologie jsou patentovány. Vyvstává tedy problém, kam s druhotnou surovinou, která nenalézá dalšího uplatnění při opětovné produkci skla, v důsledku obsahu některých nežádoucích, resp. toxických prvků, ať už v elementární podobě či ve formě oxidů příp. jiných sloučenin. V oblasti zužitkování druhotných surovin pocházejících z recyklace skla již proběhl a stále probíhá výzkum v mnoha směrech (cementové kompozity, omítkové směsi na makromolekulární bázi, sklo-keramika apod.), avšak zatím nebylo ve všech směrech dosaženo zcela uspokojivých výsledků, které by tuto problematiku řešily komplexně.

Jednou z možností využití recyklovaného skla, jež prozatím nenalézá žádného uplatnění, skýtá výroba sklosilikátových materiálů. Jedná se o materiály vyráběné tepelnou úpravou granulátu skloviny s případným přídavkem příměsí, modifikujících jejich vlastnosti. Tato poměrně nová progresivní technologie naznačila výrazného rozmachu až v posledních letech v ČR, ale také v zahraničí. Sklosilikátové materiály mohou být používány zejména jako obkladové a dlažební prvky, jak v interiéru, tak exteriéru budov. Zužitkování různých druhů recyklovaného skla při

výrobě sklosilikátů by mohlo značně, v příznivém slova smyslu, ovlivnit problematiku odpadového hospodářství, a tudíž i ve výsledku „ulehčit“ životnímu prostředí. S tímto úzce souvisí potřeba rozsáhlého výzkumu v dané oblasti, jež koresponduje s tématem této disertační práce.

1 SHRNUÍ STÁVAJÍCÍCH POZNATKŮ

1.1 Sintrace

Podstatnou částí výrobních procesů, nejen v oblasti produkce stavebních hmot, jsou procesy vedoucí ke zkompaktnění systému jedné či více látek za vyšších teplot. Jedním z těchto procesů je i sintrace. Obecně vyjadřuje sintrace – spékání, jež je ve spojitosti s výrobou, např. keramických prvků či cementu známo pod termínem slinování. Sintrace je děj, ke kterému dochází za zvýšené teploty. Během zvyšování teploty různých látek dochází k mnoha fyzikálním, ale zpravidla i chemickým změnám (vícesložkové systémy), jež jsou závislé zejména na charakteru těchto látek. Pochody, ke kterým dochází při sintraci, jsou zejména zmenšování, popř. úplné vyloučení pórů, přičemž nastane tepelná kompaktace systému a zvětšení objemové hmotnosti, která je při úplném slinutí shodná s měrnou hmotností látky. Pro sintraci je charakteristické, že spojování zrn nastává vlivem zvyšující se teploty, aniž by docházelo k tavení systému. Děje probíhající při sintraci si můžeme představit zjednodušeně na modelu hustě uspořádaných zrn. Mezi zrny se v místech styku vytvoří nejprve srůsty – krčky, které rostou, až se mezi zrny utvoří uzavřený pór. Vlivem povrchového napětí se pór stahuje, dokud tlak uzavřeného plynu nedosáhne hodnoty rovné stahující se síle povrchového napětí.

1.2 Sklosilikátové materiály

Sklosilikátový materiál je poměrně široký pojem. V rámci zadání této disertační práce jsou jako sklosilikáty uvažovány materiály na bázi sintrovaného skla s dalšími příměsemi, jež jsou používány především ve stavebnictví pro povrchové úpravy stěn a podlah. Pro tento účel použití je předurčují především jejich fyzikálně mechanické a chemické parametry v kombinaci se značnou a výhodnou vizuální variabilitou. Z nevýhod, částečně limitujících jejich použití, lze zmínit vyšší plošnou hmotnost a cenu. Dominantní složkou sklosilikátových materiálů, jak vyplývá již z názvu, je sklo. Konkrétně se jedná o granulát skla specifických frakcí. Rozmezí frakcí se nejčastěji pohybuje od 0–4 mm až do 8–16 mm, avšak výjimkou nejsou i jiná frakční rozmezí. Fyzikálně-mechanické a chemické parametry sklosilikátů se odvíjí především od vlastností použitého skla. Zpravidla se jedná o prvky o objemové hmotnosti cca $2300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, pevnosti v ohybu min. $15 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, max. nasákavosti 0,3 %, koeficientu délkové teplotní roztažnosti v rozmezí $7,8\text{--}9,5\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$, mrazuvzdorné – min. 50 cyklů, chemicky odolné atd. Výrobní technologie sklosilikátových prvků je závislá především na charakteru vsázky a daném výrobcí. S ohledem na tyto skutečnosti existují různé výrobní postupy a technologie. Surovina je dodávána již nadrcená v požadovaných frakcích, popř. se její granulometrické složení upraví přímo na místě. Sklo i s pigmenty je navrstveno do žáruvzdorných forem, jejichž povrch je opatřen separačním materiálem. Důvod použití separačního prostředku spočívá především v riziku fixace zahřáté skloviny k formě, což má za následek destrukci výrobku, jednak z důvodů rozdílných koeficientů délkové teplotní roztažnosti a také při případném vyjmutí výrobku z formy. V další fázi jsou naplněné formy umístěny do systémů elektrických pecí s krokovým posunem, které tvoří jádro výrobního postupu. V těchto pecích pak probíhá dle režimové teplotní křivky ohřev, izotermní výdrž a chlazení soustavy forma-vsázka. Následuje již jen mechanická úprava prvků.

2 CÍL PRÁCE

Jak plyne již z názvu, disertační práce je zaměřena na optimalizaci výrobního procesu sklosilikátových materiálů s důrazem na využití druhotných surovin, konkrétně vybraných druhů recyklovaného skla. Některé z těchto střepů v současnosti představují nebezpečný odpad. Cílem předkládané práce je tedy výzkum sklosilikátových materiálů se surovinovou vsázkou částečně či zcela nahrazenou střepy pocházejícími z recyklace skla, což zahrnuje průběžné sledování a vyhodnocení všech podstatných atributů jednak v souvislosti se samotným návrhem a přípravou vsázky, tak i výrobním procesem a v neposlední řadě fyzikálně mechanickými, chemickými charakteristikami a dále pak mikrostrukturou. S ohledem na obsáhlost tohoto tématu jsou dále vymezeny dílčí cíle.

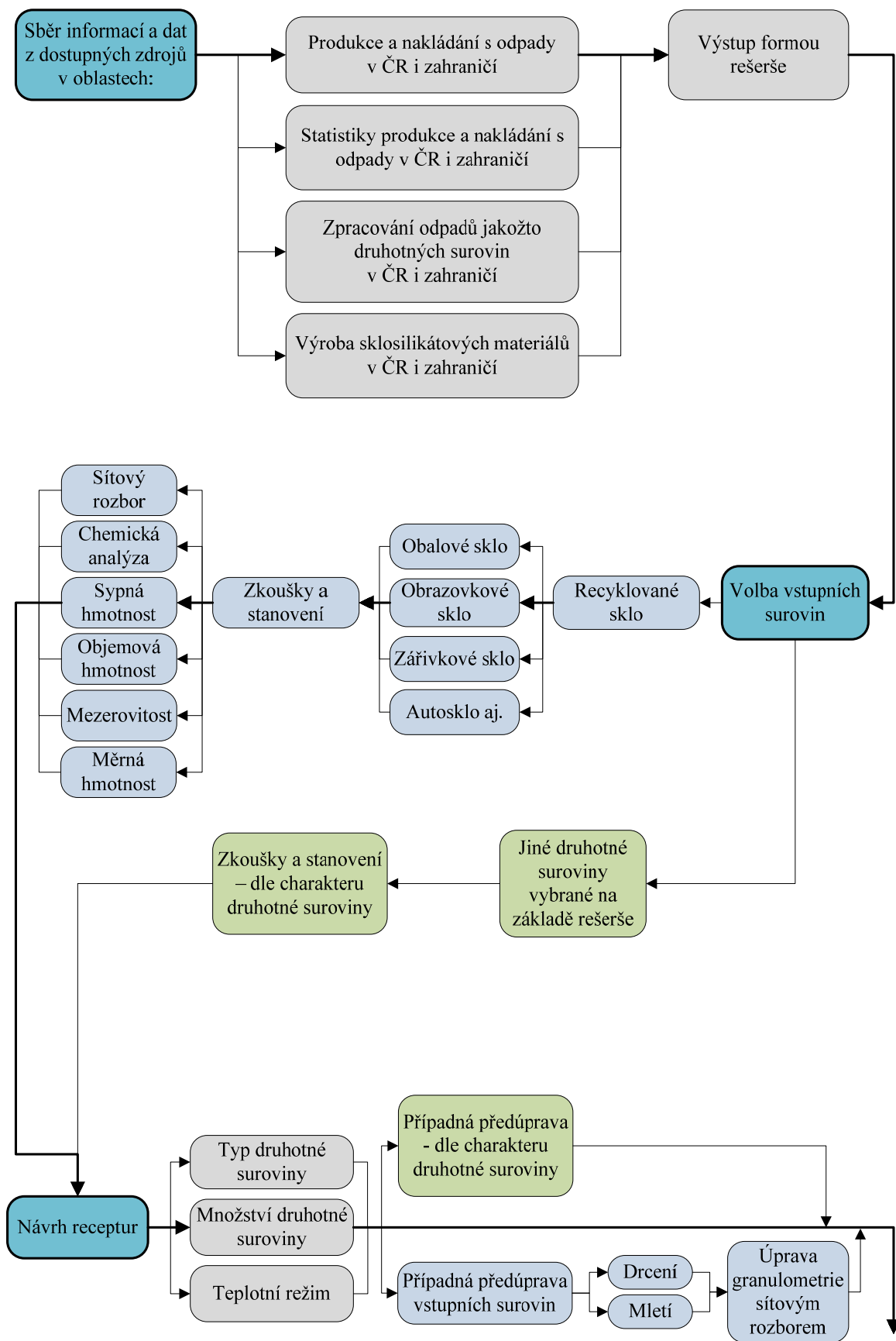
V první řadě se jedná o potřebu rozsáhlého rešeršního průzkumu, což zahrnuje sběr potřebných informací v dané problematice, s vyvozením patřičných dílčích závěrů jako podkladu pro experimentální část disertační práce. Podstatné je tedy studium sklosilikátových materiálů na teoretické úrovni, počínaje používanými surovinami, jejich výrobním procesem, parametry a uplatněním v praxi konče. Rovněž je důležité se zaměřit na otázku odpadového hospodářství, tak aby bylo možné korektně posoudit vhodnost a následnou selekci surovin pro výrobu sklosilikátů nejen z hlediska materiálové kompatibility. Z tohoto důvodu lze shledat opodstatněnost zpracování statistik produkce nejrůznějších odpadů na bázi skla a jejich dalšího uplatnění jakožto druhotných surovin při výrobě nových materiálů.

Stěžejním cílem této práce je pak laboratorní analyzování vybraných, resp. podstatných vlivů a souvislostí zejména z materiálového hlediska, které mohou nastat a resp. podílet se jakýmkoli způsobem při návrhu složení vsázky, výrobě či na parametrech sklosilikátů modifikovaných odpadními střepy jako i variabilitou vlastností samotných střepů. Důraz je třeba v prvotní fázi klást na posouzení vlivu modifikovaného složení vsázky na výrobní proces z hlediska průběhu teplotního režimu s ohledem na finální vzhled sklosilikátů tedy jejich charakteristickou strukturu v makroskopickém měřítku. V návaznosti na toto bylo nutné provést dostatečný soubor stanovení fyzikálně mechanických a chemických parametrů vyrobených materiálů. Podstatné je taktéž studium trvanlivostních parametrů, neboť alternativní suroviny zpravidla nedosahují takových vlastností jako suroviny primárně používané pro výrobu daných materiálů a hmot a je tedy nasnadě prokázat, zda při modifikaci vsázky sklosilikátů dojde ke změně jejich parametrů, jakým směrem a v jakém měřítku. Vzhledem k možným barevným variacím sklosilikátových materiálů jsou při výrobě běžně používána barviva ve formě práškových pigmentů. V tomto ohledu je nutné brát zřetel na více „proměnných“, podílejících se na výše uvedených aspektech. Jeden z dílčích cílů představuje také studium mikrostruktury sklosilikátů modifikovaného složení alternativními plnivy (příp. i v kombinaci s pigmenty), čímž lze zjistit podstatná fakta, např. jak se uplatňují tato plniva v matrici sklosilikátů případně z jakého důvodu dochází k daným především negativním změnám v mikrostruktuře, což se může projevit na finálních fyzikálně mechanických a chemických parametrech. Pro aplikaci výsledků výzkumu v praxi je také podstatné poloprovozní ověření vybraných optimálních receptur sklosilikátů se zvýšeným obsahem druhotných surovin resp. alternativních plniv.

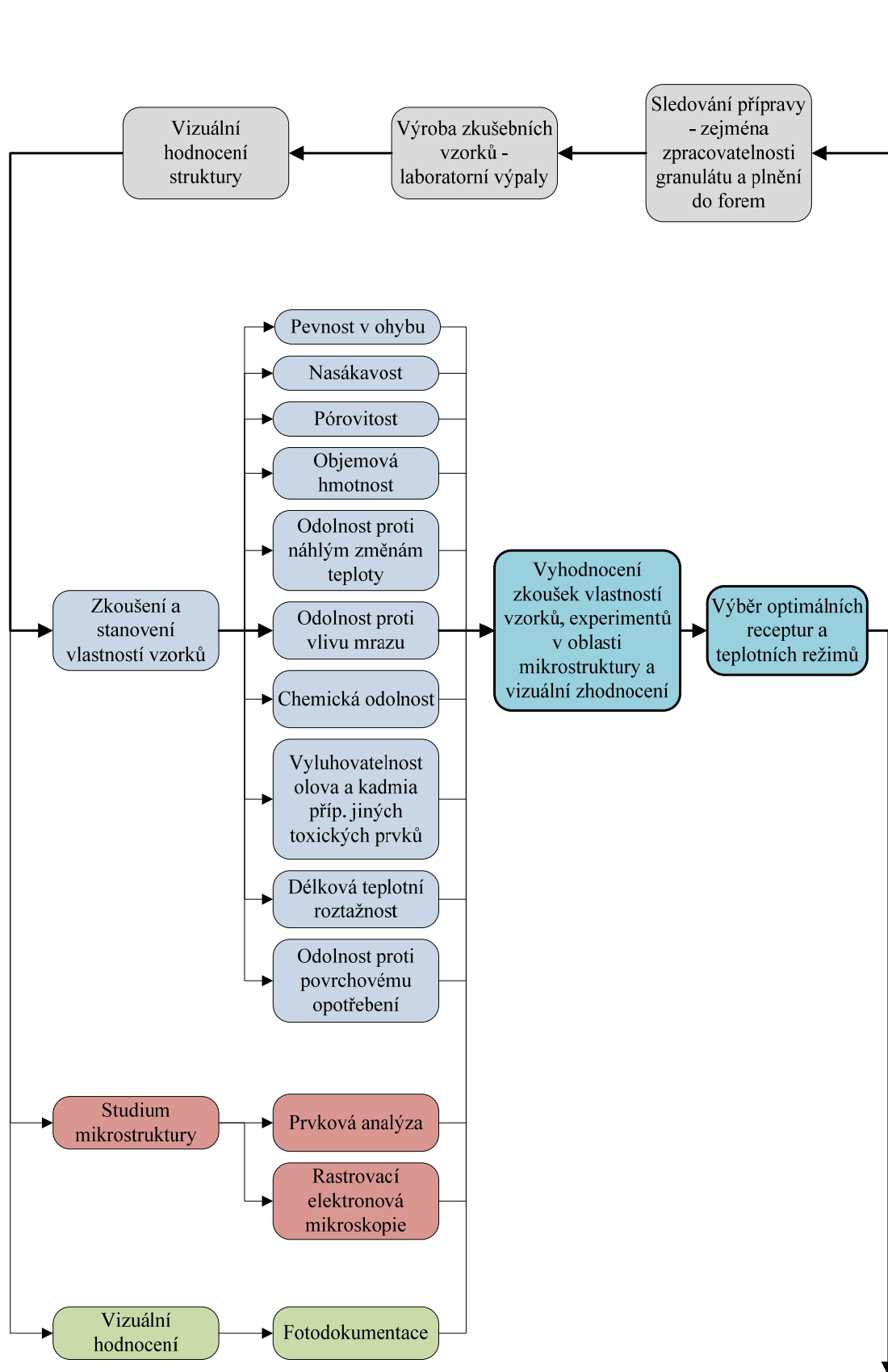
V neposlední řadě si práce klade za cíl zhodnotit všechny získané poznatky, informace, soubory výsledků fyzikálně mechanických a chemických parametrů, výstupů v oblasti mikrostruktury atd. z hlediska vědeckého přínosu, dále pak ekonomického a ekologického aspektu.

3 METODIKA PRÁCE

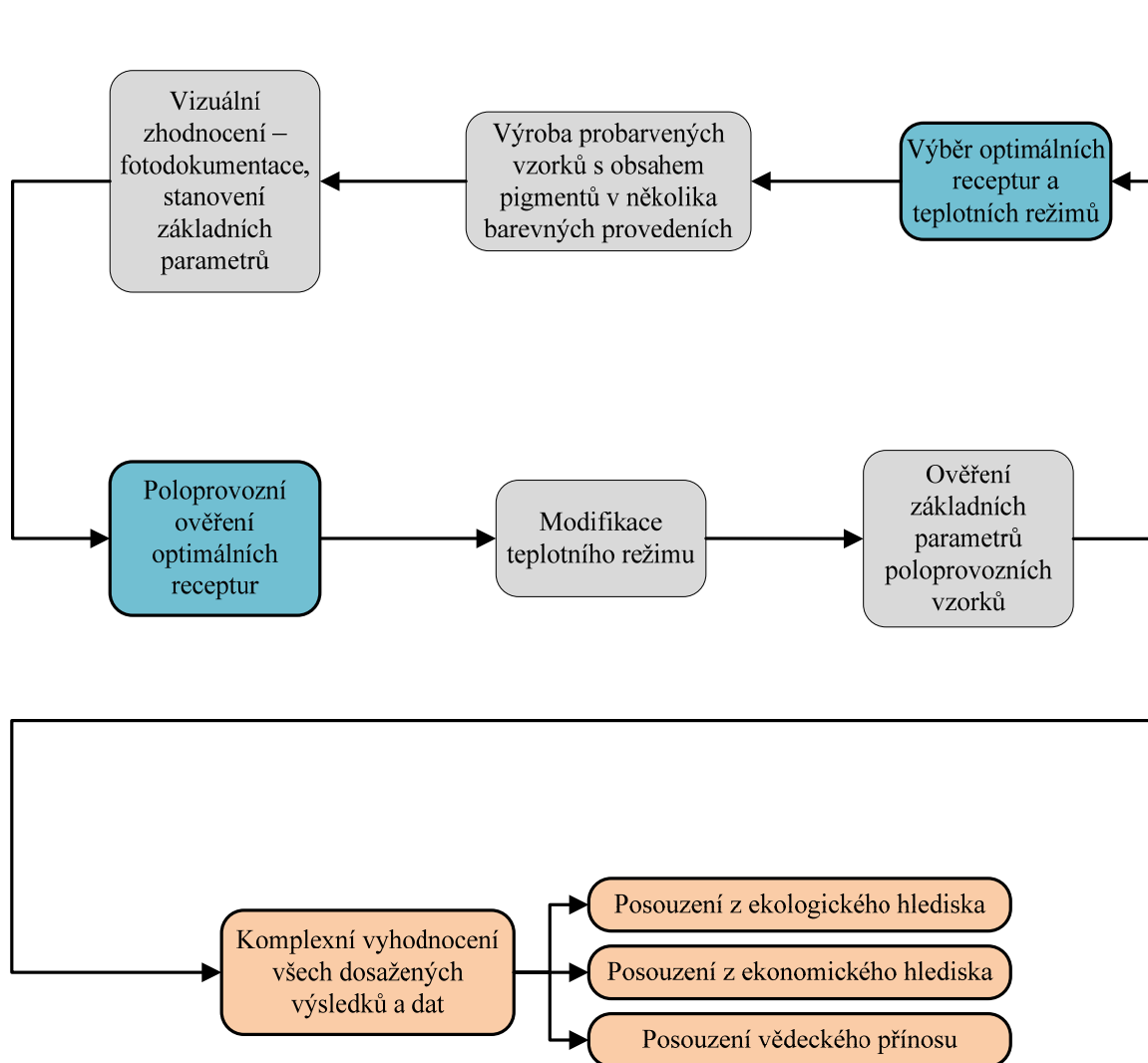
Disertační práce je vzhledem k jejímu rozsahu a přehlednosti rozčleněna do několika etap. Před pristoupením k samotnému laboratornímu výzkumu a všem experimentálním pracím bylo nejprve zapotřebí nashromáždit potřebné informace a data, týkající se řešené problematiky. **První etapa** je tedy koncipována spíše jako přípravná či teoretická fáze, v níž jsou provedeny nejruznější rešerše z dostupných informačních zdrojů. Žádoucí jsou zejména statistiky produkce odpadů obecně a to jak v ČR, tak i v zahraničí, dále nakládání s těmito odpady a zmapování případných recyklačních linek, zabývajících se zpracováním vyprodukovaných odpadů. S uvažováním těchto fakt byly pak navrženy odpady (druhotné suroviny) připadající v úvahu při výrobě sklosilikátových materiálů. Podstatný byl taktéž průzkum trhu z hlediska výroby nejruznějších sklosilikátových produktů, vyráběných sintračním procesem se zaměřením mimo jiné i na jejich vlastnosti. **Druhá etapa** navázala na předchozí a to tak, že na základě zpracovaných dat z první etapy byla provedena selekce vhodných druhotných surovin, vstupujících do výroby. Již před provedením teoretického průzkumu bylo možné konstatovat, že dominantní roli budou zaujímat různé druhy recyklovaného skla pocházejícího např. ze skleněných obalů, obrazovek a automobilů (lepená skla), což se také následně potvrdilo. U takto vybraných surovin byly pak stanoveny základní vlastnosti, např. chemický rozbor, dále stanovení zrnitosti, popř. stanovení velikosti částic jinou metodou, měrné a objemové hmotnosti. V rámci analýzy vstupních surovin byla také zkoumána variabilita jejich základních parametrů v časovém horizontu 180 dní (tj. v jednotlivých intervalech s odstupem 60 dní). Neméně významnou roli má také předúprava uvažovaných surovin, proto se další výzkum ubíral i tímto směrem. Běžně využívanými typy rozdrůžování jsou drcení a mletí. Pro úpravu, popř. vyřízení požadovaných frakcí byl proveden síťový rozbor. První fáze **třetí etapy** řešila návrh jednak základní referenční receptury a v souvislosti s tímto také teplotní režimy. Na základě vizuálního posouzení vzorků, včetně výsledků analýz vstupních surovin, bylo pristoupeno k návrhu receptur modifikovaných druhotnými surovinami a rovněž s upravenými teplotními režimy. Návrhy receptur spočívaly zejména v hledání optimální dávky druhotné suroviny z hlediska dosažených fyzikálně-mechanických a chemických parametrů. Z tohoto důvodu jsou v této etapě stanoveny některé vlastnosti vyrobených vzorků (pevnost v ohybu, nasákavost, mrazuvzdornost, chemická odolnost, výluh škodlivin atd.). Podstatnou částí k pochopení a objasnění vlivu druhotných surovin na výsledné charakteristiky sklosilikátových prvků bylo také studium mikrostruktury. Pozornost byla soustředěna především na možné anomálie a defekty ve struktuře, jak v makroskopickém, tak mikroskopickém měřítku. Další zkoumanou charakteristikou vzorků byla struktura, resp. textura a vzhled typický pro sklosilikátové prvky. Během **čtvrté etapy** byly vyhodnoceny výsledky ze všech provedených stanovení a analýz. V první fázi této etapy byly vybrány optimální receptury s neprobarvenou maticí, což zahrnovalo jak množství a typ střeptů, tak i sintrační režim. Druhá fáze byla pak zaměřena na podrobení těchto vybraných šarží analyzování ve složení modifikovaném pigmenty. Hlavní pozornost byla směřována na vzhled vzorků, tj. textura a probarvení a dále pak na fyzikálně mechanické a chemické parametry včetně mikrostruktury. Výstupem této etapy pak byly optimální receptury pro následující analýzy a stanovení v provozních podmínkách výroby sklosilikátů. **Pátá etapa** řeší tzv. poloprovozní ověření receptur, jež byly shledány jako optimální pro výrobu sklosilikátových prvků. V podstatě se jedná o produkci sklosilikátů modifikovaného složení v běžných provozních podmínkách tuzemského výrobce těchto stavebních prvků. V první řadě byl sledován vliv rozdílného zařízení (pecních agregátů), zejména z hlediska dosažené struktury a dále pak fyzikálně mechanických a chemických parametrů. Vzhledem k časové náročnosti byly poloprovozně ověřeny pouze šarže s neprobarvenou maticí, tj. bez obsahu pigmentů. Poslední, tj. **šestá etapa** této disertační práce byla zaměřena na komplexní zhodnocení všech dosažených výsledků s přihlédnutím k ekonomické a ekologické stránce řešené problematiky, jakož i k otázce vědeckého přínosu. Optimální receptury a teplotní režimy výpalu budou moci pak sloužit jako výchozí údaje použitelné v praxi.



Obr. 3.1 : Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – 1. část



Obr. 3.2 : Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – 2. část



Obr. 3.3 : Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – 3. část

4 VÝSLEDKY A ZJIŠTĚNÍ

4.1 Analýza vstupních surovin

V rámci analyzování parametrů vstupních surovin byly zkoumány tyto konkrétní typy recyklovaného skla:

- recyklované sklo pocházející z demontovaných CRT monitorů a televizorů:
 - kolektivní systém ASEKOL s.r.o. – dále ozn. CRA (P – panely, K – kónusy);
 - spol. MKF TONY s.r.o. – dále ozn. CRM (P – panely, K – kónusy);
- recyklované sklo pocházející ze sběru čirých obalů:
 - kolektivní systém EKO-KOM a.s. – dále ozn. OBC;
- recyklované sklo pocházející ze sběru barevných obalů:
 - kolektivní systém EKO-KOM a.s. – dále ozn. OBB (h – hrubá frakce, j – jemná frakce);
- ploché sklo tmavé (pocházející mimo jiné i z demolic objektů):

- dále ozn. PL;
- střepy pocházející z recyklace čelních lepených skel automobilů:
 - spol. SPL Recycling a.s. – dále ozn. AS;
- střepy pocházející z recyklace zářivek:
 - spol. RECYKLACE EKOVUK, a.s. – dále ozn. ZA.

Pro označení referenční suroviny je dále v textu používán symbol „REF“.

4.1.1 Granulometrické složení

Porovnání křivek zrnitosti získaných ze středních hodnot propadů všech analyzovaných surovin poukazuje na výrazné difference jednotlivých typů střepů. Jako původce těchto rozdílných granulometrických parametrů lze shledat jednak konkrétní kolektivní systém. Dalším aspektem podílejícím se na výsledném granulometrickém složení je také samotný způsob zpracování a s tím následně související požadavky na další využití recyklovaných střepů. Nejvyšším zastoupením jemných podílů se vyznačovaly suroviny OBBj a CRMK. Naopak střepy větších rozměrů byly obsaženy v surovinách CRMK, OBBh a ZA. Střepy OBBh a ZA se vyznačovaly z hlediska rozměrových poměrů deskovitým tvarem a nezaoblenými hranami. Z hlediska zjištěných zrnitostí zkoumaných surovin lze konstatovat, že při návrhu receptur a teplotních režimů bude třeba věnovat zvýšenou pozornost mimo jiné granulometrickému složení, jež je v této souvislosti velmi podstatné. Granulometrické složení je sice možné upravit tříděním na sítích požadovaných rozměrů, ovšem při snaze o zpracování pokud možno veškerých frakcí recyklovaného skla (tak jak je dodáváno recyklačními linkami) je třeba zohlednit výše uvedené výsledky při návrhu receptur vsázky sklosilikátů. Jako hlavní kritérium hodnocení variability granulometrického složení nebyly uvažovány variační koeficienty celkových propadů, nýbrž obsahy jednotlivých frakcí. V případě hodnot v_x , získaných z propadů totiž s rostoucí velikostí síta (částic – střepů), a tedy klesajícími hodnotami propadů se projevuje klesající trend variability granulometrického složení. Jinými slovy se může zdát, že variabilita zrnitosti roste se snižující se velikostí síta neboli střepů. Výpočtově se jedná o korektní hodnoty. Avšak pro aplikaci dané suroviny do vsázky sklosilikátů je podstatné, nakolik je proměnné v čase granulometrické složení – konkrétně obsah jednotlivých frakcí, což souvisí např. s vrstvením vsázky do forem a finálním vzhledem (textura). Hodnoty v_x jednotlivých frakcí charakterizující variabilitu jejich obsahu v čase pak již však poukazují, jakou lze očekávat variabilitu zrnitosti analyzovaných recyklovaných skel v čase.

4.1.2 Chemické složení

Z celkového pohledu se jedná o několik typů silikátových skel, z nichž některá se vyznačují specifickým složením, což je dáno především z účelu jejich použití. Při komparaci obsahu dominantního síťotvorného SiO_2 bylo zjištěno, že největší podobností referenční surovině se vyznačují OBC, OBB, PL, AS a ZA. Avšak s uvážením dalších složek je evidentní, že zde existuje jedna výrazná difference, jež odlišuje REF od ostatních surovin. Jedná se o poměrně vysoké množství B_2O_3 , který je do skla zpravidla vnášen za účelem dosažení snížení délkové teplotní roztažnosti a s tím související zvýšení odolnosti vůči náhlým teplotním změnám. Boritá skla se také vyznačují zvýšenou mechanickou pevností v tahu a výrazně lepší chemickou odolností. B_2O_3 se ve sklech uplatňuje jako síťotvorný prvek. Výše uvedená fakta tedy poukazují na vysokou jakost tohoto typu skla ve srovnání s ostatními analyzovanými. K tomuto také přispívá vyšší obsah Al_2O_3 a snížený výskyt alkálií, zejména tedy Na_2O . Oxid hlinitý podstatně zvyšuje chemickou odolnost skel, dále modul pružnosti, pročež lze předpokládat, že dochází i ke zvýšení pevnosti. Ke zlepšení dochází také u vrypové pevnosti, kdy lze dosáhnout tvrdosti skla nad 7 dle Mohse.

Naproti tomu alkálie, konkrétně Na_2O , snižují ve sklech pevnost, modul pružnosti, tvrdost, dále dochází k výraznému zhoršení chemické odolnosti.

Střepty pocházející z recyklace obrazovek, konkrétně panely, se v porovnání s ostatními vyznačují především zvýšeným množstvím BaO , SrO a K_2O , dále pak mírně zvýšeným množstvím PbO . Přidávky olova ve sklech mají vliv především na jeho tavitelnost a zvyšují měrnou hmotnost, dále se skla s obsahem PbO vyznačují vysokým indexem lomu, disperzí a nižším modulem pružnosti. Baryum zvyšuje hustotu skel, snižuje viskozitu, dodává sklům lesk. Stroncium ve skle má za následek příznivé působení na absorpci rentgenového záření současně s odolností vůči účinku dopadajících rychlých elektronů, což je důvodem pro přidavek do skloviny obrazovek. Rovněž dochází ke zvýšení viskozity a tepelné roztažnosti. K_2O se ve skle projevuje obdobně jako Na_2O , ovšem vyznačuje se vlivem na ostrost absorpčních pásů ve spektru, čímž je docíleno barevně „čistších“ odstínů. Na základě výše uvedeného lze předpokládat tedy snížení potřebné maximální teploty při výrobním režimu, dále zvýšení objemové hmotnosti vyrobených prvků jakož i změnu finálních parametrů, na což však bude mít vliv i mnoho jiných faktorů. Obsahu BaO , SrO a PbO pak bude třeba věnovat dále pozornost z hlediska možných výluhů z matrice sklosilkátů, poněvadž se jedná o toxické prvky těžkých kovů. Suroviny CRMK a CRAK, tedy kónusy CRT obrazovkového skla, se vyznačují nejnižším množstvím majoritně zastoupeného SiO_2 . V porovnání s obrazovkovými střepty mnohem nižším obsahem BaO a SrO a naopak nejvyšším zastoupením PbO . Chemické složení těchto surovin se tedy nutně musí projevit jak na průběhu teplotního režimu, tak na finálních parametrech sintrovaných desek.

Recyklované střepty OBC, OBB, PL a AS lze na základě provedených rozborů zařadit do jedné skupiny, kdy je evidentní, že se vyznačují obdobnými obsahy většiny zastoupených složek. Ve srovnání s REF a všemi typy obrazovkových sklovin se vyznačují mnohem vyšším množstvím CaO a Na_2O , které jsou do skel vnášeny zpravidla za účelem zlepšení podmínek tavicího procesu, s ohledem také na cenu a dostupnost těchto sklářských surovin. Vliv Na_2O je popsán výše. CaO výrazně zvyšuje chemickou odolnost sodno-draselných skel, zvyšuje tepelnou roztažnost, modul pružnosti a také tvrdost skla. Dále je patrný nízký obsah Al_2O_3 . S výjimkou PL bylo identifikováno zvýšené (s ohledem na výsledné hodnoty obsahů ostatních surovin) množství spalitelných sloučenin, které mohou negativně ovlivnit výslednou strukturu sklosilikátů a rovněž i jejich finální fyzikálně mechanické a chemické parametry. Nejvyšší množství bylo identifikováno v případě obou typů střeptů pocházejících z recyklace obalového skla. Problematickým faktem lze shledat také zvýšenou variabilitu množství těchto látek v čase.

Poslední zkoumaná surovina, tj. ZA, se svým chemickým složením blížícím se spíše obalovým sklům. Výrazný rozdíl lze spatřit především ve vysokém obsahu Na_2O , který nahradil CaO , na základě čehož lze tedy u toho typu střeptů předpokládat snížení mechanické a vrypové pevnosti se současným snížením potřebné teploty k sintraci vsázky. Problematickým se jeví obsah rtuti, jejíž množství však ve zkoumaných vzorcích nepřesáhlo 5 ppm.

Všechny analyzované střepty se vyznačují poměrně malou variabilitou chemického složení, což však neplatí vždy v případě složek zastoupených v minoritní míře až stopovém množství. I složky, jejichž obsah ve skle se pohybuje v řádech procent, mohou mít výrazný podíl na jeho parametrech a to jak z fyzikálního, tak chemického hlediska, a tedy i patrnější výkyvy v chemickém složení se mohou projevit znatelně na jakosti z nich vyrobených materiálů, resp. produktů. V rámci analyzovaných surovin byly monitorovány odchylky obsahu především spalitelných sloučenin střeptů obalového skla a dále pak lepených čelních skel automobilů. Vzhledem k charakteru, tj. cílenému vzhledu – textuře sklosilikátů a s tím související výrobní technologií je zřejmé, že při uvolňování plynů v sebemenším množství nebude docházet k jeho vytěsnění v celém objemu. Sintrace je charakterizována zejména tím, že nedochází k tavení daného materiálu či materiálů, nýbrž pouze natavení zrn, z čehož je patrné, že v případě skla bude viskozita na tak vysoké úrovni, čímž neumožní tvořícím se plynům bezproblémový únik.

4.1.3 Objemová, sypná, měrná hmotnost a mezerovitost

Z porovnání středních hodnot objemových a měrných hmotností je patrné, že nejvyššími hmotnostmi se vyznačují střepy kónusů CRT obrazovek, tj. CRAK a CRMK, což však bylo již zřejmé dle poznatků zjištěných z odborné literatury a potvrzeno chemickým rozborem, kdy tato skla obsahovala cca 20 % PbO. Skutečnost, že CRAK obsahovalo více PbO než CRMP, také koresponduje se zjištěnými údaji ρ_a , resp. ρ_f . Při detailnějším studiu a porovnání hodnot jednotlivých vzorků sledovaných ve zvolených časových intervalech lze spatřit výše uvedenou závislost i zde. Zvýšení ρ_a resp. ρ_f CRAP a CRMP lze připisovat zvýšenému obsahu SrO a BaO. Obecně u všech analyzovaných vzorků bylo zřejmé, že rozdíly ve stanovených hodnotách ρ_a a ρ_f byly minimální a s uvážením chyb, které mohly nastat během jejich stanovení, je lze považovat za téměř totožné, což je pro většinu skel charakteristické. Důvodem provedené komparace bylo posouzení, zda není recyklací v tomto ohledu nijak výrazně zhoršena jakost skla jako takového. V souvislosti s poklesem ρ_a , resp. zvýšení rozdílu mezi ρ_a a ρ_f nebyl potvrzen tedy výrazně negativní vliv. Dle objemových hmotností lze analyzovaná skla rozdělit do tří skupin:

- $\rho_a \cong 2,5 \text{ Mg.m}^{-3}$ kam náleží REF, OBC, OBBj, OBBh, PL, AS a ZA;
- $\rho_a \cong 2,8 \text{ Mg.m}^{-3}$ kam náleží CRAP a CRMP;
- $\rho_a \cong 3,0 \text{ Mg.m}^{-3}$ kam náleží CRAK a CRMK.

Vyhodnocení sypných hmotností a mezerovitostí již nepoukazují na tak jednoznačné souvislosti. Zde se projevilo několik faktorů. Především technologie zpracování, která se odvíjí v první řadě od charakteru samotného výrobku, s čímž pak souvisí sběr a třídění, použité drtiče příp. mlýny atp. Nejnižší ρ_b současně s nejvyššími hodnotami v se vyznačovaly střepy surovin OBBh a ZA. Naopak nejlépe v tomto ohledu dopadla surovina CRMP, čehož však bylo dosaženo na úkor vysokého množství jemné frakce s původem v nutném kroku zdrobnění skla v kulovém mlýnu. Na rozdíl od granulometrického složení kolísaly stanovené hmotnosti a mezerovitost pouze v úzkých rozmezích a obecně se suroviny z hlediska těchto zkoumaných parametrů vyznačovaly velmi nízkou variabilitou ve zkoumaném časovém horizontu, což je zjištění pozitivního rázu.

Nejvyšší míru variability vykazovaly sypné hmotnosti (ve volně sypaném stavu), a s tím částečně korespondující mezerovitosti. Dle očekávání byla samozřejmě z hlediska proměnlivosti nejméně zasažena referenční surovina. Bylo by možné také usuzovat na spojitost mezi variabilitou zrnitosti a mezerovitostí, ovšem je třeba uvážit oscilaci hodnot objemové a měrné hmotnosti, což je na druhou stranu spjato s původem střepů, resp. chemickým složením, jejich tvarem a jakostí. Variační koeficienty ρ_b a v převyšují ρ_a a ρ_f , z čehož plyne, že před výrobním procesem sklosilikátů bude třeba tyto parametry ověřit z důvodu dosažení co nejvyšší přesnosti finální tloušťky či věnovat více pozornosti následné mechanické úpravě na požadovaný formát a tloušťku. Pro dosažení uspokojivých výsledků z hlediska výsledné tloušťky sklosilikátových desek lze doporučit vyšší četnost kontroly zejména parametru ρ_b .

4.2 Stanovení vlastností vyrobených vzorků – laboratorní podmínky

Příklad značení receptury – Parciální substituce primární suroviny:

- REF/CRAP 85/15 – jedná se o sadu zkušebních těles kdy 85 % (hmotnostních) vsázky bylo tvořeno referenčním (sodno-boro-silikátovým granulovaným) sklem a 15 % (hmotnostních) vsázky (primární suroviny) bylo nahrazeno střepy pocházejícími z recyklace CRT obrazovek (proto první dva znaky – „CR“), kdy symbol „A“ značí původ střepů (tj. spol. ASEKOL s.r.o.), přičemž symbol „P“ charakterizuje část obrazovky, která byla použita (v tomto případě čelní panely). Pro všechny sady zkušebních těles, kde byla provedena

částečná náhrada vsázky, byl s ohledem na referenční surovinu použit jednotný teplotní režim s maximální izotermní výdrží na hranici 900 °C.

Příklad značení – plná náhrada vsázky:

- CRMK 680 0–16 – sada zkušebních těles, kdy vsázka byla tvořena pouze CRT obrazovkovými recyklovanými střepy (první dva znaky – „CR“), surovina pochází z recyklační linky spol. MKF Tony s.r.o. (třetí symbol – „M“), přičemž symbol „K“ charakterizuje část obrazovky, která byla použita (v tomto případě kónusy). Následující trojčíslí představuje hodnotu teploty na hranici maximální izotermní výdrže (tj. v tomto případě 680 °C), poslední znaky tj. 0–16 charakterizují granulometrické složení vsázky tj. frakce 0–16 mm.

4.2.1 Parciální substituce primární suroviny

Při uvážení všech analyzovaných parametrů navržených šarží sklosilikátů s parciálně substituovanou primární surovinou v dávkce 5, 10, 15, 20, 35 a 50 % lze souhrnně konstatovat následující:

- Se zvyšující se dávkou recyklovaného skla ve formě střepů v primární vsázce sklosilikátových prvků dochází k poklesu pevností v ohybu, který se projevuje v závislosti na typu použitých střepů vesměs výrazně klesajícím trendem, kdy lze zaznamenat **snížení pevností o cca 30 až 60 %**.
- **Všechny** parciálně modifikované **receptury** vykazovaly tak výrazný pokles pevností v ohybu, že **nedosáhly** na minimální limitní kritérium, tj. **15 N.mm⁻²**.
- S rostoucím přídavkem substituční složky (recyklovaných střepů) lze evidovat zvyšování nasákavosti, avšak tato se s výjimkou dvou šarží vyrobených s využitím obalového skla pohybuje na velice nízké úrovni, nárůst hodnot v závislosti na zvyšujícím se množství není zcela pravidelný, jako v případě klesajícího trendu pevností v ohybu, čímž lze tedy dospět k závěru, že mezi pevností v ohybu a nasákavostí neexistuje výrazná souvislost.
- Co se týká minimálního stanoveného požadavku na **nasákavost**, tj. limitní hodnota **0,3 %**, **vyhověla více než polovina** všech analyzovaných **receptur**.
- Vývoj měrných hmotností se projevil rostoucím trendem u šarží, jejichž vsázka byla nahrazena surovinou vyšší měrné hmotnosti, tj. oba typy střepů obrazovkového skla, ostatní receptury vykazovaly v podstatě konstantní průběhy hodnot měrných hmotností.
- Rozdíl objemových a měrných hmotností koresponduje se skutečnou pórovitostí, přičemž v největším měřítku lze spatřit projev u šarží REF/OBC.
- Porovnáním průběhů hodnot skutečných pórovitostí a pevností v ohybu je evidentní, že zde existuje patrná souvislost, kterou lze charakterizovat jako nepřímou úměrnost.
- Při komparaci trendů zdánlivé pórovitosti, které charakterizují procento otevřených pórů a nasákavosti je patrné, že nelze usuzovat na výraznou podobnost průběhů stanovených středních hodnot.

Na základě výše uvedených bodů vyhodnocení a diskuze výsledků parciální substituce původní vsázky alternativními střepy recyklovaného skla lze dospět k závěru, že modifikací vsázky pouze v částečném množství se jeví jako nevhodná, poněvadž dochází k velmi výrazným poklesům základních fyzikálně mechanických charakteristik. S přihlédnutím k analyzování všech surovin by bylo možné se přiklonit ke tvrzení, že se tak děje v důsledku odlišného složení vůči primární surovině, avšak tato skutečnost se projevila pouze u šarží s využitím obalového skla a částečně střepů recyklovaných skel automobilů, kde bylo identifikováno zvýšené množství spalitelných látek, které jsou zdrojem exotermních reakcí vedoucích ke zvýšené pórovitosti ve finálním

sklosilikátovém prvku. Avšak u ostatních šarží (s vyřazením REF/OBC) docházelo k obdobným poklesům sledovaných parametrů. Vzhledem k tomu, že lze shledat podobnosti v trendech jednotlivých středních hodnot u různých šarží, které obsahují suroviny s rozdílným granulometrickým složením, je možné s jistotou vyloučit i výrazný vliv zrnitosti.

Primární příčinou neúspěšnosti parciální substituce primární suroviny sklosilikátů jsou s největší pravděpodobností velmi výrazné difference v chemickém složení střepeů skla, s čímž souvisí např. jeden, v tomto ohledu velmi podstatný parametr, délkové a objemové dilatace za zvýšených teplot a dále také rozdílný interval měknutí (tedy maximální potřebná teplota pro kompaktaci vsázky).

Jak bylo již řečeno sodnaborosilikátová skla jsou charakteristická nízkými hodnotami součinitele délkové teplotní roztažnosti, který může nabývat hodnot i kolem $3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Tato charakteristika u vstupních surovin analyzována nebyla, avšak byly získány výsledky dílčích analýz primární vstupní suroviny přímo od tuzemského výrobce sklosilikátů, které uvádí přibližnou hodnotu $5,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Z odborné literatury bylo zjištěno, že „klasická“ silikátová skla, mezi něž náleží mnoho druhů plochého a obalového skla, se vyznačují hodnotami cca $8\text{--}9,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Sklo televizních CRT obrazovek je charakterizováno (z uvažovaných typů skla) nejvyšší délkovou teplotní roztažností, tj. až $9,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Takovýto nesoulad hodnot i při malých dávkách se tedy může výrazně projevit především během velmi podstatné a dá se říci, nejdůležitější fáze výrobního procesu, což je chlazení. Navíc při uvážení hodnot deklarovaných tuzemskými výrobci je patrné, že při přetvoření sypké vsázky střepeů v kompaktní výrobek dochází ke zvýšení délkové teplotní roztažnosti z hodnoty $5,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ až na hodnoty v rozmezí $7,8\text{--}9,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, z čehož je evidentní, že dochází k vnitřním strukturálním změnám, jež rovněž nelze zanedbat.

Vliv na nežádoucí snížení soudržnosti matrice sklosilikátů představují také rozdíly v potřebné sintrační teplotě, která nepochybně souvisí mimo jiné s chemickým složením a zrnitostí střepeů vsázky. Působení těchto výše uvedených aspektů se projeví především synergickým účinkem s délkovou teplotní roztažností použitých surovin. Pokud se totiž substituční složka vyznačuje vyšší potřebnou teplotou spékání, dosáhne primární surovina bodu, resp. intervalu měknutí již dříve (je tedy více natavená a může se vyznačovat nižší viskozitou) a při chlazení naopak tato později „tuhne“ resp. pomaleji nabývá na viskozitě. Je tedy evidentní, že v takovém případě během chlazení sklosilikátů se již při určitých teplotách vyznačují alternativní střepey v téměř kompaktní vsázce vyššími pevnostmi než stále natavená primární sodnaborosilikátová sklovina. Při uvážení těchto skutečností je patrné, že následně při poslední fázi chlazení může docházet k oslabení soudržnosti matrice sklosilikátů, která se ale nutně nemusí projevit vizuálně. Na některých vzorcích bylo možné však tyto defekty, které se projevovaly především tvorbou trhlin, identifikovat vizuálně bez bližšího zkoumání. Tytéž souvislosti a zákonitosti platí i v opačném případě, kdy se substituční složka vyznačuje potřebou nižší hranice sintrační teploty než primární surovina REF. Zde již, s ohledem na množství alternativních střepeů ve vsázce, lze předpokládat menší rozsah poruch a to zejména v těchto střepech. Vzorky s vizuálně identifikovanými defekty byly samozřejmě pro analýzy vyřazeny.

4.2.2 Plná náhrada vsázky

Při uvážení všech analyzovaných parametrů navržených a testovaných šarží sklosilikátů, u nichž proběhla náhrada vsázky alternativními střepey v plné míře, lze konstatovat následující:

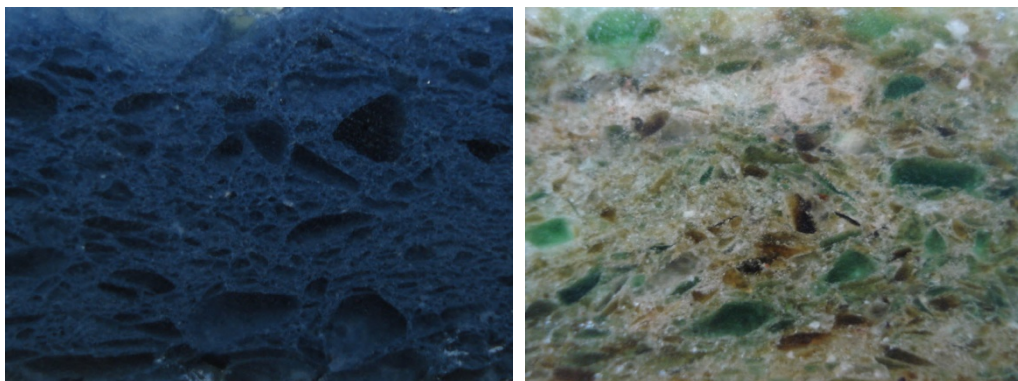
- Všechny šarže modifikovaného složení vsázky **vyjma OBC 0–16** se vyznačovaly středními hodnotami pevnosti v ohybu R_1 **vyšší než $15 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$** , přičemž byly zaregistrovány vyšší pevnosti i u vzorků vyrobených z alternativních střepeů.

- S uvážením minimální nasákavosti E_I sklosilikátů **nebyla překročena** stanovená **limitní hranice všemi** analyzovanými **šaržemi vyjma** receptur na bázi střeptů **OBBh a OBC**.
- Pro korektní hodnocení mrazuvzdornosti se jeví jako vhodnější metodika komparace spíše pevnostních parametrů nežli nasákavostí, což vyplývá z porovnání trendů veličin ΔE a ΔR (procentuální rozdíl mezi nasákavostí resp. pevností stanovenou před a po provedení zmrazovacích a cyklů).
- Měrné hmotnosti odpovídaly cca hodnotám stanoveným v rámci analýz vstupních surovin, z čehož lze usuzovat, že v tomto ohledu nedochází k výrazným změnám struktury.
- Skutečná pórovitost neboli suma otevřených a uzavřených pórů se pohybovala v intervalu cca 3 až 10 %, z čehož objem otevřených pórů činil cca 0,15 až 1,66 %.
- Bylo zjištěno, že pórovitý systém, i když se jedná převážně o uzavřený systém pórů, významným způsobem ovlivňuje většinu ostatních zkoumaných parametrů, ať se jedná o materiálové charakteristiky, trvanlivost či užité vlastnosti, kdy při zvýšení procenta pórů v matici sklosilikátů zpravidla dochází k poklesu většiny jejich parametrů.
- V případě délkové teplotní roztažnosti dochází ke změně tohoto parametru původní suroviny, ovšem výrazné diference z hlediska chemického složení mezi jednotlivými šaržemi se projevily pouze u receptur střeptů CRAK a CRMK.
- Nejnižšími třídami odolnosti proti povrchovému opotřebení se vyznačovaly sady zkušebních těles vyrobené ze střeptů CRAK a CRMK (třída 2 a 3), následované vyšší odolnosti šaržemi CRAP 0–16, CRMP 0–16 a ZA 0–16 (téměř všechny šarže třída 3). Nejlépe odolné vůči mechanickému opotřebení povrchu byly shledány receptury REF 0–16, OBBj 0–4, AS a PL 0–8 (téměř všechny sady zkušebních těles odpovídaly třídě 4). Zjištěné hodnoty odpovídají především chemickému složení původních střeptů, které souvisí mimo jiné i s tvrdostí, jež má výrazný vliv na tento užitečný parametr.
- Protiskluznost všech vyrobených šarží se pohybovala v třídě 3, kdy byly zjištěny diference vyznačující se nepravidelným rozložením, tj. trendem hodnot nerespektující zcela žádný jiný analyzovaný parametr (materiálové charakteristiky vstupních surovin a vyrobených sklosilikátů).
- Požadavkům kladeným na odolnost vůči náhlým teplotním změnám vyhověly všechny testované šarže sklosilikátů s plně modifikovanou vsázkou stejně jako v případě chemické odolnosti.
- Z hlediska výluhů škodlivých prvků byly identifikovány migrace olova a kadmia pouze ve stopovém množství a to v takovém, které je v souladu s platnými normativními a legislativními dokumenty. Možnost výluhu Ba, Sr a Hg byla analyzována pouze teoreticky s vyvozením závěru, že se jedná o příliš rozsáhlou a komplikovanou problematiku, které je věnovat pozornost v případném navazujícím výzkumu.

Zajímavým a nezanedbatelným zjištěním lze shledat např. porovnání vlivu účinků mrazu na šarže vyrobené z panelů a kónusů obrazovek, kdy byly zaznamenány výrazné rozdíly samotných pevností, avšak hodnoty ΔR se nepohybovaly dle předpokladu výrazně výše. Bylo tedy prokázáno, že materiál na bázi spěkaných střeptů, vyznačující se nižší pevností (avšak za předpokladu, kdy $R_1 \geq 15 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$), nemusí být nutně méně odolný vůči působení střídavého mrazu v kombinaci s vodou.

Pro účely analýz následujících etap zaměřených mimo jiné na možnost výroby sklosilikátů na bázi alternativních střeptů s probarvenou maticí a dále pak i poloprovozní ověření byly vybrány tyto střepty: CRAP, CRAK, CRMP, OBBj, AS, PL a ZA. Vzhledem k tomu, že sklosilikáty ze sodnaborosilikátového skla, tj. suroviny REF, se běžně vyrábějí, byly pro další analýzy parametrů vyloučeny a při komparaci je operováno s výsledky udávanými jejich tuzemskými výrobci. Rovněž byla eliminována zcela surovina CRAK, z níž vyrobené vzorky se na jedné straně vyznačovaly vyhovujícími parametry, avšak na straně druhé bylo v nich zaznamenáno určité

procento nečistot, které nebyly na první pohled identifikovatelné, případně se negativně projeví na vzhledu a tím i finální jakosti sklosilikátů. Surovina OBC byla eliminována již v počátku laboratorních zkoušek, tj. při vyhodnocení pevnosti a nasákavosti z důvodu nesplnění těchto požadavků se současným, velmi výrazně zvýšeným procentem zejména otevřené pórovitosti. Poslední skupinu střepek, jež byly zcela vyřazeny a nebyly tudíž podrobeny následujícím etapám analýz a zkoušek, představovala surovina OBBh (z důvodu výskytu pórů kulovitého tvaru, většího průměru dosahujícího až 30 % celkové tloušťky).



Obr. 4.1 : Detail textury reprezentativního vzorku CRMP 860 0–16/M0,8 (vlevo) a OBBj 820 0–4 (vpravo)

4.3 Sklosilikáty s probarvenou maticí

Důležitý aspekt v této fázi analýz představoval kromě již všech analyzovaných charakteristik a parametrů také odstín použitých střepek a z toho důvodu bylo upuštěno od návrhu a ověření receptur střepek OBBj, kdy by pravděpodobně nebylo možné dosáhnout požadovaných barevných provedení a také zajištění pravidelného rozložení v celém objemu.

Přídavek pigmentu se projeví mimo jiné i na charakteristické textuře a výsledný odstín, resp. jeho rozložení je kromě dávky pigmentu a použitého teplotního režimu velmi ovlivněno jednak frakcí a také tvarem střepek vsázky. V případě, že se surovina vyznačuje potřebou nižší teploty než pigmentové barvivo (pro průběh patřičné reakce) pak nastává situace, kdy hraje významnou roli obsah jemné frakce vsázky. Ta totiž zpravidla při teplotním režimu přechází v taveninu a vytváří tak mezi většími zrny „probarvený skelet“, jež dle rozložení ve vsázce definuje i distribuci odstínu ve finální kompaktní maticí. Nejkomplikovanější byla v tomto ohledu shledána výroba sklosilikátů s probarvenou maticí s využitím suroviny ZA, kdy bylo dosaženo uspokojivých výsledků probarvení pouze s modrým pigmentem v dávce 0,5 %. Jako primární pravděpodobnou příčinu lze shledat právě výše uvedené dva faktory, tj. nízkou teplotu při výrobním procesu (z důvodu zachování textury) a absenci jemné frakce.

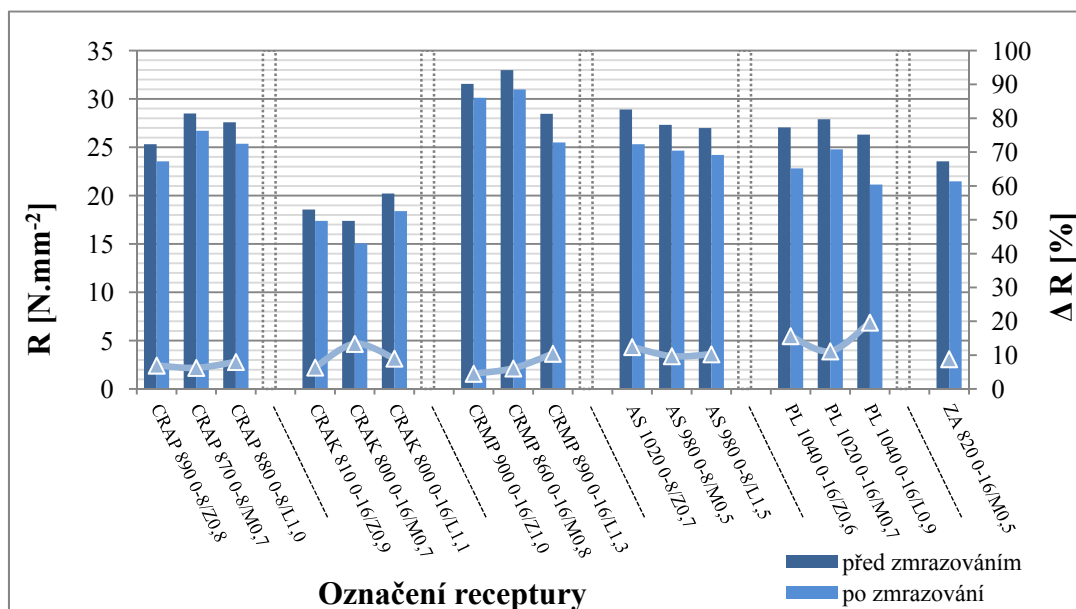
Pro značení pigmentů byly použity symboly: Z – zelený pigment, M – modrý pigment a L – žlutý pigment. **Příklad značení receptury v tabulkách a grafech** uvádějících dosažené fyzikálně mechanické a chemické parametry:

- CRAK 800 0–16/L1,1 – sada zkušebních těles, kdy vsázka byla tvořena pouze CRT obrazovkovými recyklovanými střepek (první dva znaky – „CR“), surovina pochází z recyklační linky spol. ASEKOL s.r.o. (třetí symbol – „A“), přičemž symbol „K“ charakterizuje část obrazovky, která byla použita (v tomto případě kónusy). Následující trojčíslí představuje hodnotu teploty na hranici maximální izotermní výdrže (tj. v tomto případě 800 °C), číslice „0–16“ charakterizují granulometrické složení vsázky tj. frakce 0

–16 mm. Za lomítkem je uvedeno značení pigmentu a jeho dávka v hmotnostních procentech (vztaženo na vsázku) – v tomto případě L1,1 = žlutý pigment v dávce 1,1 %.

Na základě dosažených výsledků lze tedy formulovat následující body:

- Pro dosažení požadovaného odstínu (hodnoceno na základě vizuálního posouzení a porovnání s běžně komerčně vyráběnými sklosilikáty) bylo třeba do vsázky přidat prášková pigmentová barviva v množství 0,5 až 1,5 % (zelený – 0,6 až 1,0 %; modrý – 0,5 až 0,8; žlutý – 0,9 až 1,5 %). Nejnižší potřebnou dávkou se tedy vyznačoval modrý pigment a nejvyšší naopak žlutý.
- Výroba probarvených těles s použitím stěpů ZA byla možná výhradně s přidavkem modrého pigmentu a to tak, že finální podobu probarvené matrice lze hodnotit pouze jako uspokojivou. S největší pravděpodobností se jednalo o nevhodnou kombinaci teplotního režimu a dávky pigmentu, jež však nebylo možné s ohledem na granulometrické a chemické složení patřičně modifikovat.
- Stěpy podrobené analýzám se vyznačovaly potřebou vyšší teploty v oblasti maximální izotermní výdrže v souvislosti s přidavkem pigmentů do vsázky. Nejvyšší teplotní rozdíly byly zpozorovány v případě vsázky suroviny CRAK, která se však „paradoxně“, vyznačovala nejnižší (bez přidavku pigmentů) potřebnou teplotou. V podobných mezích se pohyboval teplotní nárůst šarží CRAP 0–8. Zbylé suroviny byly pak podrobeny teplotním režimům modifikovaným o 45 až 80 °C. Rovněž je patrné, že nejvyššími nárůsty potřebné teploty se vyznačoval přidavek zeleného a nejnižší pak modrého pigmentu.
- **Všechny prezentované receptury vyhověly definovaným požadavkům na vybrané parametry, vyjma šarže AS 980 0–8/M0,5 a AS 980 0–8/L1,5, kdy došlo k překročení hodnot E_I na 0,31 resp. 0,38, přičemž byly rozdíly shledány jako mírně nadlimitní a přikročeno k dalším analýzám.**



Obr. 4.2 : Komparace pevnostních parametrů sklosilikátů s probarvenou matricí před a po provedení zmrazovacích cyklů

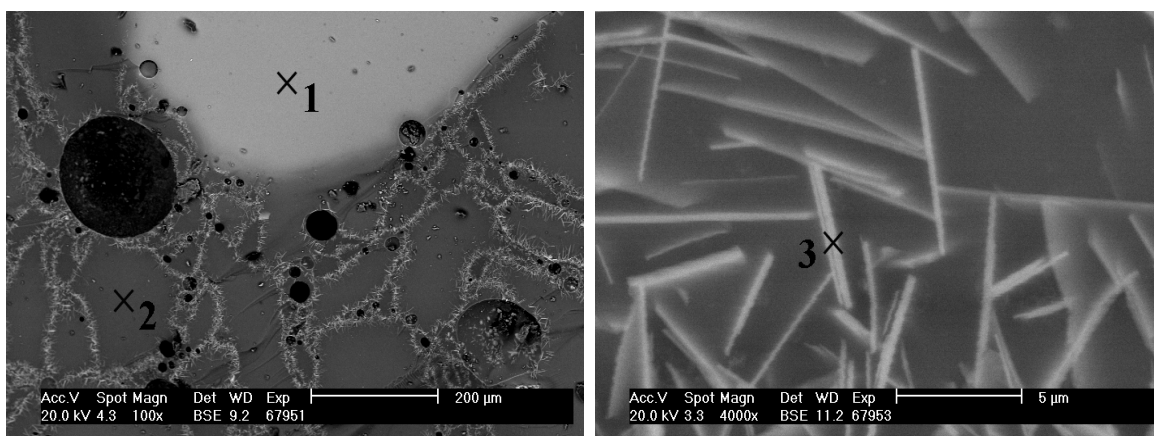
- Kromě výsledků uzavřených pórovitostí, kde byla identifikována souvislost mezi vyšší výsledných hodnot a přítomností modrého pigmentu ve vsázce, nebyly evidovány spojitosti mezi typem, dávkou pigmentu a analyzovanými parametry. Jednalo se pouze o náznak

takovýchto závislostí v lokálních intervalech, které lze připisovat spíše náhodným projevům.

S ohledem na zjištění a výsledky je třeba uvážit, jakým způsobem se v případě přidavku pigmentů do vsázky projevila modifikace teploty spojená s dosažením požadovaného barevného provedení, resp. zda se nejedná o její vliv ve výraznějším měřítku. Toto tvrzení však nelze s využitím výsledných hodnot zcela korektně ověřit. V této fázi lze tedy pouze konstatovat, že přidavkem pigmentů do vsázky sklosilikátů dochází k jejich negativnímu projevu, který však nebyl monitorován ve výraznějším měřítku, bez zjevných závislostí na dosažených parametrech. Pozornost bude ještě třeba soustředit také do analýz spjatých s mikrostrukturou sklosilikátů.

4.4 Studium mikrostruktury sklosilikátových materiálů

Výsledky experimentů a analýz provedených v předchozích etapách výzkumných prací prokázaly, že optimalizací výroby sklosilikátových prvků na bázi sintrovaného skla z alternativních zdrojů dochází ke změnám ve finálních parametrech a také výskytu anomálií v matici nově vyrobených materiálů. Z tohoto důvodu bylo jako nástroje pro posouzení mikrostruktury a jejího objasnění využito prvkové analýzy v kombinaci s REM (rastrovacím elektronovým mikroskopem), kdy je v podstatě mikroskopické posouzení dané lokality doplněno o kvantifikaci zastoupení jednotlivých chemických prvků. Pozornost byla zaměřena primárně na vybrané reprezentativní vzorky, u nichž byly identifikovány anomálie, ale také sklosilikáty bez zjevných defektů struktury. Pro identifikaci zejména zbytkových prvků z jiných částí konkrétních recyklovaných výrobků (televizorů, zářivek atd.), které se s největší pravděpodobností podílely na výskytu defektů struktury apod., byly počteně s využitím atomových hmotností také z prvkového složení stanoveny obsahy předpokládaných oxidů. Tímto bylo orientačně ověřeno, jaké procento kyslíku identifikovaného pomocí prvkové analýzy v dané lokalitě vzorku náleží oxidům, jejichž výskyt byl ve vzorcích předpokládán na základě výsledků chemické analýzy vstupních surovin. V případě, kdy bylo pomocí přepočtu zjištěno, že pro jednotlivé oxidy se nenachází teoreticky dostatečné kvantum kyslíku, bylo možné usuzovat na výskyt některých identifikovaných prvků samostatně a naopak při nadbytku kyslíku se jeví jako vysoce pravděpodobné, že některé prvky obsažené v matici sklosilikátů nebyly dostatečně identifikovány. Současně však bylo nutné také uvážit chybu, s jakou byl daný prvek ve zkoumaném vzorku stanoven.



Obr. 4.3 : Zachycení mikrostruktury reprezentativního vzorku CRMP 815 0–8, zvětšeno 100× (režim – sekundární elektrony, vlevo) a detail krystalických částic, zvětšeno 4000× (vpravo)

Předchozí obrázek reprezentuje pouze vybrané snímky mikrostruktury matrice analyzovaných sklosilikátů, viz. *Obr. 4.3*. V legendě obrázků je mimo jiné uvedeno měřítko vyplývající ze zvětšení mikrostruktury a také specifikace způsobu zobrazení této mikrostruktury, tj. SE (standardní režim – primární elektrony) a BSE (režim sekundárních elektronů). Výhodou režimu zobrazení pomocí sekundárních elektronů je především zachycení nehomogenního složení z hlediska chemické kompozice, což se na snímcích projeví odlišnými odstíny šedi.

Na základě stanovených dat a jejich vyhodnocení plynoucích z REM a prvkové analýzy lze konstatovat následující:

- I když jsou sklosilikátové prvky vyrobené z recyklovaných odpadních střepeň charakterizovány kompaktním vzhledem a požadovanou texturou se současným zachováním jejich fyzikálně mechanických a chemických parametrů, byly v matrici těchto prvků identifikovány anomálie, případně defekty struktury. Převážně se jednalo o cizorodé částice v krystalické formě, příp. podílející se na tvorbě krystalické fáze za zvýšené teploty při teplotním režimu (toto tvrzení by bylo vhodné podložit provedením dalších analýz v oblasti mikrostruktury).
- Z hlediska nehomogenního chemického složení se jako variabilnější jeví vzorky vyrobené z obrazovkového skla, avšak analyzováním fyzikálně mechanických parametrů nebyl prokázán výrazný negativní vliv v tomto ohledu (pouze s výjimkou střepeň CRMK).
- Při výskytu kovových zbytků ve formě částic o průřezu cca 2 mm nedochází v matrici sklosilikátů k zjevným negativním změnám, čehož by bylo možné využít např. při případném vyztužení sklosilikátových materiálů za účelem zvýšení jejich pevnostních parametrů.
- Poměrně podstatné je zjištění, že **i přes svoji komplexnost kombinace REM a prvkové analýzy představuje pouze dílčí metodiku pro objektivní posouzení mikrostruktury sklosilikátových materiálů** na bázi recyklovaného odpadního skla a je nutné se v následujícím výzkumu přiklonit i k jiným doplňujícím experimentálním metodám pro zkoumání a objasnění mikrostrukturálních změn. Pro identifikaci krystalických fází se jeví jako výhodné využití RTG difrakční analýzy, avšak pouze v omezeném měřítku, kdy je třeba uvážit, do jaké míry zkreslí možnost odhalení původu těchto krystalů zvýšené pozadí (RTG diagramu), jež lze s vysokou pravděpodobností pro tento typ materiálu predikovat. Pro korektní studium mikrostruktury sklosilikátů bude nutné využít zkušební metody charakteristické spíše pro samotné sklo. Jako vhodné pro kvalitativní a případně i kvantitativní stanovení jednotlivých oxidů obsažených v matrici sklosilikátů se jeví jako vhodné použití XRF spektrometrické analýzy.

4.5 Poloprovozní ověření receptur

Stanovení charakteristik sklosilikátů v poloprovozním měřítku probíhalo pouze s recepturami, jež byly vybrány jako optimální a to bez přídavku práškových barviv. Důvodem vyloučení šarží se vsázkou modifikovanou pigmenty byly zjištění, které prokázaly ne příliš výrazný vliv těchto aditiv na finální parametry sklosilikátových prvků. S uvážením stanovených středních hodnot analyzovaných parametrů lze konstatovat následující:

- Obecně bylo vyzpořováno, že **diference v pecních zařízeních si vyžadují modifikaci teplotního režimu pro podmínky provozní výroby** a to tak, že dochází k navýšení potřebné teploty v oblasti maximální izotermní výdrže o cca 50 až 100 °C z důvodu očekávané charakteristické finální textury sklosilikátových prvků.
- Velmi podstatnou lze shledat skutečnost, že v porovnání s laboratorními podmínkami výroby zkoumaných sklosilikátů bylo již třeba věnovat zvýšenou pozornost patřičné

modifikaci teplotní křivky, zejména pak **oblasti druhé izotermní výdrže** a to pro všechny použité střepy. Z tohoto hlediska byly šarže rozděleny do tří skupin. Do první byly zařazeny receptury obsahující CRAK, zde byla provedena korekce v největší míře, tj. až na teplotu 500 °C, pro druhý typ vsázky střepů CRAP a CRMP bylo třeba nastolit teplotu cca 520 °C. Zbývající střepy spadaly do třetího typu s režimovou teplotní křivkou, kdy teplota v oblasti druhé izotermie dosahovala stejné hodnoty jako v případě referenční suroviny.

- Pevnosti v ohybu se při výrobě sklosilikátů v poloprovozních podmínkách vyznačovaly vesměs vyššími hodnotami než šarží zhotovených v laboratorních podmínkách, přesto došlo u některých šarží k výraznějšímu nárůstu hodnot ΔR , což charakterizuje snížení schopnosti odolávat střídavému působení mrazu a vody.
- V souvislosti se zvýšením nasákavosti E_1 došlo sice k výraznějším nárůstům, ovšem při relativně nízkých hodnotách tohoto parametru a to jak v porovnání se středními hodnotami E_2 , tak při konfrontaci s výsledky laboratorních analýz.
- Z komparace průběhu hodnot ΔR a E_1 , resp. E_2 je evidentní, že tyto trendy se navzájem respektují. K rozdílnostem ve vývoji hodnot pak dochází při porovnání ΔR a ΔE , což vypovídá o závislosti mrazuvzdornosti z hlediska pevnostních parametrů s jednotlivými nasákavostmi, avšak nikoli s poklesem hodnot nasákavostí vlivem účinků expozice mrazu.
- **S ohledem na vytyčená kritéria byly splněny všechny požadované limity kladené na střední hodnoty R_1 , E_1 a ΔR .**
- Zjištění vyššího procenta zdánlivé pórovitosti PZ v případě některých šarží koresponduje se středními hodnotami nasákavosti E_1 .
- Při uvážení výše hodnot PZ lze tvrdit, že nedošlo k jejich přílišnému ovlivnění během výroby v provozních podmínkách. Výraznější změna uzavřené pórovitosti byla zaregistrována v případě šarže vyrobené s využitím střepů OBBj, což bylo ovšem do jisté míry možné předpokládat, při uvážení vyššího procenta spalitelných látek, a je tedy evidentní, že jejich obsah se více projevil v poloprovozním měřítku nežli při výrobě za laboratorních podmínek.
- Nebyl prokázán výrazný vliv a to jak v pozitivním, tak negativním smyslu provozních podmínek na délkovou teplotní roztažnost, odolnosti proti povrchovému opotřebení (pouze u receptury CRMP 870 0–16 pokles o jednu třídu), statického součinitele tření, jakož i vyluhovatelnosti Pb a Cd.

Z hlediska materiálových charakteristik pro aplikaci sklosilikátových desek z recyklovaného skla je podstatné, že pevnosti v ohybu, nasákavosti a pórovitosti dosahují velmi dobrých hodnot, které tyto prvky předurčují pro širší uplatnění ve stavebnictví. V případě koeficientů délkové teplotní roztažnosti byly zjištěny hodnoty, které se pohybovaly v obdobných mezích jako běžně komerčně vyráběné sklosilikáty. Podstatněji sníženou odolností proti povrchovému opotřebení, se vyznačovala šarže vyrobená z kónusů obrazovek, ostatní receptury byly charakterizovány podstatně vyššími počty otáček, a tedy i vyššími třídami odolnosti proti mechanickému namáhání jejich povrchu. Obkladové, resp. dlažební prvky třídy 2 (v případě CRAK 735 0–16) lze využít ve všech místnostech soukromých bytových jednotek, třídy 3 – 750 ot.min⁻¹ pak na terasách, hotelových a nemocničních pokojích, třídy 3 – 1500 ot.min⁻¹ v kuchyních a koupelnách. Třída 4 charakterizuje prostředí užití tam, kde je možné zanesení abrazivních látek. Podrobná definice klasifikace obkladových prvků odpovídající jejich odolnosti proti povrchovému opotřebení je uvedena v [19].

Pohyb osob, tj. chůze, sportovní činnost nebo doprava, vyžaduje u nášlapné vrstvy bezpečnost proti skluzu. Podlahy bytových a pobytových místností musí mít protiskluzovou úpravu povrchu odpovídající normovým hodnotám, kde je mimo jiné definován minimální součinitel smykového tření nejméně 0,3. Kritériem protiskluznosti u částí staveb užívaných veřejností je pak hodnota součinitele smykového tření minimálně 0,5. [20] Při užití sklosilikátů v konstrukčním celku, který

již vyžaduje více pozornosti, jako je např. schodiště a šikmé rampy, jsou v [21] mimo jiné definovány následující požadavky:

- pochozí plocha schodišťových stupňů a podest, jejichž povrch je bez sklonu – $\mu \geq 0,5$;
- při předním okraji schodišťového stupně a podest do vzdálenosti 40 mm od hrany – $\mu \geq 0,6$;
- po celé ploše ramen šikmých ramp a pochozí plochy podest, jejichž povrch je ve sklonu – $\mu \geq 0,5 + \operatorname{tg}\alpha$ (kde α je úhel sklonu ramene šikmé rampy, resp. podesty).

Konfrontací výsledků odolnosti proti povrchovému opotřebení a protiskluznosti je patrné, že sklosilikáty na bázi recyklovaných střepeů bude možné využít ve škále konstrukčních celků stavebních děl. Při případné aplikaci sklosilikátových prvků do podlah či zavěšených fasád bude také třeba zohlednit vyšší plošnou hmotnost, která plyne z objemové hmotnosti desek na bázi obrazovkového skla kónusů (např. 1 m² při tloušťce 18 mm bude při $B = 2,8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ deska vážit cca 50 kg, kdežto pro sodnaborosilikátové sklo činí tato hmotnost cca 43 kg tedy o cca 16 % méně).

5 EKONOMICKÉ ASPEKTY VÝROBY SKLOSILIKÁTŮ

Náhradou primární vsázky v plné míře lze docílit výrazného snížení nákladů na výrobu sklosilikátových prvků. Primární surovina je výrobcem pořizována za dvanásťnásobek ceny, za kterou je možné získat recyklované střepy (bez ohledu na původ). Navíc dochází při výrobě s využitím obrazovkového skla také k úsporám energie. S ohledem na odhad finální ceny lze konstatovat, že náhradou primární vstupní suroviny v plné míře recyklovanými střepy z různých zdrojů dojde ke snížení této ceny za cca 1 m² sklosilikátové desky cca o 34 %, resp. 42 % vzhledem k původní ceně leštěného, resp. výrobku s neupraveným povrchem obsahujícího sodnaborosilikátové sklo.

ZÁVĚR

V rámci řešení předkládané disertační práce bylo zjištěno, že v současné době existují druhy recyklovaných střepeů, které s ohledem na jejich charakter v souvislosti s platnou legislativou zaujímají pozici odpadu ostatního, resp. odpadu nebezpečného (sklo pocházející z CRT obrazovek a dále zářivkových světelných zdrojů). Selekce a následné zužitkování těchto typů recyklovaného skla představovaly jeden z dominantních a podstatných kroků pro naplnění vytyčených intencí, směřujících k optimalizaci sintračního procesu sklosilikátových materiálů. Při zvážení energetických a surovinových nároků jednak na výrobu „původního“ skla, dále pak recyklačního procesu, který představuje poměrně sofistikovaný mechanismus vyžadující také určité energetické zdroje a technologie, s čímž také souvisí otázka finanční, a v neposlední řadě aspektů environmentálních, tak skýtá využití těchto prozatím obtížně využitelných střepeů obrovský potenciál.

Vzhledem k tomu, že přes provedené rozsáhlé tuzemské i celosvětové rešerše nebyly nalezeny žádné podklady o konkrétní oblasti sklosilikátů, bylo pro prvotní fázi výzkumu využito především informací poskytnutých jedním z tuzemských výrobců těchto poměrně specifických materiálů. Při řešení některých dílčích fází byly proto využity také odborné publikace zabývající se obdobnou problematikou. Výsledky a zjištění získané v rámci provedeného výzkumu lze tedy charakterizovat v některých ohledech jako prvotní a originální, s dopadem na rozvoj dané vědní disciplíny. Sběr informací, dat a výsledky činí disertační práci přínosnou také z hlediska

navazujícího výzkumu, pro který budou zajisté představovat podstatný výchozí bod, resp. cenný informační zdroj.

Na základě analýz sklosilikátů vyrobených za laboratorních a poloprovozních podmínek lze konstatovat, že je možné získat materiály jakosti odpovídající (dokonce i převyšující) jednak běžně produkovaným výrobkům tohoto charakteru a také příslušným normativním požadavkům při plné náhradě primární vsázky recyklovanými střepy z různých zdrojů, přičemž musí být provedena modifikace výrobního režimu s ohledem na původ a jakost použitého skla. Toto tvrzení platí ovšem za podmínek, jež byly nastoleny v rámci řešení předkládané disertační práce a při uvážení variability vlastností daných odpadních střepů, zejména některých typů. Výsledky parciální substituce poukázaly na nevhodnost modifikace vsázky pouze v částečném rozsahu a tato možnost byla tedy ihned v rané fázi zavrhnuta pro další výzkum. Podstatné je odhalení klíčové role primární úpravy skla při recyklaci, kdy finální jakost závisí především na obsahu, resp. přítomnosti cizorodých částic, které se negativně projeví na finálních parametrech sklosilikátů. V největším měřítku byly v tomto ohledu zasaženy střepy obalového skla čirého a méně pak barevného. Rovněž granulometrické složení se projevuje výrazným způsobem, kdy v případě obalového skla jemné frakce se podařilo eliminovat přílišný výskyt defektů struktury, resp. otevřeného a uzavřeného pórovitého systému a byly zhotoveny sklosilikáty dostatečné kvality. Naopak negativní projev distribuce, velikosti a tvaru střepů neumožnil produkci prvků s probarvenou maticí některými typy pigmentů s využitím recyklovaného skla zářivek. I přes existenci propracovaných technologií na zpracování vyřazených obrazovek byly identifikovány značné rozdíly v jakosti recyklovaných střepů pocházejících z různých zpracovatelských linek.

Schopnost migrace toxických prvků z matrice sklosilikátů, jež byla ověřena testy vyluhovatelnosti, se jeví jako podstatná zejména pro navržené šarže obsahující střepy obrazovek a zářivkového skla. Limitní hodnoty výluhů olova a kadmia překročeny nebyly a to dokonce ani v případě střepů kónusů obrazovek, které obsahují PbO v množství až přes 20 %. Bližším analyzováním této problematiky byly nalezeny nedostatky současných legislativních nařízení a dostupných technických norem, které znemožňují objektivní posouzení zdravotní nezávadnosti materiálů obsahujících Ba, Sr a Hg, neboť se při využití těchto střepů již nejedná o odpad a je tedy nasnadě hodnocení stavebních výrobků z nich zhotovených. Z časových důvodů a uvážení komplikovanosti řešení tohoto tématu byla tato otázka ponechána otevřena a skýtá tak prostor pro navazující výzkum.

Při studiu mikrostruktury a jejích změn byly identifikovány některé zajímavé jevy. Konkrétně koexistence krystalických fází a amorfni matrice bez výrazného negativního vlivu na fyzikálně mechanické a chemické parametry v případě šarží z panelového skla obrazovek. Jsou sice známy materiály na bázi skla a keramiky, ty jsou ovšem vyráběny již s cíleným předpokladem současné tvorby obou fází. Na straně druhé je, ale také třeba poukázat na nedostatky této metodiky jako jediného nástroje pro objasnění některých změn v mikrostruktuře, kdy nebylo např. možné korektně posoudit původ identifikované krystalické fáze a dále pak exaktně definovat příčinu tvorby některých defektů struktury, což by bylo vhodné ověřit dalšími experimenty v této oblasti.

Poměrně podstatným se také ukázalo ověření provozních podmínek výroby sklosilikátů, kde byly evidovány především rozdíly v režimové teplotní křivce plynoucí z diferencí laboratorních a běžně používaných pecních zařízení. Byl ovlivněn teplotní průběh v oblasti první a rovněž i druhé izotermy. Druhá oblast izotermy je charakterizována dosažením bezproblémového chlazení, což se v laboratorních podmínkách neprojevovalo. Zde se tedy jedná o velmi důležité zjištění, z kterého plyne nedostatek v provedení laboratorních analýz s vyloučením ověření v běžném provozním prostředí produkce sklosilikátů.

Při uvážení všech teoretických poznatků a stanovených výsledků lze s jistotou tvrdit, že optimalizace produkce sklosilikátů na bázi sintrovaného skla s využitím střepů z alternativních

zdrojů za podmínek prezentovaných v předložené disertační práci se jeví jako nejen možná, ale v mnoha ohledech i výhodná především z těchto důvodů:

- Zefektivnění ekonomické stránky produkce sklosilikátů, při zachování jejich parametrů.
- Spotřeba střepů, které nejsou lukrativní pro sklárny či jiné výrobce využívajících této suroviny – obalové sklo barevné a ploché sklo.
- Zužitkování nebezpečného odpadu – oba typy obrazovkového a zářivkového skla. Snížení zátěže životního prostředí od deponace odpadů.

Závěrem lze také doporučit analyzování jiných možností uplatnění surovin, které byly shledány jako nevhodné pro modifikaci vsázky sklosilikátových prvků, např. při produkci pěnového skla, kde by mohlo být naopak s výhodou využito exotermních reakcí probíhajících za zvýšených teplot v důsledku přítomnosti vyššího množství spalitelných látek.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] MATOUŠEK, J. *Anorganické nekovové materiály*. VŠCHT v Praze, 1992. 160 s. ISBN 80-7080-160-3.
- [2] BRANDŠTETR, J; ŠAUMAN, Z. *Teorie struktury stavebních látek*. Ediční středisko VUT Brno, 1979. 258 s.
- [3] FANDERLIK, I. *Vlastnosti skel*. INFORMATORIUM Praha, 1996. 313 s. ISBN 80-85427-91-5.
- [4] SMRČEK, A.; VOLDŘICH, F. *Sklářské suroviny*. INFORMATORIUM Praha, 1994. 387 s. ISBN 80-85427-47-8.
- [5] SCHILL, F. *Chlazení skla*. INFORMATORIUM Praha, 1993. 301 s. ISBN 80-85427-34-6.
- [6] GERMAN, R., M. *Sintering theory and practice*. A Wiley-Interscience publication, Wiley, 1996. 568 p. ISBN 978-0-471-05786-4.
- [7] GERMAN, M., R.; MESSING, G., L.; CORNWALL, G., R. *Sintering technology*. MARCEL DEKKER, INC., New York, 1996. 560 p. ISBN 978-0-824-79775-1.
- [8] RICHERSON, DAVID W. *Modern ceramic engineering: properties, properties and use in design*. CRC, Francis & Taylor Group, LLC, 1992. 880 p. ISBN 978-0-8247-8634-3.
- [9] MENAD, N. *Cathode ray tube recycling*. Resources, Conservation and Recycling [online]. Elsevier, June 1999. Volume 26, p. 143-154. [vid. 15. července 2008]. ISSN 0921-3449. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344998000792>
- [10] MÉAR, F.; YOT, P.; CAMBON, M.; RIBES, M. *The characterization of waste cathode-ray tube glass*. Waste Management [online]. Elsevier, 2006. Volume 26, p. 1468-1476. [vid. 10. ledna 2008]. ISSN 0956-053X. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X05003144>
- [11] YUN, Y., H.; YOON, Ch., H.; KIM, Y., H.; KIM, Ch., K.; KIM, S., B.; KWON, J., T.; KANG, B., A.; HWANG, K., S. *Glass-ceramics prepared by waste fluorescent glass*. Ceramics International [online]. Elsevier, 2002. Volume 28, Issue 5, p. 503-505. [vid. 5. října 2009]. ISSN 0272-8842. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884202000020>
- [12] PAUL, A.; GHOSH, U., S.; BASU, C. *Ultrasonic velocity and attenuation in Pb-phosphate glass*. Journal of Non-Crystalline Solids [online]. Elsevier, December 1997. Volume 221, p. 265 – 273. [vid. 5. dubna 2009]. ISSN 0022-3093. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002230939700313X>
- [13] MARZOUK, S., Y.; GAARAD, M., S.: *Ultrasonic study on some borosilicate glasses doped with different transition metal oxides*. Solid State Communications [online]. Elsevier, December 2007. Volume 144, p. 478 – 483. [vid. 5. dubna 2009]. ISSN 0038-1098. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038109807006631>

- [14] DEVOS, D.; DUQUENNOY, M.; ROMÉO, E.; JENOT, F.; LOCHEGNIES, D.; OUAFTOUH, M.; OURAK, M. *Ultrasonic evaluation of residual stresses in flat glass tempering by an original double interferometric detection*. Ultrasonics [online]. Elsevier, 22 December 2006. Volume 44, p. e923 - e927. [vid. 5. dubna 2008]. ISSN 0041-624X.
Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041624X06000746>
- [15] Zákon č. 185/2001 Sb., *o odpadech a o změně některých dalších zákonů*. Ve znění pozdějších změn.
- [16] Vyhláška Ministerstva životního prostředí 383/2001 Sb. ze dne 17. října 2001 *o podrobnostech nakládání s odpady*, ve znění vyhlášky č. 41/2005 Sb., vyhlášky č. 294/2005 Sb. a vyhlášky č. 353/2005 Sb.
- [17] Vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 38/2001 Sb. *o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmy*, ve znění vyhlášek 186/2003 Sb., 207/2006 Sb., 551/2006 Sb., 271/2008 Sb., 386/2008 Sb., 127/2009 Sb., 111/2011 Sb.
- [18] Nařízení vlády č. 163/2002 Sb. ze dne 6. března 2002, kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb. ze dne 13. července 2005.
- [19] ČSN EN 14411 Keramické obkladové prvky – Definice, klasifikace, charakteristiky a označování
- [20] ČSN 74 4505 Podlahy – Společná ustanovení
- [21] ČSN 73 4130 Schodiště a šikmé rampy – Základní požadavky

Curriculum vitae

Osobní údaje:

| | |
|-------------------------|------------------------------|
| Jméno a příjmení: | Tomáš Melichar |
| Datum a místo narození: | 5. 12. 1982, Brno |
| Stav: | svobodný |
| Trvalé bydliště: | Osvobození 50, 682 01 Vyškov |

Dosažené vzdělání:

| | |
|------------|---|
| 1994–2001 | Víceleté gymnázium Vyškov |
| 2001–2006 | Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Obor: Materiálové inženýrství, získán titul inženýr |
| 2006–dosud | Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Obor: Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství, státní doktorská zkouška absolvována 3. 10. 2008 |

Pracovní zkušenosti:

| | |
|------------|---|
| 2006–dosud | Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, technicko-hospodářský pracovník, podíl na výzkumné činnosti, výuka bakalářského a magisterského studia |
| 2009–dosud | Znalecký ústav Stavexis, s.r.o., technicko-hospodářský pracovník, sekce zkoušení materiálů |

Publikační činnost:

- [1] MELICHAR, T. Problematika vývoje pevností vibrolisovaných výrobků. In *Juniorstav 2007*. Brno, CERM. 2007. p. 258 - 268. ISBN 978-80-214-3337-3.
- [2] BYDŽOVSKÝ, J.; MELICHAR, T. Sanace narušeného denního překážkového značení železobetonového komína. In *SANACE 2007 SBORNÍK PŘEDNÁŠEK*. Brno, Nosova tiskárna. 2007. p. 425 - 431. ISBN 1211-3700.
- [3] MELICHAR, T. Strength development of vibropressed concrete. In *MATBUD' 2007*. Krakow, Polsko, Institut Materiałow i Konstrukcji Budowanych. 2007. p. 349 - 355. ISBN 978-83-7242-429-7.

- [4] BYDŽOVSKÝ, J.; MELICHAR, T. Výroba sklo-silikátových obkladů s využitím druhotných surovin. In *CONSTRUMAT 2007*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební. 2007. p. 69 - 72. ISBN 978-80-248-1536-7.
- [5] MELICHAR, T. Jemně mletý skelný recyklát jakožto částečná náhrada cementu. In *Sborník anotací XII. SILICHEM 2007*. Doc. Ing. Marcela Fridrichová, CSc. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2007. p. 42 - 51. ISBN 978-80-214-3475-2.
- [6] MELICHAR, T.; PETRÁNEK, V. Využití druhotných surovin na silikátové bázi ve stavebním průmyslu. In *Sborník anotací XII. SILICHEM 2007*. Doc. Ing. Marcela Fridrichová, CSc. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2007. p. 46 - 50. ISBN 978-80-214-3475-2.
- [7] MELICHAR, T. Fyzikálně-mechanické vlastnosti vibrolisovaných prvků. In *ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2007*. Praha, KLOKNERŮV ÚSTAV ČVUT. 2007. p. 129 - 133. ISBN 978-80-01-03794-2.
- [8] MELICHAR, T.; PETRÁNEK, V. Slip-resistant surface treatments on bridge construction walking areas - the first stage. In *Transportation Infrastructure: scientific opinions*. Rumunsko, Constantin Ionescu, Rodian Scinteie, Radu Andrei, Alina Nicuta. Academic Society Matei Teiu Botez Publishing House. 2007. p. 1 - 11. ISBN 978-973-8955-29-5.
- [9] MELICHAR, T.; KHESTL, F. Uplatnění alternativních surovin při modifikaci vsázky sklosilikátových obkladových prvků a jejich vliv na vybrané fyzikálně-mechanické vlastnosti výsledných produktů. In *Juniorstav 2008*, Sborník anotací. 2008. p. 333 - 340. ISBN 978-80-86433-45-5.
- [10] KHESTL, F.; BYDŽOVSKÝ, J.; ŠNIRCH, Z.; MELICHAR, T. Cementokonopné desky ve stavebnictví. In *Sanace a rekonstrukce staveb 2008*. 1. Brno. 2008. p. 196 - 200. ISBN 978-80-02-01998-5.
- [11] MELICHAR, T. Glass addition influence on cement-bound composite materials' strength characteristics. In *Proceedings of the International Symposium "Computational Civil Engineering 2008"*. 1. Iasi, Romania, Publishing House "MATEI TEIU BOTEZ" Academic Society, Iasi, Romania. 2008. p. 325 - 333. ISBN 978-973-8955-41-7.
- [12] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J.; KHESTL, F. Vliv teploty výpalu na strukturu sklo-silikátových materiálů se zvýšeným obsahem druhotných surovin. In *CONSTRUMAT 2008 - Conference about structural materials*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních dílců a hmot. 2008. p. 57 - 66. ISBN 978-80-214-3660-2.
- [13] MELICHAR, T.; PETRÁNEK, V. Modifikace pochůzných povrchových úprav plnivem na bázi druhotných surovin. In *CONSTRUMAT 2008 - Conference about structural materials*. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. 2008. p. 58 - 62. ISBN 978-80-214-3660-2.
- [14] MELICHAR, T. Využitelnost sklosilikátových desek jako součásti podlahových systémů. In *Konference podlahy PODLAHY 2008*. Praha, Masarykova kolej ČVUT. 2008. p. 227 - 230. ISBN 978-80-254-2560-2.
- [15] MELICHAR, T.; PETRÁNEK, V. Polymerní povrchové úpravy podlah se specifickými vlastnostmi. In *Podlahy 2008*. Praha, Masarykova kolej ČVUT. 2008. p. 241 - 244. ISBN 978-80-254-2560-2.
- [16] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Vliv přídavku druhotných surovin přidávaných při výrobě sintrovaných prvků na jejich výsledné vlastnosti. In *Konference ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2008*. Praha, Masarykova kolej ČVUT. 2008. p. 203 - 209. ISBN 978-80-01-04123-9.
- [17] BYDŽOVSKÝ, J.; MELICHAR, T. Povrchy podlahových konstrukcí na bázi sintrovaného skla. *ERA 21*. 2008. 8(6/2008). p. 82 - 83. ISSN 1801-089X.
- [18] PETRÁNEK, V.; MELICHAR, T. Recycled container glass utilization in epoxy resin based surface treatment production. In *MALTOVINY 2008*. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2008. p. 191 - 194. ISBN 978-80-214-3772-2.

- [19] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Použití sklosilikátových obkladových desek s obsahem druhotných surovin ve stavebnictví. *Obklady dlažba sanita*. 2009. 2(1/2009). p. 24 - 25. ISSN 1802-9035.
- [20] MELICHAR, T. Studium vlastností sklosilikátových obkladových prvků na bázi druhotných surovin. In *JUNIORSTAV 2009*. Brno. 2009. p. 291 - 295. ISBN 978-80-214-3810-1.
- [21] MELICHAR, T.; PŘIKRYL, J.; MATULOVÁ, P. Substituce pojiva v cementových kompozitech surovinami z alternativních zdrojů. In *XII MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE*. Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno. 2009. p. 111 - 114. ISBN 978-80-7204-629-4.
- [22] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Recycled glass as a source raw material for production of sintered board materials. *Sovremennyy Nauchnyy vĕstnik*. 2009. 2009(11). p. 40 - 50. ISSN 1561-6886.
- [23] PŘIKRYL, J.; MELICHAR, T. Basic mechanical properties of paste facade render mixes when incorporating with photocatalytic titanium dioxide. In *Materials, Methods & Technologies, Materials, Methods & Technologies*, Volume 3, Part 1. Burgas, Bulgaria, Info Invest. 2009. p. 442 - 454. ISSN 1313-2539.
- [24] MATULOVÁ, P.; MELICHAR, T.; PŘIKRYL, J. Využití skelného recyklátu v betonových směsích s ohledem na životní prostředí. In *XIX. mezinárodní symposium SANACE 2009*, Sborník příspěvků. Brno, Sdružení pro sanace betonových konstrukcí. 2009. p. 423 - 431.
- [25] MELICHAR, T. Durability of sintered materials modified by alternative silicate filling agents. In *UPDATES IN COMPUTATIONAL CIVIL ENGINEERING*. Iasi, Romania, Publishing House "Matei Teiu Botez" Academic Society, Iasi, Romania. 2009. p. 188 - 193. ISBN 978-973-8955-68-4.
- [26] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Úspory primárních surovin a energetických zdrojů v oblasti výroby sklosilikátových materiálů. In *Proceedings of the International Conference, 15th Construmat 2009*. Praha, České vysoké učení technické v Praze. 2009. p. 207 - 212. ISBN 978-80-01-04355-4.
- [27] MELICHAR, T.; PŘIKRYL, J.; MATULOVÁ, P. Substituce pojiva v cementových kompozitech jemně mletou recyklovanou sklovinou s ohledem na životní prostředí. *Beton TKS*. 2009. devátý(3/2009). p. 50 - 55. ISSN 1213-3116.
- [28] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Netradiční dlažby na bázi skla se zvýšeným obsahem druhotných surovin. In *PODLAHY 2009*. Praha, BETONCONSULT, s.r.o. 2009. p. 229 - 234. ISBN 978-80-254-5231-8.
- [29] MELICHAR, T. Durability of sintered materials modified by alternative silicate filling agents. *"Intersections" International Journal*. 2009. 6(4). p. 61 - 66. ISSN 1582-3024.
- [30] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Sintrované desky na bázi skla ve stavebnictví. In *SANACE A REKONSTRUKCE STAVEB 2009 31. konference*. Praha, Vědecko technická společnost pro sanace staveb a péči o památky - WTA CZ. 2009. p. 226 - 231. ISBN 978-80-02-02190-2.
- [31] PROCHÁZKA, D.; ČERNÝ, V.; MELICHAR, T. Lightweight High-Strength Concrete. In *Technology and innovation in transportation infrastructure*. Iasi, Romania, Editura Societatii "Matei - Teiu Botez". 2010. p. 5 - 14. ISBN 978-606-582-000-5.
- [32] MELICHAR, T.; PETRÁNEK, V. Slip-resistant surface treatments with recycled container glass utilization. *"Intersections" International Journal*. 2010. 7(1). p. 15 - 21. ISSN 1582-3024.
- [33] PROCHÁZKA, D.; MELICHAR, T. Secondary Raw Materials Utilization against Ionizing Radiation. In *Sborník VIII. Mezinárodní vedeckopraktické internet konference "Sostayanie sovremennoy stroitelnoy nauki"*. Poltava, Ukrajina. 2010. p. 1 - 5.
- [34] PROCHÁZKA, D.; KŘÍŽOVÁ, K.; MELICHAR, T. High Strength Concrete Design Problematics. In *New Computational Concepts in Civil Engineering*. Iasi, Romania, Editura Societatii Academice "Matei - Teiu Botez". 2010. p. 364 - 369. ISBN 978-973-8955-87-5.
- [35] MELICHAR, T. Analysis for the use of fire sand as alternative filler in the manufacture of facing tilling elements based on glass. In *NEW COMPUTATIONAL CONCEPTS IN CIVIL ENGINEERING*. Iasi, Romania, Publishing House "Matei Teiu Botez" Academic Society, Iasi, Romania. 2010. p. 289 - 300. ISBN 978-973-8955-87-5.

- [36] MELICHAR, T.; PROCHÁZKA, D.; BYDŽOVSKÝ, J. Ultrasonic impulse method in parameters investigation of glass board composites. In *NEW COMPUTATIONAL CONCEPTS IN CIVIL ENGINEERING*. Iasi, Romania, Publishing House "Matei Teiu Botez" Academic Society, Iasi, Romania. 2010. p. 301 - 309. ISBN 978-973-8955-87-5.
- [37] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J.; PROCHÁZKA, D. Využití ultrazvukové impulzové metody pro hodnocení základních fyzikálně mechanických parametrů amorfních silikátových materiálů. In *CONSTRUMAT 2010 Conference about structural materials*. Bratislava, Slovak University of Technology in Bratislava. 2010. p. 109 - 113. ISBN 978-80-227-3297-0.
- [38] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J.; PŘIKRYL, J. Správkové hmoty s fotokatalytickým účinkem. *Zpravodaj WTA CZ*. 2010. 4(1-2). p. 36 - 39. ISSN 1213-7308.
- [39] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Facing tiling and paving on the basis of sintered glass with alternative silicate fillers. In *Second International Conference on SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS AND TECHNOLOGIES*. Ancona, Italy. 2010. p. 1321 - 1330. ISBN 978-1-4507-1490-7.
- [40] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Sintered glass with increased contents of secondary raw materials. In *Proceedings of the first international conference on structures and architecture, ICSA 2010, Guimaraes, Portugal*. Leiden, The Netherlands, CRC Press/Balkema. 2010. p. 1894 - 1901. ISBN 978-0-415-49249-2.
- [41] MELICHAR, T.; PROCHÁZKA, D.; ČERNÝ, V. Studium fyzikálně-mechanických parametrů lehkých vysokopevnostních betonů s pórovitým kamenivem na bázi spékaných popílků. *Beton TKS*. 2010. Ročník desátý(4/2010). p. 54 - 60. ISSN 1213-3116.
- [42] PŘIKRYL, J.; BYDŽOVSKÝ, J.; MELICHAR, T. Hmoty s fotokatalytickým účinkem určené k opravám betonových povrchů. *Materiály pro stavbu*. 2010. 16.(7). p. 18 - 21. ISSN 1213-0311.
- [43] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Povrchové úpravy stěn a podlah na bázi spékané skloviny modifikovaného složení. In *Podlahy a povrchové úpravy ve stavebnictví 2010*. Praha, BETONCONSULT, s.r.o. 2010. p. 233 - 238. ISBN 978-80-254-7298-9.
- [44] DROCHYTKA, R.; BYDŽOVSKÝ, J.; MELICHAR, T. Vady a poruchy keramických obkladů a dlažeb - poznatky z praxe. *ERA 21*. 2010. 2010(4). p. 78 - 79. ISSN 1801-089X.
- [45] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Sintered board materials made from recycled glass in building industry. In *Service Life Design for Infrastructure Proceedings of the 2nd International Symposium*, Volume 2. France, RILEM Publications s.a.r.l. 2010. p. 749 - 756. ISBN 978-2-35158-096-7.
- [46] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Analýza možnosti modifikace složení sintrovaných materiálů na bázi granulované skloviny alternativními plnivy. In *Sanace a rekonstrukce staveb 2010*. 2010. p. 265 - 272. ISBN 978-80-02-02273-2.
- [47] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J.; PŘIKRYL, J. Fasádní omítkoviny s využitím fotokatalytického TiO₂. *Zpravodaj WTA CZ*. 2010. 2010(3-4). p. 26 - 29. ISSN 1213-7308.
- [48] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J.; PROCHÁZKA, D. Nondestructive evaluation of physico-mechanical parameters of glass-based plate materials. In *Technology and innovation in transportation infrastructure*. Iasi, Romania. 2010. p. 22 - 28. ISBN 978-606-582-000-5.
- [49] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Recyklované sklo jako materiál pro dlažby a obklady. *Podlahy a interiér*. 2011. 2011(1.). p. 24 - 25. ISSN 1214-391X.
- [50] ČERNÝ, V.; PROCHÁZKA, D.; MELICHAR, T. Variabilita vlastností různých druhů popílků. In *Juniorstav 2011*. 1. Brno, VUT v Brně. 2011. (5 p.). ISBN 978-80-214-4232-0.
- [51] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Recyklované sklo ze zářivek jako alternativní surovina pro výrobu obkladů na bázi spékaného skla. *Zpravodaj WTA CZ*. 2011. 2011(1-2). p. 14 - 16. ISSN 1213-7308.
- [52] MELICHAR, T.; PROCHÁZKA, D.; BYDŽOVSKÝ, J. Production of thermal insulations using waste cullet. In *New approaches in numerical analysis in civil engineering*. Iasi, Romania, Editura Societatii Academice "Matei - Teiu Botez". 2011. p. 26 - 36. ISBN 978-606-582-006-7.
- [53] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J.; ČERNÝ, V. Influence of pigment addition on the macro-structure of sintered components based on recycled glass. In *New approaches in numerical*

- analysis in civil engineering*. Iasi, Romania, Editura Societatii Academice Matei - Teiu Botez. 2011. p. 71 - 80. ISBN 978-606-582-006-7.
- [54] PROCHÁZKA, D.; MELICHAR, T.; ČERNÝ, V. Shielding Testing of Barite Blocks. In *New approaches in numerical analysis in civil engineering*. Iasi, Academic society Matei Teiu Botez. 2011. p. 127 - 133. ISBN 978-606-582-006-7.
- [55] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Začlenění problematiky sintrovaného skla do praktické výuky na ÚTHD, Fakulty stavební v Brně. In *CONSTRUMAT 2011 Zborník príspevkov zo XVII. konferencie s medzinárodnou účasťou*. Košice, Slovensko, Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, Katedra materiálového inžinierstva. 2011. p. 86 - 92. ISBN 978-80-553-0685-8.
- [56] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Sklosilikátové materiály se zvýšeným obsahem recyklovaného odpadního skla. *Realizace staveb*. 2011. VI.(3). p. 34 - 37. ISSN 1802-0631.
- [57] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J.; KEPRDOVÁ, Š. Desky na bázi spékaných střepů pocházejících z recyklace lepených skel automobilů. In *PODLAHY A POVRCHOVÉ ÚPRAVY VE STAVEBNICTVÍ 2011*. Praha, BETONCONSULT, s.r.o. 2011. p. 217 - 222. ISBN 978-80-260-0166-9.
- [58] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Studium vlivu příměsí druhého druhu na parametry cementových kompozitů v rámci praktické výuky na ÚTHD, Fakulty stavební VUT v Brně. In *Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2011*. 2011. p. 265 - 269. ISBN 978-80-214-4338-9.
- [59] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J.; ČERNÝ, V. Analysis of the possibility of tile production using waste glass from WEEE - Waste Electrical and Electronic Equipment. In *Building Materials and Building Technology to Preserve the Built Heritage*, Volume 2, Part 2. Brno, Academic Publishing CERM, Ltd. 2011. p. 68 - 76. ISBN 978-3-937066-21-9.
- [60] ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R.; MELICHAR, T. Suitability of different types of fly ash for artificial aggregate. In *Building Materials and Building Technology to Preserve the Built Heritage*, Volume 2, Part 1. Brno, ACADEMIC PUBLISHING CERM, Ltd. 2011. p. 174 - 181. ISBN 978-3-937066-21-9.
- [61] MELICHAR, T.; BYDŽOVSKÝ, J. Modifikace vsázky desek na bázi spékaného skla střepy z alternativních zdrojů. In *Sanace a rekonstrukce staveb 2011*. Praha, WTA CZ. 2011. p. 229 - 234. ISBN 978-80-02-02344-9.
- [62] MELICHAR, T.; PROCHÁZKA, D. Studium vlivu jemnozrnných příměsí z alternativních zdrojů na fyzikálně-mechanické parametry HSC. *Beton TKS*. 2011. 11(6/2011). p. 46 - 53. ISSN 1213-3116.

Abstract

Glass is plentifully used and due to its specific properties irreplaceable material utilized virtually in all areas of human activity. However consequently production of a significant waste glass quantity, which should be recycled. Although there are relatively integrated systems and advanced technologies for recycling of the products and the extraction of certain desirable chemical elements, thereby obtaining relatively high-quality glass, glass factories or other construction materials producers does not appear interest in these shards or there is only a partial utilization of the cullet. This is mainly due to the demands of high quality (but sometimes also specific chemical composition) cullet, which often cannot be achieved while current ways of glass waste collection and its subsequent treatment. Today, the most discussed of group of the cullet, which do not find wider application in the re-production of new materials, glass recycling from waste electric and electronic equipment (WEEE). Probably the highest form cathode-ray television tubes and computer screens, then there could be linear and compact fluorescent lamps. The problem with re-use of these shards is often follow-up producers' fear of some elements in the glass. A wide range of ways to utilize not only these "difficult" types of waste glass offers a glass-silicate materials production. In this case, unlike the manufacture of glass or other products, there is no treatment of shards at high temperatures to melt the charge occurred and therefore a possible devaluation of the final product by impurities or other elements contained. Also, requirements are not for glass-silicates well as their raw materials as compared with the glassworks as high.