

# OBSAH

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>OBSAH .....</b>                                                       | <b>5</b>  |
| <b>1. ÚVOD .....</b>                                                     | <b>7</b>  |
| <b>1.1 CÍLE .....</b>                                                    | <b>7</b>  |
| <b>2. TEORETICKÁ ČÁST .....</b>                                          | <b>8</b>  |
| <b>2.1 SKLO.....</b>                                                     | <b>8</b>  |
| 2.1.1 HISTORIE SKLA .....                                                | 8         |
| 2.1.2 POJEM SKLO.....                                                    | 8         |
| 2.1.3 SKELNÝ STAV.....                                                   | 9         |
| 2.1.4 STRUKTURA SKLA .....                                               | 12        |
| 2.1.5 POPIS ZÁKLADNÍCH VLASTNOSTÍ SKLA.....                              | 13        |
| 2.1.6 SCHEMATICKÝ POPIS VÝROBY SKLA.....                                 | 15        |
| <b>2.2 PROBLEMATIKA TOXICKÝCH LÁTEK V URČITÝCH DRUZÍCH SKLA..</b>        | <b>16</b> |
| <b>2.3 SITUACE TÝKAJÍCÍ SE ODPADŮ NA BÁZI SKLA V ČR A ZAHRANIČÍ ....</b> | <b>17</b> |
| <b>2.4 RECYKLACE SKLA .....</b>                                          | <b>20</b> |
| 2.4.1 RECYKLACE OBALOVÉHO SKLA .....                                     | 20        |
| 2.4.2 RECYKLACE ZÁŘIVKOVÉHO SKLA .....                                   | 22        |
| 2.4.3 RECYKLACE PLAZMOVÝCH, LCD A CRT OBRAZOVEK .....                    | 23        |
| 2.4.4 RECYKLACE PLOCHÉHO SKLA. ....                                      | 24        |
| <b>2.5 TECHNOLOGIE POUŽITÉ PRO KOMPAKTNÍ SPÉKANÉ SKLO .....</b>          | <b>25</b> |
| 2.5.1 R. D. S- CZ s.r.o. SKLOKRYSTALICKÉ DESKY (KRYSTALIK).....          | 25        |
| 2.5.2 CHEMCOMEX Praha a.s SKLOKRYSTALICKÉ DESKY (GLASILEX).....          | 26        |
| 2.5.3 GLASSECO (KUCHYŇSKÉ DESKY A OBKLADY). ....                         | 27        |
| 2.5.4 TECHNISTONE, a.s. ....                                             | 28        |
| 2.5.5 ARTAIC.....                                                        | 30        |
| <b>2.6 TECHNOLOGIE POUŽITÉ PRO VÝROBU PĚNOVÉHO SKLA .....</b>            | <b>31</b> |
| 2.6.1 RECIFA a.s. ....                                                   | 31        |
| 2.6.2 FOAMGLAS.....                                                      | 34        |
| 2.6.3 GOMELGLASS .....                                                   | 34        |
| 2.6.4 GEOCELL.....                                                       | 35        |
| 2.6.5 MISAPOR .....                                                      | 36        |
| <b>3. VÝZKUM.....</b>                                                    | <b>37</b> |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 VÝZKUM V OBLASTI VÝROBY SINTROVANÝCH PRVKŮ.....          | 37 |
| 3.2 VÝZKUM V OBLASTI VÝROBY PRVKŮ NA BÁZI PĚNOVÉHO SKLA..... | 42 |
| 4. VYHODNOCENÍ NA ZÁKLADĚ ZÍSKANÝCH POZNATKŮ.....            | 46 |
| 5. ZÁVĚR.....                                                | 49 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....                                | 51 |
| SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ .....                        | 53 |

## **1. ÚVOD**

Sklo patří mezi oblíbené materiály, jak ve stavebnictví, tak i v jiných odvětvích průmyslu jako je chemický, potravinářský atd. Mezi výhody skleněných výrobků patří především jejich chemická odolnost, dobré mechanické vlastnosti (např. pevnost v tlaku, pevnost v tahu skleněných vláken atd.). V architektuře budov je sklo používáno pro své výborné estetické vlastnosti. Pro stavební účely je sklo vyhledávaným tepelně izolačním materiálem, vyrábí se z něj např. skelná vata, pórovité kamenivo pro zásypy, pěnové sklo. Podstatná část skla je také využita na výrobu okenních tabulí a obalových prvků.

Z hlediska nákladů na výrobu a získávání surovin pro sklářský průmysl je velice důležitou a neocenitelnou vlastností skla možnost jeho opětovného použití (recyklace skla).

V případě recyklace skla jde o to, že sklo jako konečný produkt vstupuje po použití znovu do výroby jako druhotná surovina, aniž by ztratilo jakoukoli vlastnost, která by snížila jeho užitnou hodnotu, až na výjimky skel obsahujících případné nečistoty např. skla s fóliemi mohou tuto užitnou hodnotu snížit. Tak vlastně může sklo teoreticky recyklovat neomezeně. Oproti řadě jiných obalových materiálů má tu výhodu, že nemusí být před znovupoužitím nijak náročně upravováno. Nejčastěji se pouze rozdrtí na skelný písek. K tomu slouží moderní recyklační linka. Toto se týká nejčastěji obalového skla. Recyklace skla je jedním z technologicky nejjednodušších a nejdokonalejších recyklačních cyklů. [20]

Současným trendem je využívání druhotných surovin z ekologického a ekonomického hlediska. Zásadním problémem je ta skutečnost, že některé druhy recyklovaných skel např. vyřazené CRT monitory kónus a stínítko, které jsou součástí obrazovek, obsahují toxické prvky, které znemožňují v plné míře využít tuto surovinu.

### **1.1 CÍLE**

Bakalářská práce se zabývá využitím recyklovaného skla pro výrobu kompaktních a lehčených materiálů. Cílem bakalářské práce je analyzovat stav tuzemské a okrajově i zahraniční situace v oblasti produkce odpadů na bázi skla a jejich následnou konsumpci při opětovném využití formou rešerší příslušných statistik a jiných informačních zdrojů. Záměrem pak bude na základě nashromážděných a vyhodnocených dat (tj. z produkčního hlediska) selekce vhodných typů skel a současně ideový návrh vhodné výrobní technologie konkrétního produktu pro zužitkování těchto surovin.

Důraz bude kladen na deskové materiály používané pro obklady, dlažební prvky a tepelné izolace. S recyklací skla se objevuje také řada problémů, které je nutno zohlednit a dále rozebrat.

## **2. TEORETICKÁ ČÁST**

### **2.1 SKLO**

#### **2.1.1 HISTORIE SKLA**

Historie výroby skla sahá do dávných dějin lidstva, kdy se objevuje na několika místech – v Sýrii asi již z doby 5. tisíciletí př. n. l., v Egyptě kolem roku 3500 př. n. l., nebo v Mezopotámii kolem roku 1600 př. n. l. Ve vývoji výroby skla zaujímá významné místo doba římského impéria, v níž tehdejší skláři dospěli k výrobě tabulového skla relativně jednoduchými metodami, aby tak reagovali na potřebu soudobých honosných staveb. Tabulky litého skla byly nalezeny např. v Pompejích. Užívání plochého skla se značně rozšířilo v prvních stoletích našeho letopočtu, což trvalo do počátku 5. století, kdy začíná spolu s úpadkem římské říše a její kultury i úpadek užívání plochého skla. [11]

#### **2.1.2 POJEM SKLO**

Termín sklo můžeme přiřadit látkám odpovídajícím amorfnímu stavu, homogennosti, tuhosti a tvrdosti při běžných teplotách a vysokou propustností světla v části viditelného spektra. Sklo se také vyznačuje odolností proti povětrnostním a chemickým vlivům, malou tepelnou a elektrickou vodivostí. Výhodou u skla je jeho vysoká nerozpustnost. Rozpouští se pouze v kyselině fluorovodíkové  $HF$  a v horkých roztocích alkalických hydroxidů, protože je tvořeno z převážné části oxidem křemičitým. Základní surovinou pro výrobu skla je křemičitý písek s obsahem  $SiO_2$  kolem 60-80% a zrnitostí 0,4 mm (při tavení ve vanách max. 1,5 mm).

Tento písek musí být chemicky čistý, zpravidla zušlechtěný praním a tříděním. Obsah barvicích látek se udává např. u  $Fe_2O_3$  do 0,2 % pro okenní skla. Přídavkem  $CaO$  ve formě jemně mletého  $CaCO_3$  je upravována rozpustnost a chemická odolnost. Mezi přidávané alkálie se řadí  $Na_2CO_3$  a  $K_2CO_3$  ve formě sody nebo potaše. Jejich hlavní úlohou je snížení teploty tavení. Toto jsou hlavní složky, která je též označena jako sklářský kmen pro výrobu průmyslového skla používaného ve stavebnictví. Jako vedlejší složky se používají dále čeřiva a skleněné střepy. [4]

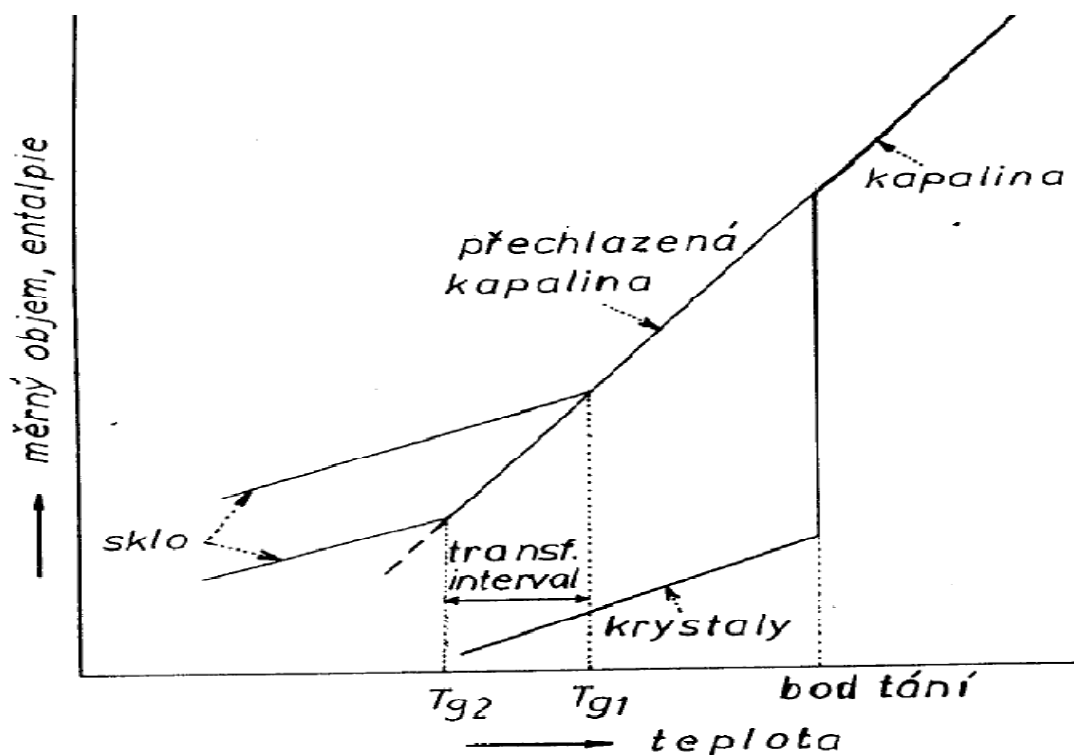
Použitím oxidu olova lze docílit snížení bodu tání skla, dojde také ke snížení viskozity taveniny a zvýšení rozpustnosti kovových oxidů. Využití nachází zejména v barvených sklech. [5]

Čeřiva se používají jako přídavek do sklářského kmene, aby odstranily různé nečistoty a hlavně k homogenizaci skloviny. Mezi další výhody čeřiv patří zejména urychlení tavící procedury a odbarvení skloviny. Mezi čeřiva patří především sírany (sodné, barnaté a vápenaté) a dusičnany (draselné, vápenaté a barnaté).

Skleněné střepy se přidávají ke sklářským surovinám v množství do 30 %. Urychlují tavení a zlepšují počáteční homogenitu skloviny. [4]

### 2.1.3 SKELNÝ STAV

Jedná se o nerovnovážný stav. Při ochlazování skla dojde po dosažení bodu tání ke spontánní krystalizaci, projevující se skokovou změnou. Podmínkou vzniku krystalické fáze je dostatečně pomalé ochlazování taveniny a její velká krystalizační schopnost.



*Obr. 1: Teplotní závislost měrného objemu a entalpie látek v kapalném, krystalickém a skelném stavu [2]*

Pro soustavu daného složení platí, že přechod do stavu skelného probíhá při nižších teplotách, je-li rychlost ochlazování pomalejší [2].

Tento proces nazýváme transformací a nastává při tzv. transformační teplotě, která je nižší než teplota tání a klesá se snižující se rychlostí ochlazování. Transformační teplota není materiálovou konstantou. Transformační teplota souvisí s volbou rychlosti ochlazování taveniny. Transformační bod  $T_g$  je teplota transformace, která odpovídá rychlosti chlazení  $10 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$ . Transformační bod určujeme dilatometrickým měřením. Takto definovaná transformační teplota odpovídá hodnotě viskozity  $10^{13,3} \text{ dPas}$ .

Termodynamická nestabilita skel se projevuje tím, že v určité teplotní oblasti probíhají strukturní změny směřující k ustavení struktury podchlazené kapaliny. Tento proces nazýváme stabilizace skel. Tyto změny můžeme pozorovat v teplotní oblasti, kterou označujeme jako transformační interval. Transformační teplota křemičitého skla se pohybuje v rozmezí 700-790 K. Transformační interval lze vymezit pomocí viskozity a je dán teplotami, při nichž viskozita leží v rozmezí  $10^{12}$ - $10^{15} \text{ dPas}$ . Tyto děje probíhají při izobarickém ochlazování skla.

Sklo je možné připravit i izotermní kompresí kapaliny např. taveniny selenu. Skelného stavu je dosaženo po překročení tlaku skelné transformace. Selenu se využívá při výrobě bezbarvého skla. Tyto informace lze shrnout do poznatku, že z termodynamického hlediska je sklo látka nacházející se v nerovnovážném stavu, kterého jsme dosáhli izobarickým ochlazením pod teplotu transformace nebo též izotermní kompresí nad hodnotu tlaku skelné transformace.

K tomu, aby z taveniny při jejím tuhnutí nevznikla krystalická látka, je nutné rychlé ochlazování. Tavenina musí projít fázemi podchlazené kapaliny a následně vzniku skla. U vysoce viskózních tavenin (tavenina  $\text{SiO}_2$ ) stačí rychlost chlazení  $10^{-4} \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ . Sklo je považováno za materiál, ve kterém po ochlazení výchozí taveniny bude podíl krystalické fáze tak nepatrný, není možné jej experimentálně stanovit. Definici stupně krystalizace lze odvodit podle následujícího vzorce:

$$y = \frac{V(t)}{V(\infty)}$$

$V(t)$ ..... objem krystalů v čase  $t$

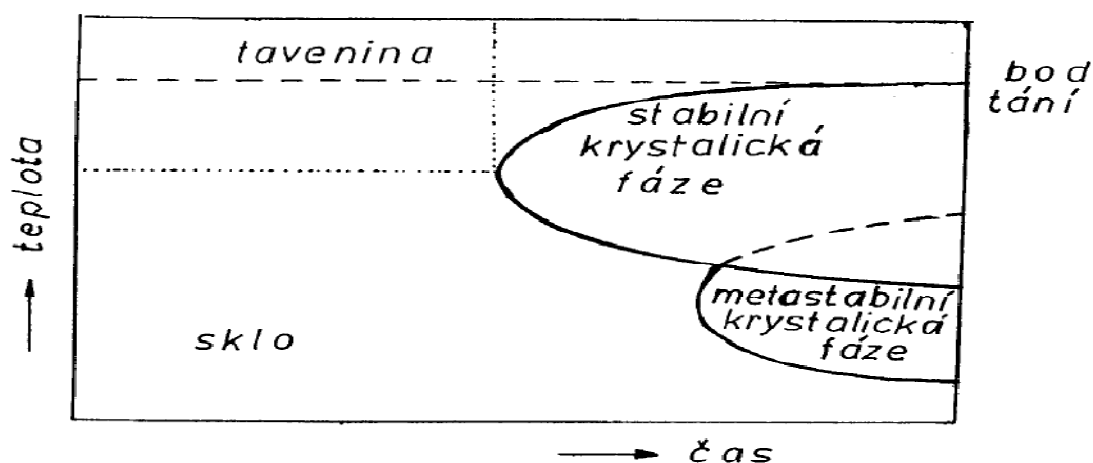
$V(\infty)$ .....objem krystalů v čase  $t \rightarrow \infty$

Podle Uhlmanna má kritický stupeň krystalizace hodnotu  $y=10^{-6}$ . Jestliže dokážeme zjistit hodnotu rychlosti ochlazování, při které dosáhneme této kritické hodnoty  $y$ , pak se možnost přípravy skla redukuje na technickou dostupnost požadované rychlosti ochlazování.

Jedním z východisek pro teoretický výpočet stupně krystalizace je Kolmogorova rovnice, která popisuje závislost  $y$  na rychlosti nukleace  $I(t)$  a na rychlosti růstu krystalů  $u$ . Tudiž lze napsat rovnici ve tvaru:

$$y = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot I \cdot u^3 \cdot t \quad (T)$$

Je-li známa rychlost nukleace  $I$  a růst  $u$  jako funkce teploty  $T$  a času  $t$  můžeme podle rovnice uvedené výše spočítat stupeň krystalizace jako funkci teploty (stupně přechlazení) a času. Tímto je odvozena závislost, z níž můžeme pro libovolnou teplotu přechlazení vypočítat dobu, za kterou bude dosaženo kritické hodnoty  $y=10^{-6}$ . Jestliže provedeme tento výpočet pro celou řadu teplot, získáváme tzv. TTT diagram (Time-temperature-transformation). Typický průběh je uveden na následujícím obrázku:



Obr. 2: TTT diagram [2]

S poklesem teploty roste síla krystalizace a zároveň s tímto poklesem klesá pohyblivost molekul v tavenině. Při vyšších teplotách je třeba dlouhé doby k tomu, abychom dosáhli kritické hodnoty  $y$ . S klesající teplotou a rostoucím přechlazením tato doba klesá. Kritickou rychlost ochlazování, která odpovídá hodnotě  $y=10^{-6}$  lze stanovit dle vztahu:

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_{\text{krit}} = \frac{T_m - T_E}{t_E}$$

$T_m$ .....teplota tání nebo teplota liquidus dané taveniny

$T_E, t_E$ ..... hodnoty odpovídající extrému křivky uvedené na obr. č. 2

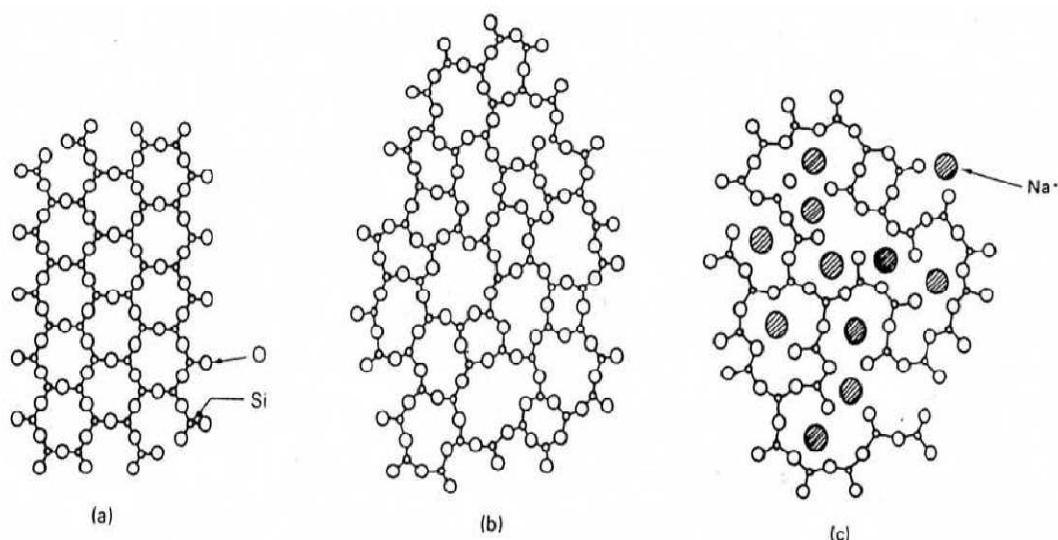
#### 2.1.4 STRUKTURA SKLA

První poznatky o struktuře skel formuloval Zachariasen. Jeho teorie spočívá ve strukturní neuspořádané spojitě mřížce. Lebeděvova teorie se opírá o teorii krystalovou. Zachariasenova teorie vychází z představy o struktuře křemičitých skel, která je založena na předpokladu existence spojitě strukturní mřížce, která je sestavena ze stejných strukturních jednotek jako krystalické silikáty na bázi  $\text{SiO}_4$ . Krystalický  $\text{SiO}_2$  se vyznačuje prostorovou strukturní sítí, která je tvořena pravidelně uspořádanými a vzájemně spojenými tetraedry  $\text{SiO}_4$ . V této struktuře je vzdálenost atomů křemíku a kyslíku konstantní. Ve strukturní síti křemenného skla  $\text{SiO}_2$  ve skelném stavu jsou tyto základní jednotky deformovány. Vzdálenost atomů kyslíku a křemíku vykazuje jistý nepatrný rozptyl. Vzniklá prostorová síť je neuspořádaná. Pokud do této sítě zakomponujeme oxidy alkalických kovů, které označujeme jako modifikátory, tyto tzv. modifikátory přerušují vazby mezi kyslíkem a křemíkem. Pevnost takto vzniklé struktury klesá a vznikají v ní dutiny, které jsou obsazovány právě těmito alkalickými kovy. Strukturní síť tvoří dva typy kyslíkových aniontů. Jedním tímto typem jsou můstkové, které spojují vždy dva atomy křemíku. Po přidání modifikátorů a přerušením můstkových vazeb kyslíků se snižuje teplota potřebná k převedení systému do viskózního stavu. [2]

Modifikátory upravují i jiné vlastnosti skla, jako je např. jeho rozpustnost a chemická odolnost. Tímto modifikátorem je  $\text{CaO}$ , který je přidáván ve formě jemně mletého  $\text{CaCO}_3$ . [4]

Příměsi jiných oxidů (obsahujících Na, K, B, Ca atd.) uvolňují základní strukturu  $\text{SiO}_2$ , snižují teplotu měknutí a vznikají "měkčí" skla, snáze tavitelná; měknoucí už okolo  $400^\circ\text{C}$ . [11]





Obr. 3: Plošné znázornění struktury  $\text{SiO}_2$ : a) skelné  $\text{SiO}_2$ , b) sodnokřemičité sklo, c) Struktura podle Zachariasena a Warrena [2]

## 2. 1. 5 POPIS ZÁKLADNÍCH VLASTNOSTÍ SKLA

U skel můžeme sledovat celou řadu vlastností, které bych zmínil úvodem této kapitoly. Jedná se zejména o vlastnosti skel v roztaveném stavu, jako jsou viskozita, krystalizační schopnost, povrchové napětí, hustota, tepelná kapacita, tepelná vodivost a elektrická vodivost. Pro tyto vlastnosti je třeba znát zejména teplotní průběhy, pokud chceme u skla úspěšně řídit výrobní proces a vyrobit sklo požadovaných mechanických vlastností. Tyto poznatky využijeme při tavení, tvarování a chlazení.

Z hlediska potřeb pro stavební účely jsou nejvíce zajímavé vlastnosti již vyrobeného skla, jeho chování v pevném stavu a podmínek, za kterých toto sklo hodláme používat. Pro účely bakalářské práce postačí pouze stručné shrnutí a základní popis těchto vlastností, abychom se mohli nadále věnovat tématu této práce, což je recyklované sklo a jeho využití.

Hustota- Hustotu ovlivňuje celá řada aspektů, jako jsou chemické složení, teplota, rychlost chlazení taveniny, rychlost chlazení hotového výrobku. S rostoucí teplotou hustota skel klesá. Hustota obyčejného křemenného skla se pohybuje v rozmezí  $2,20\text{--}2,22\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . U binárních křemičitých skel je hustota vyšší v důsledku přidávání kovových oxidů ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , atd.). Skla plochá a obalová mají hustotu kolem  $2,5\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

Tvrдост- Tvrдост skla se odvíjí především od jeho chemického složení, teploty a tepelné historie. Tvrдост křemičitého skla podle Mohsovy stupnice se pohybuje v intervalu 5-7. Nejtvrdší křemičitá skla obsahují 10-12 %  $B_2O_3$ . Naopak menší tvrdosti dosáhneme dotací  $PbO$ .

Mechanická pevnost- Při použití za normální teploty se sklo chová jako pružná látka, tudíž má také svůj modul pružnosti  $E$ , který se pohybuje u většiny křemičitých skel v rozmezí 50-85 GPa. Pevnost v tahu u většiny skleněných výrobků nepřesáhne 100 MPa. Sklo je hodně náchylné na porušení trhlinami, kdy tato pevnost rapidně klesá. U skleněných vláken můžeme dosáhnout i velmi vysokých pevností, které se mohou pohybovat i na hranici 3,5 GPa. Pevnost skla klesá s vysokým obsahem vlhkosti ve vzduchu nebo při zvýšené teplotě. Jednou z možností trvalejšího zvýšení pevnosti je povrchová úprava skel. Častější metodou je tepelné tvrzení, které se provádí prudkým ochlazením povrchu skla, které vyvolá tlakové předpětí na povrchu. Předpětí lze též dosáhnout chemicky. Metoda je založena na iontové výměně.

Tepelné vlastnosti- Jednou z nejvýznamnějších tepelných vlastností skla je jeho teplotní roztažnost. Tato závisí nejvíce na chemickém složení skla. Použití skla za zvýšené teploty je závislé na jeho koeficientu teplotní roztažnosti, který by měl být menší než  $50 \cdot 10^{-7} K^{-1}$ . U křemenných skel se tato hodnota pohybuje v nízkém rozmezí něco kolem  $6,7 \cdot 10^{-7} K^{-1}$ .

Chemická odolnost skla- Je to schopnost skla odolávat působení vody, kyselin, louhů a plynům z ovzduší. Sklo tyto podmínky splňuje nejlépe při porovnání s jinými stavebními materiály. Charakter chemických látek působících na sklo určuje jejich acidita či bazicita. Rychlost rozpouštění je výrazně nižší v kyselém prostředí, z čehož nám zákonitě plyne vysoká odolnost skla proti působení kyselin. Složky z ovzduší způsobují na skle povlak, který je důsledkem koroze. Sklo ztrácí svůj lesk. [2]

Závěrem této kapitoly lze konstatovat, že mezi další vlastnosti skel patří též elektrická vodivost a jiné vlastnosti, jejichž výčet a postupné vysvětlení poskytuje příslušná literatura zabývající se touto problematikou.

## 2.1.6 SCHEMATICKÝ POPIS VÝROBY SKLA

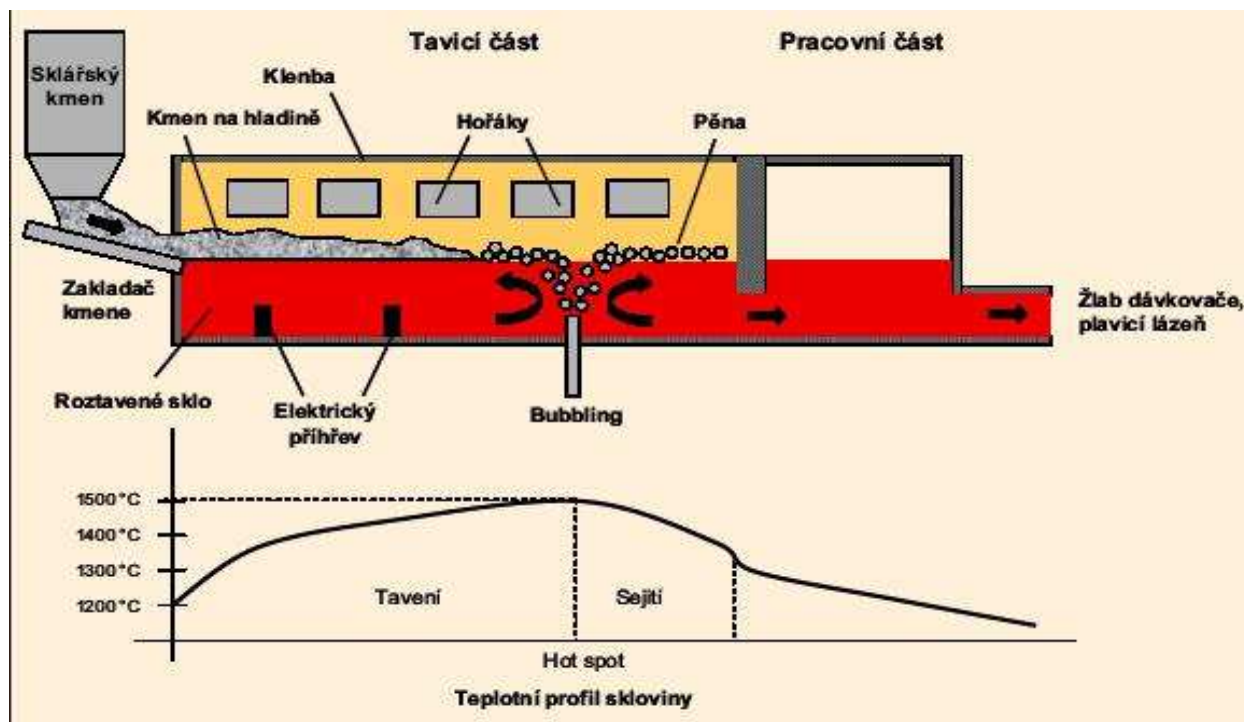
Tato procedura se skládá z několika fází, které následují v následujících pořadích:

- 1) Připravené suroviny (sklářský kmen) a např. rozemleté střepy jsou zakládány do pece na povrch roztaveného skla.
- 2) Teplo z hořáků roztaví tuto směs na taveninu, při čemž dochází k uvolnění většího objemu plynu ve formě bublin.
- 3) Sklo se pohybuje dál v podélném směru pece
- 4) Během několika minut se křemenná zrna rozpouští a bubliny unikají z taveniny. Tento proces nazýváme procesem čerení.
- 5) K promíchání a homogenizaci napomáhá záměrně vháněný vzduch do skloviny. Na obrázku č. 4 je popsán jako „bubbling“.
- 6) Na dně tavícího agregátu je též příhřev.
- 7) Z tavící části sklo přetéká do pracovní části, kde se jeho teplota snižuje chladícím vzduchem na teplotu vhodnou ke zpracování skla. V této fázi se může sklo promíchat ještě mechanickými míchadly.
- 8) Další postup závisí na druhu výrobku, který chceme získat touto výrobou:

Ploché tabulové sklo – roztavená sklovina o požadované teplotě a viskozitě je rozlévána na cínovou plavicí lázeň, na které postupně tuhne a po zchlazení tvoří „nekonečný“ pás skla na konci výrobní linky.

Obalové sklo, televizní obrazovky – roztavené sklo je rozváděno pomocí žlabů k místu konečného zpracování, což představuje například lití do formy a vyfouknutí stlačeným vzduchem.

Izolační skelná vlákna – podobně jako v případě obalového skla je sklo rozváděno systémem žlabů ke speciálním roštům, z nichž se vlákna vytahují a navíjejí na válec. [16]



Obr. 4: Zjednodušené schéma výroby skla [16]

## 2.2 PROBLEMATIKA TOXICKÝCH LÁTEK OBSAŽENÝCH V NĚKTERÝCH DRUZÍCH SKLA

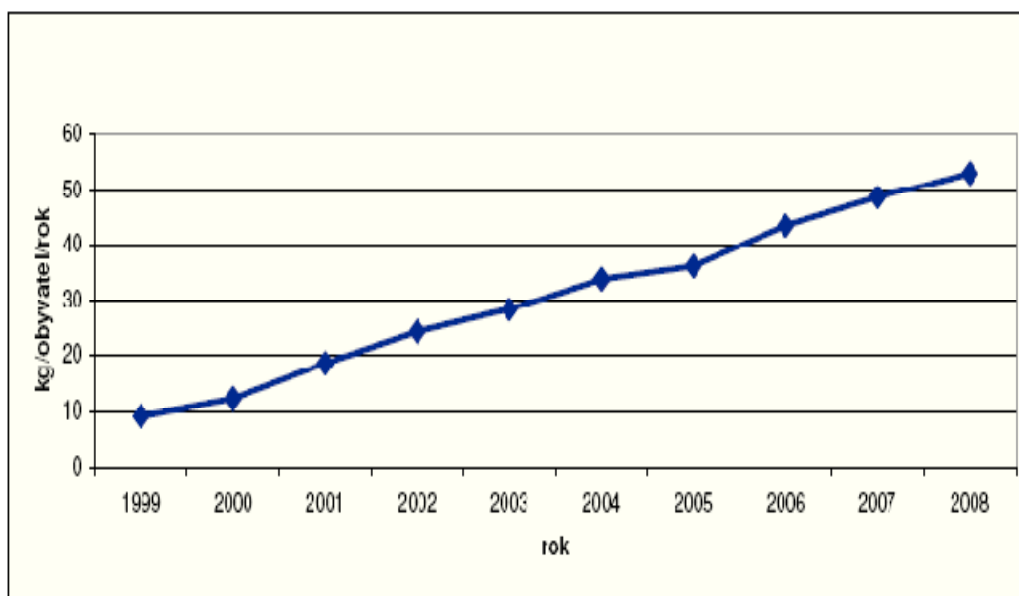
Na úvod této kapitoly bude pojednáno o některých úskalích využití recyklovaného skla, které nemusí mít vždy složení vyhovující hygienickým požadavkům. Trendem posledních deseti let je znovupoužití elektronického odpadu, nejenom skla. Týká se to též kovů a jiných součástí. První část je zaměřena na výzkum využití obrazkového skla, v praxi mizivě nebo vůbec nepoužívaných CRT (cathode ray tube) monitorů při recyklaci a následné výrobě pěnového skla.

CRT obrazovky, ať už monitory od PC či televizní obrazovky obsahují řadu těžkých kovů, z nichž na prvním místě bych zmínil olovo. Tento prvek je obsažen zejména ve vnitřní části těchto obrazovek, přesněji v kónusu a krčku obrazovky. Obsah oxidu olova v této části může činit 21-24 %. Propůjčuje sklu také disperzi a lesk. Dalšími toxickými látkami jsou barium a stroncium. Tyto prvky se nacházejí ve viditelné části monitoru a to zejména ve stínítku obrazovek. Nebezpečím pro životní prostředí je vyluhovatelnost olova, proto se přísně kontroluje. Technologií výroby a následného zpracování recyklovaného skla se bude zabývat další kapitola bakalářské práce.

Dalším prvkem, který je zde uveden je barium ve velmi malém množství a to 0,6 mg/l. Barium se vyskytuje též ve stínítku monitorů. Barium už má pro nás i jiné využití než jenom odpadní látka. Může totiž sloužit jako redukční činidlo při výrobě SiC (siliciumkarbid). Barium slouží jako odbarvovač olovnatých skel. Posledním nežádoucím prvkem obsaženým v CRT je stroncium, jehož vyluhovatelnost se pohybuje na úrovni 44-51 mg/l. [7]

## **2.3 SITUACE TÝKAJÍCÍ SE ODPADŮ NA BÁZI SKLA V ČR A ZAHRANIČÍ**

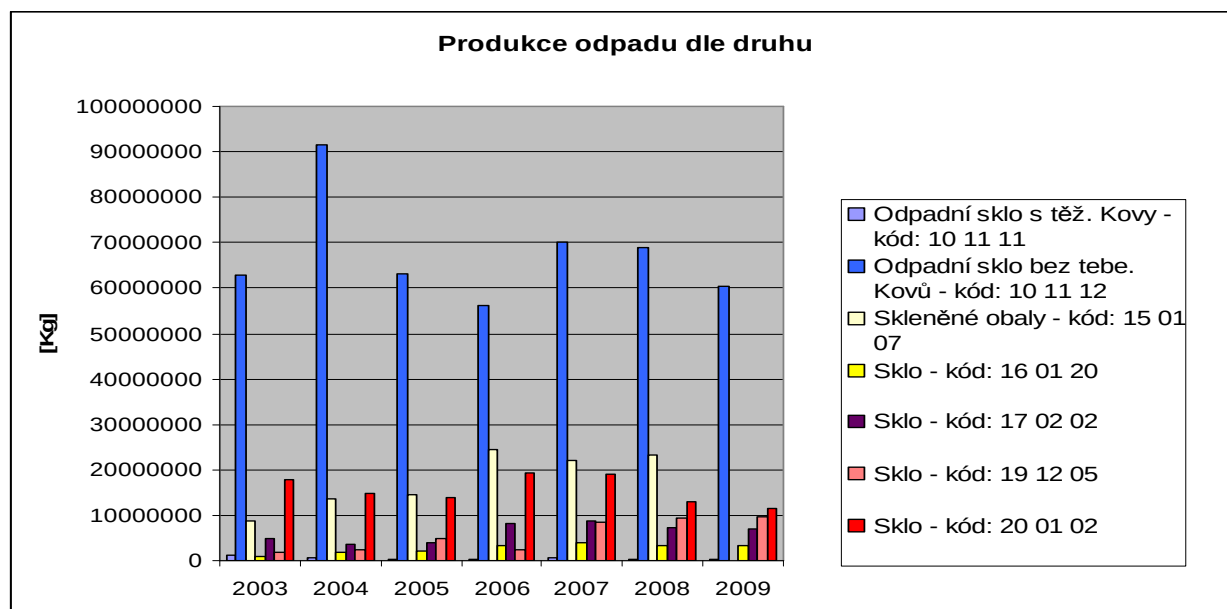
Statistiky, které uvádí Ministerstvo životního prostředí, poukazují na situaci týkající se využití odpadů u nás a v zahraničí. V České republice je vytříděno pouze 20 % komunálního odpadu. To je oproti evropským zemím zhruba polovina produkce. Plán pro ukládání odpadů na skládky v naší republice počítá s maximálním ukládáním 25 % komunálního odpadu do roku 2020. V třídění odpadu na bázi skla a papíru je však Česká republika srovnatelná s ostatními státy EU. [38]



*Graf 1: Celková výtěžnost tříděného sběru v ČR na obyvatele v letech 1999-2008(EKO-KOM)*

Tabulka 1: Produkce skelného odpadu dle druhu pro ČR [37]

| Druh skla                           | Kód      | Produkce odpadu dle jednotlivých let v kg |          |          |          |          |          |          |
|-------------------------------------|----------|-------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                     |          | 2003                                      | 2004     | 2005     | 2006     | 2007     | 2008     | 2009     |
| Odpadní sklo s obsahem těžkých kovů | 10 11 11 | 1310685                                   | 619467   | 375456   | 290687   | 601763   | 301310   | 204242   |
| Odpadní sklo bez nebezpečných kovů  | 10 11 12 | 62883589                                  | 91461287 | 63105506 | 56070455 | 70139870 | 68925844 | 60491436 |
| Skleněné obaly                      | 15 01 07 | 8630554                                   | 13722855 | 14548608 | 24411033 | 21922616 | 23389936 | 85141    |
| Sklo                                | 16 01 20 | 877521                                    | 1686280  | 2109362  | 3372494  | 4002716  | 3379938  | 3189542  |
| Sklo                                | 17 02 02 | 4824584                                   | 3663651  | 3954189  | 8222645  | 8833945  | 7193363  | 7092117  |
| Sklo                                | 19 12 05 | 1722461                                   | 2436298  | 4943183  | 2566348  | 8372313  | 9466115  | 9657823  |
| Sklo                                | 20 01 02 | 17958027                                  | 14659424 | 13930021 | 19186146 | 19015535 | 13062787 | 11535686 |



Graf 2: Produkce odpadu dle druhu [36]

- 10 11 11 → 10 - Odpady z tepelných procesů  
11 - Odpady z výroby skla a skleněných výrobků  
11 - Odpadní sklo v malých částicích a skelný prach, obsahující těžké kovy (např. z obrazovek)
- 10 11 12 → 10 - Odpady z tepelných procesů  
11 - Odpady z výroby skla a skleněných výrobků  
12 - - Odpadní sklo neuvedené pod číslem 10 11 11

- 15 01 07 → 15 - Odpadní obaly, absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály a ochranné oděvy jinak neurčené  
01 - Obaly (včetně odděleně sbíraného komunálního obalového odpadu)  
07 - Skleněné obaly
- 16 01 20 → 16 - Odpady v katalogu jinak neurčené  
01 - Vyřazená vozidla z různých druhů dopravy (včetně stavebních stojů) a odpady demontáže těchto vozidel i z jejich údržby  
20- Sklo
- 17 02 02 → 17 - Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst)  
02 - Dřevo, sklo a plasty  
02- Sklo
- 19 12 05 → 19 – Odpady ze zařízení na zpracování odpadu, z čistíren odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely  
12 – Odpady z úpravy odpadů jinde neuvedených (např. třídění, drcení, lisování a paletizace)  
05 - Sklo
- 20 01 02 → 20 – Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru  
01 – Složky z odděleného sběru (kromě odpadů uvedených v podskupině 15 01)  
02 – Sklo [36]

Produkce odpadu na osobu žijící v EU je přibližně 500 kg na rok, z čehož lze využít pro opětovnou recyklaci přibližně 28 % z těchto odpadů. Odpady putující na skládku, čili zbylých 72 % činí hmotnostně přibližně 130 000 000 tun ročně, což vyžaduje budování stále nových skládek, které dosahují hloubky 10 m a plošně zabírají 13 km<sup>2</sup>. Tyto skládky vznikají každý rok. Produkce skleněného odpadu připadá na EU v celkovém množství 900 000 tun ročně. [6]

Z grafu 2 lze vyčíst vývoj produkce jednotlivých druhů skleněného odpadu. Problematice využití některých druhů těchto skel bude věnována další kapitola bakalářské práce týkající se recyklace a následně technologiím, které dokážou produkt vzniklý recyklací patřičně zužítkovat.

## **2.4 RECYKLACE SKLA**

### **2.4.1 RECYKLACE OBALOVÉHO SKLA**

Na obrázku níže je stručně zachycen životní cyklus skleněného výrobku, respektive skleněného obalu.



*Obr. 5: Zjednodušené schéma recyklace obalového skla [17]*



## **Jednotlivé fáze recyklace obalového skla:**

### **1) Sběr**

Sběrem končí životní cyklus obalového skla a do nového cyklu vstupují sebrané střepty jako vstupní surovina pro výrobu nového skla. Sběr je prováděn nejčastěji do barevně odlišených kontejnerů, rozmístěných v městské zástavbě a u velkých obchodních středisek. Jeho úspěšnost je do velké míry ovlivněna ekologickým povědomím obyvatelstva. Podstatný vliv na něj má legislativa, která finančně motivuje obyvatelstvo k třídění odpadů.

### **2) Úprava**

V této fázi se ze střeptů odstraňují veškeré nežádoucí příměsi, které by negativně ovlivňovaly kvalitu nových výrobků při použití recyklátu.

### **3) Výroba**

Ze surovin a upravených střeptů (recyklátu) se opětovně vyrábějí nové výrobky. Použitím recyklátu se zlepšuje celý proces výroby, šetří se energie, suroviny, proces se intenzifikuje a snižují se náklady na výrobu.

### **4) Skladování**

Vyrobené skleněné produkty jsou uloženy do skladu, kde čekají na expedici do plnění.

### **5) Plnění**

Plnění je prvním krokem při využití skleněného obalu k účelu, ke kterému byl primárně určen. Součástí plnění výrobku je i opatření etiketou, která obsahuje informace pro spotřebitele ohledně recyklace použitého obalu.

### **6) Prodej**

Prostřednictvím prodeje se naplněný výrobek dostává ke konečnému uživateli.

## **7) Spotřebitel**

Na spotřebiteli nejvíce záleží, zda se po použití dostane nevratný skleněný obal do kontejneru na sklo a tím dojde k uzavření jeho životního cyklu. Proto je na státu, ale i výrobcích skla, aby povědomí obyvatelstva o recyklaci obalů bylo co nejvyšší a tím rostlo množství skla, které se vrací zpět k opětovnému použití. [17]

### **2.4.2 RECYKLACE ZÁŘIVKOVÉHO SKLA**

Společnost EKOVIK, a.s. se sídlem v Panenských Březanech u Prahy od roku 1992 provozuje recyklační stanici, která se zabývá sběrem a recyklací použitého zářivkového a výbojkového skla. Jedná se především o sběr a recyklaci všech typů kompaktních zářivek, rtuťových, sodíkových a halogenových výbojek, rozbitých zdrojů, neonů, teploměrů a dalších odpadů na úpravu a kontinuální demerkurizaci (odstranění rtuti) z odpadu, s vysokým stupněm recyklace skla, rtuti, hliníku a dalších kovů. Klasické žárovky, jako představitel teplotních světelných zdrojů, nejsou předmětem recyklace. Produkce tohoto skla je 400-600 t/rok. [21]

### **Použitá technologie**

Zářivkové sklo vzniká v recyklační stanici v zařízení na zpracování lineárních zářivek, kde se řízeným mechanickým postupem demontuje zářivka do původních složek. Nejprve jsou odstraněny hliníkové patice a železné clonky. Skleněné tělo zářivky je dále rozdrceno drtičem a pomocí vibrační techniky jsou skleněné střepy zbaveny vrstvy luminoforu, ten je tvořen halofosfátem vápenatým s příměsí kovů vzácných zemin a pro tvorbu výboje nezbytným velmi nízkým obsahem rtuti, který je pod 5 ppm. Obdobným postupem se zpracovávají i úsporné zářivky, sklo získané z těchto kompakťů je stejné jako z lineárních zářivek. [21]

### 2.4.3 RECYKLACE PLAZMOVÝCH, LCD A CRT OBRAZOVEK

#### Použitá technologie na LCD monitory a plazmové obrazovky

AQUATEST a.s. vyvinula modulovou linku na recyklaci LCD a plazmových obrazovek. Ta řeší recyklaci mechanickým suchým procesem tak, že nebezpečné látky jsou zachycovány v hmotnostně malém podílu prachových produktů a případné těkavé složky zachycovány ve filtrech s aktivním uhlím. Jejich likvidace je řešena samostatně jako odpady kategorie „N“. V navržené technologii je možné recyklovat odpad elektrotechnický a elektronický (OEEZ) např. mikrovlnné trouby, počítače, tiskárny, skenery, rádia atd. a to bez předchozí ruční demontáže drtit a separovat na jednotlivé produkty. [22]

#### Demontáž CRT obrazovek a odstranění luminoforu

Princip oddělení jednotlivých částí spočívá v průchodu proudu odporovým páskem obepnutým okolo obrazovky (po jejím obvodu). Zpracovávaná obrazovka se položí na pracovní stůl stínítkovou částí, těsně se přiloží k vodivým segmentům zásobníku odporového pásku, provede se výškové nastavení dle rozměru obrazovky, ručně se opásá odporovým páskem, který se dotáhne pomocí nožního ovládání. Obsluha nastaví čas ohřevu. Stiskem tlačítka se aktivuje ohřev pásku a vyčká se na rozdělení obrazovky. Po rozdělení je možné sejmut kónusovou část obrazovky, kovovou masku a speciálním odsavačem odsát luminofor ze stínítka a shromáždit jej odděleně ve sběrném sáčku. Součástí této linky je též HEPA filtr, který slouží k účinnému a bezpečnému odstranění luminoforu ze stínítka a jeho bezpečnému skladování ve sběrném sáčku. Luminofor je veden jako nebezpečný odpad, proto je důležité separování této části. [22]



Obr. 6 : Zařízení pro separování luminoforu, stínítka a kónusovou část [22]

## 2.4.4 RECYKLACE PLOCHÉHO SKLA

Jedním z větších zpracovatelů plochého skla je společnost SPL Recycling a.s. je již 11 let provozovatelem recyklační linky na odpadové ploché sklo v Chudeřicích u Bíliny. [20]

Recyklační linka zpracovává ploché sklo včetně skel lepených, drátoskel i ornamentních skel. Recyklační linka sklo rozdrtí a odseparuje od organických nečistot, magnetických i nemagnetických kovů, keramiky, kamene a porcelánu včetně roztržení dle granulometrických požadavků odběratelů – výrobců obalového i plochého skla. Společnost provozuje vlastní dopravu, kterou si zajišťuje svoz střepů od dodavatelů z celé České republiky a odvoz recyklátu odběratelům. Doprava společnosti SPL Recycling a.s. má již kompletně zpracovanou logistiku výskytu a svozu střepů z plochého skla. V současné době se neustále rozrůstá sběrná síť střepů z celé České republiky. Společnost SPL Recycling a.s. je držitelem certifikátu ISO 9001:2008. [20]



*Obr. 7: Manipulace se skleněnými střepy (autoskla) [20]*

## **Použitá technologie**

Skleněné střepy vstupují nejdříve do recyklační linky, kde jsou odstraněny magnetickou separací různé kovové části. Linka dokáže zpracovat až 45 000 tun skleněných střepů ročně. Hrubé nečistoty jsou separovány ručně. Konečné vyčištění je provedeno optoelektricky ve dvou po sobě jdoucích fázích. Dělicí síta rozdělují recyklát dle požadovaných frakcí. Vyrobený recyklát je pak expedován odběratelům. [18]

## **2.5 TECHNOLOGIE POUŽITÉ PRO KOMPAKTNÍ SPÉKANÉ SKLO**

### **2.5.1 R. D. S. - CZ s.r.o.**

Společnost R. D. S. - CZ, s.r.o., byla založena v roce 1999. Její hlavní činností je velkoobchod a maloobchod a od roku 2000 započala s vývojem nového výrobku pod názvem sklosilikátová deska „KRYSTALIK“. Po několika letech vývoje a výzkumu byla v roce 2005 spuštěna linka na výrobu těchto originálních desek. Společnost sídlí ve vlastním areálu o rozloze cca 17000 m<sup>2</sup>, který je situovaný v průmyslové části města Uherský Brod. [23]

Cílem této společnosti je nejen využití vyřazeného skla z průmyslové výroby ke zhotovení sintrovaných deskových materiálů. Společnost přechází na výrobu ze střepů pocházejících z demontovaných CRT obrazovek. Dále je sledována problematika vyluhovatelnosti toxických látek, jako jsou např. olovo, kadmium a jiné. Tato problematika je obsažena v kapitole týkající se toxických látek ve skle. Sintrováním různých typů těchto skel získáváme výrobky, které jsou kvalitní jak po mechanické, tak i po estetické stránce. Dalším cílem je též snížení energetické náročnosti výroby těchto obkladových či jiných prvků kvůli konkurenceschopnosti a možnosti obstát na tuzemském i zahraničním trhu. [12]

### **Technologie použita při výrobě**

Ke zhotovení výrobků slouží technologie sintrace, kdy kolem 1000 °C dochází ke slinování jednotlivých skleněných střepů a vytvoření kompaktní struktury. Tato metoda je blíže popsána v samostatné kapitole 2.7 týkající se sintrace.

Za pomoci této výrobní technologie a použitých teplotních režimů můžeme získat výrobky, které jsou podobné svými parametry sklům tj. pevnost v ohybu až 25 MPa, stálobarevnost, mrazuvzdornost, chemickou odolnost a jsou zdravotně nezávadné. [23]

### **2.5.2 CHEMCOMEX Praha a.s.**

Spol. CHEMCOMEX vyvinula technologii výroby sklokystalických desek pod obchodním názvem GLASILEX. [24]

Hlavní materiál, který byl při koncipování výrobků použit, byl granulovaný skelný recyklát pocházející z plochého skla, autoskel atd. Mezi výrobky lze najít kuchyňské desky, konferenční stolky a obkladové prvky. [25]

Při výrobě prochází nadrcené směsi materiálu specifického složení vysokoteplotním zpracováním. Sypká vsázka na vstupu se průchodem pecí mění v kompaktní desku na výstupu. Monochromatická či různě zbarvená zrna spojená ztuhlou taveninou vytváří saténově lesklé povrchy. Na rozdíl od čirých skleněných tabulí je u sklokystalické desky její vnitřní přirozená struktura a skladba zřejmá. Je robustnější a připomíná spíše umělý kámen. Při bližším ohledání rozeznáváme jednotlivé zapečené kousky skla, vytvářející efekty, charakteristické jen pro tento materiál. I když zdánlivou nahodilostí svého povrchu navozuje GLASILEX příjemný dojem ručního výrobku, je výsledkem pokročilého strojního zpracování. Pohledová vrstva je k dispozici v několika kmenových barevných odstínech. Jsou to odstíny bílé, modrozelené, modré, zelené a hnědé. Od nich je odvozena základní barevná škála a mohou být i východiskem k dalším dezénům. [25]

### **Použitá technologie**

Surovina pro výrobu je drcené sklo daného granulometrického složení, anorganické přísady. Tyto přísady jsou umístěny v zásobnících, ze kterých putují do navažovacího systému a jsou dávkovány do mísiče, v němž dochází k homogenizaci směsi a následnému zvlhčení. Takto upravená směs je přesypána do zásobníku vrstvicího zařízení, z něhož je odebírána pásem a přes kalibrační válec dávkována do žárobetonové formy, která je předem ošetřena separačním nástřikem.

Ve formě se tak vytvoří v celé ploše homogenní vrstva definované výšky a hmotnosti. Naplněná forma pak postupuje k tepelnému zpracování do soustavy elektricky vytápěných komor, v nichž dochází ke slinutí materiálu a posléze k řízenému chlazení.

Původní směs tímto procesem přejde do podoby kompaktní sklokrystalické desky požadovaných vlastností a parametrů. Takto získaný polotovar se po vyjmutí z formy a následném dochlazení řeže na speciální pile. [24]

Tento materiál je vysoce odolný vůči vnějším vlivům. Chemickou i mechanickou odolností pohledové vrstvy v mnoha ohledech předčí běžné obkladové materiály. Lépe než přírodní kámen nebo standardní keramické materiály odolává působení kyselin, louhů a organických i anorganických rozpouštědel. [24]

### **2.5.3 GLASSECO**

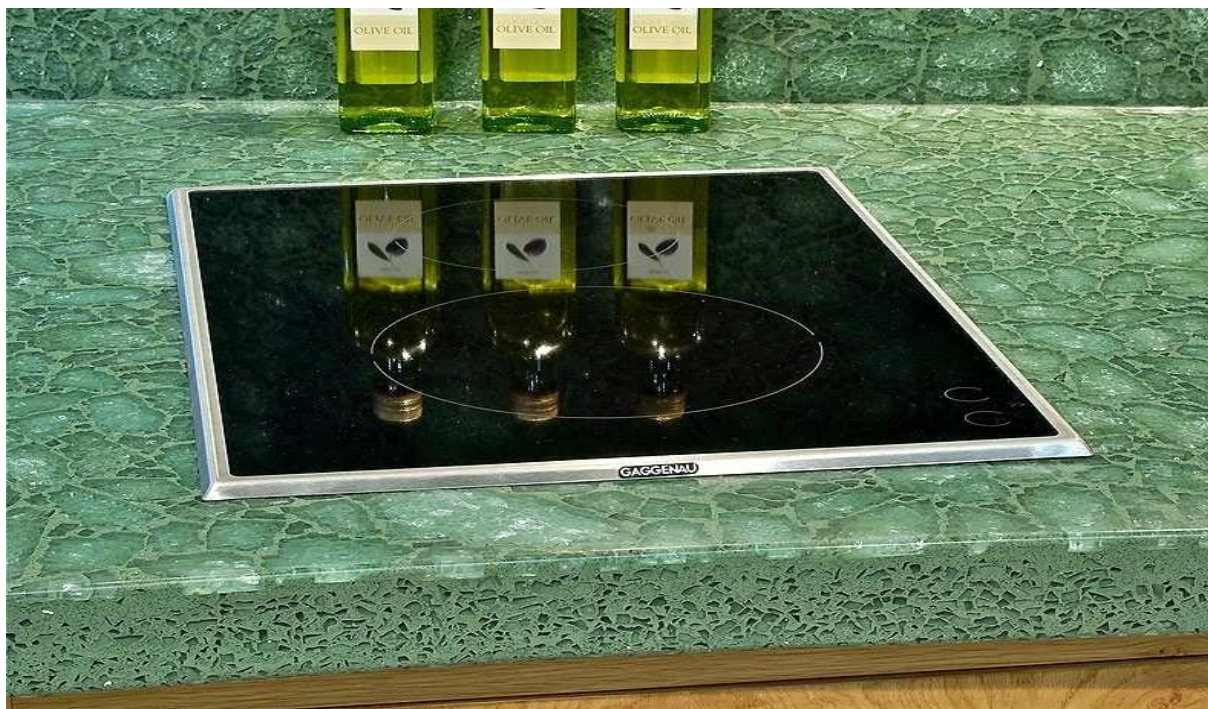
Jedná se o zahraniční společnost sídlící v západním Sussexu. Zde se zabývají výrobou dekorativních kuchyňských desek a designem. [26]

Ke zhotovení výrobků se používá 89,4 % skla, zbytek tvoří ostatní příměsi. Dovoz a výběr odpadního skla si pro výrobu těchto kuchyňských desek zajišťuje firma sama. [26]

### **Použitá technologie a výzkum**

Technologie je založena opět na principu spékání recyklovaného skla s tím jediným rozdílem, že u těchto desek se používá i pryskyřice v množství kolem 12 %. Pomocí pryskyřice se upravuje i barva výrobku. Firma GLASSECO si nechává provést výzkum v oblasti vyluhovatelnosti olova z výrobku, který obsahuje skelný recyklát z TV a počítačových monitorů. Výzkum provádí univerzita v Sheffieldu. Výsledky těchto testů byly překvapivé. Zjistilo se, že z takto vyrobené desky se uvolní méně než 0,1 g olova za rok. Výzkum těchto výrobků probíhá dál a očekává se díky minimální poréznosti tohoto materiálu další pozitivní výsledek. [26]





*Obr. 8: Výrobek firmy GLASSECO-Kuchyňská linka [26]*

#### **2.5.4 TECHNISTONE**

Technistone, a.s. se sídlem v Hradci Králové je výrobcem a dodavatelem tvrdého kamene, který je z 90 % vyroben z přírodních surovin. Zbylé suroviny cca 10 % tvoří pryskyřice, pigmenty a doplňkové frakce, jež dávají výrobkům požadované vlastnosti. Barevné pigmenty určují estetickou úroveň vyráběného zboží. Koncem roku 2005 závod zprovoznil novou linku. Technistone a.s. se může zařadit mezi nejmodernější závody na světě. [31]

#### **Použitá technologie**

Technistone používá technologii podtlakového vibračního lisování. Surovinový vstup tvoří vybrané přírodní materiály, polyesterová pryskyřice a barviva. Takto sestavená směs materiálů putuje do forem požadovaných tvarů. Dalším krokem je přeměna vibrolisováním v prostředí vakua, kde získáváme kompaktní hmotu. Poslední fází technologického procesu je ponechání vsázky ve speciální peci po dobu 30 minut při teplotě 90°C. Výsledkem jsou mechanicky odolné výrobky s vysokou estetickou hodnotou. [31]



Vzhledem k použité technologii se naskýtá možnost substituovat nerostné materiály recyklovanými skly, buď částečně, nebo úplně.

*Tabulka 2: Technické vlastnosti TECHNISTONE [31]*

| Parametr                                                   | Hodnota   |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| Objemová hmotnost [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]        | 2370-2430 |
| Pevnost v ohybu [MPa]                                      | 41-61     |
| Nasákavost po 48 hodinách [%]                              | 0,02-0,03 |
| Obrusnost [ $\text{mm}^{-3}$ ]                             | 6300-8200 |
| Koeficient teplotní roztažnosti [ $10^{-6}\text{C}^{-1}$ ] | 14-35     |



*Obr. 9: Ukázka využití produktů TECHNISTONE [31]*

### 2.5.5 ARTAIC

Společnost v americkém Bostonu se zabývá výrobou různých typů výrobků ze skla za použití rozličných technologií, mezi které patří také sintrace. Tímto způsobem jsou vyráběny především dlažební prvky. Využívá především skla z výroby okenních tabulí a přibližně 49 % recyklovaného skla. Kromě technologie sintrace se společnost také zabývá výrobou neglazovaných keramických prvků z přírodního jílu. [30]

#### **Použitá technologie**

Sklo se nejdříve čistí. Poté následuje rozemletí tohoto skla na prach, který se následně mísí s pigmenty. Lisování se provádí do forem požadovaného tvaru, čili tvaru dlažebního prvku. V lineární peci dochází k ohřívání směsi těsně pod bod tání. Konečnou fází je ochlazení zpět na pokojovou teplotu. Poslední dva kroky jsou známé jako slinovací proces. Výsledkem jsou esteticky zajímavé a po mechanické stránce odolné výrobky. [32]



*Obr. 10: Ukázka realizace obkladů firmy ARTAIC [32]*

## **2.6 TECHNOLOGIE POUŽITÉ PRO VÝROBU PĚNOVÉHO SKLA**

### **2.6.1 VÝROBA PĚNOVÉHO SKLA - SPOLEČNOST RECIFA a. s.**

#### **Pěnové sklo**

Je tepelně izolační pórovitý materiál vyrobený ze stoprocentně recyklovatelného skla. Má výborné technické vlastnosti k využití v mnoha oblastech stavebnictví. Díky své vnitřní struktuře je vysoce únosné, nenasákavé, nenamrzavé, nehořlavé, odolné vůči vnějším materiálům atd. Jeho použití je vhodné téměř do všech druhů staveb kde snadno nahradí zastaralé typy izolačních materiálů, které jsou z větší části vyrobeny z ropných látek, což jejich použití značně limituje. [27]

Pěnové sklo je oproti těmto materiálům moderní stavební izolační materiál, který je ekologický a znovu recyklovatelný. Základní surovinou pro výrobu jsou skleněné střepy (odpadové sklo), z nichž se vyrábí skleněná moučka a následně pěnové sklo.

#### **Skleněná moučka**

Je vyráběna z recyklovatelných skleněných střepů. Samotná technologie mletí skla je speciální proces, který se provádí na kulovém mlýnu. Surovina je rozdrcena na moučku s velikostí zrna pod 90  $\mu\text{m}$ . Sklená moučka následně prochází rotačním sítem, kde jsou odstraněny nečistoty, snižující kvalitu. Sklo je poté skladováno ve vyhřívaných silech o teplotě 20 °C. [27]

#### **Historie a současnost pěnového skla**

Výroba pěnového skla byla patentována v roce 1936 ve Francii. Od této doby prošla výroba spolu s technickými parametry pěnového skla značným vývojem. Od roku 1958 do konce osmdesátých let bylo pěnové sklo vyráběno i v tehdejším Československu. Pro nedostatek základní suroviny, skleněných střepů, byla výroba ukončena. V současné době se pěnové sklo vyrábí v České republice v Karlovarském kraji společností RECIFA a. s. pod obchodním názvem REFAGLASS.

## Vývoj a použití materiálu

Výrobní technologie spočívá ve zpracování odpadových střepů z obalového skla. Při výrobě pěnového skla se používají taková chemická činidla, která nepředstavují žádnou ekologickou zátěž pro životní prostředí. Vyrábí se z nízkotavitelné skloviny, která se při teplotě asi 1000 °C ve formách napěňuje vhodnými zpěňovaly (např. sazemí nebo uhlím, které v žáru hoří a napěňují sklovinu až na dvacetinásobek původního objemu). Výroba pěnového skla se datuje od 40. let 20. století, kdy se začalo používat jako náhrada korku při stavbě lodí. U nás se začalo pěnové sklo vyrábět v 50. letech minulého století pod názvem Spumavit. Bylo např. použito při výstavbě československého pavilonu na výstavě EXPO 1958 v Bruselu. [30]

## Vlastnosti pěnového skla

Pěnové sklo má mnoho vynikajících vlastností, které umožňují široké využití ve stavebnictví. V plném rozsahu nahrazuje klasické kombinace již zažitých materiálů (polystyren, skelná a minerální vata, keramzit atd.), používaných ve stavebním průmyslu. Díky těmto vlastnostem se z něj stává materiál, který dává možnost snadnějšího, jednoduššího a hlavně levnějšího stavebního řešení. [18]

Tabulka 3: Vlastnosti pěnového skla REFAGLASS [18]

| Vlastnost                               | Jednotka                                             | Rozpětí hodnot                            |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| objemová hmotnost                       | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$                      | 120 - 175                                 |
| pevnost v tlaku                         | MPa                                                  | 0,7 - 1,6                                 |
| pevnost v ohybu                         | MPa                                                  | 0,3 - 0,6                                 |
| modul pružnosti                         | MPa                                                  | 800 - 1500                                |
| součinitel délkové teplotní roztažnosti | $\text{K}^{-1}$                                      | $8,3 \cdot 10^{-6}$ - $9,0 \cdot 10^{-6}$ |
| měrná tepelná kapacita                  | $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ | 0,84                                      |
| měrná tepelná vodivost při 0 °C         | $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   | 0,038 - 0,049                             |
| měrná tepelná vodivost při 10 °C        | $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   | 0,040 - 0,050                             |
| faktor difuzního odporu                 | -                                                    | $\infty$                                  |
| maximální teploty použití               | °C                                                   | - 260 až + 430                            |
| hořlavost (podle ČN 73 0823)            | stupeň hořlavosti                                    | A                                         |

## **Použití pěnového skla REFAGLASS**

### **Pozemní stavby**

- Izolace podlahových desek, náhrada za extrudovaný polystyren
- Obvodová izolace a drenáž
- Plošná izolace vyhřívaných či ochlazovaných ploch (fotbalová a hokejová hřiště, sportoviště, bazény)

### **Střešní systémy**

- Izolační odlehčený materiál pro průmyslové střechy
- Tepelně izolační materiál pro zelené střechy NED a PD
- Izolační materiál pro terasy
- Odlehčený násyp pro nadzemní komunikace
- Zásypový izolační materiál do mezistropních prostor

### **Podzemní stavby**

- Tepelně izolační materiál pro podzemní prostory
- Lehký drenážní zásyp u podpěrných stavebních konstrukcí
- Lehký násyp pro stavební díla (tunely, zastřešení) v silničním a podzemním stavitelství
- Izolace sběrných nádrží, vodojemů [27]

Další vlastností pěnového skla je jeho absolutní nehořlavost (třída A – nehořlavé hmoty podle ČSN 73 0823, Euroclass A1 podle EN 13501). Pěnové sklo dále vyniká vysokou odolností proti škodlivým chemickým i biologickým vlivům. Především v případě pojížděných plochých střech může být střešní plášť – včetně tepelné izolace – vystavený chemickému zatížení (například ropnými produkty, solemi). Díky stabilní skleněné struktuře a vysoké odolnosti má pěnové sklo velmi dlouhou životnost, kterou je možno počítat v řádu desetiletí. Pro aplikace v zatížených střešních pláštích je pěnové sklo využíváno především pro svou vysokou pevnost v tlaku, která nemá mezi tepelnými izolacemi obdoby. Pevnost pěnového skla v tlaku se pohybuje od 0,7 do 1,6 MPa (70 až 160 tun/m<sup>2</sup>). [18]

## 2.6.2 FOAMGLAS- PĚNOVÉ SKLO

### Technologie výroby

Pěnové sklo FOAMGLAS® se vyrábí ze speciálního aluminio-silikátového skla. Po vychlazení je sklo rozemleto na velmi jemný prášek. Tento skleněný prach je při mletí smíchán s ještě jemnějším uhlíkovým prachem. Výsledná směs je v tenké vrstvě rozprostřena do ocelových forem. Formy jsou následně zahřáté v tunelové peci na cca 1000 °C. Tak dojde k opětovnému roztavení skleněného prášku a k současné oxidaci částic uhlíku na CO<sub>2</sub>. Tento plyn vytvoří drobné bublinky, které až dvacetinásobně zvětší původní objem roztaveného skla a vyplní celou formu. Po vypěnění je vzniklý blok pěnového skla zvolna ochlazován z 1000 °C na 20 °C. Po konečném zchlazení pěnového skla zůstává v jeho jednotlivých buňkách CO<sub>2</sub> v podtlaku cca 1/3 atmosférického tlaku, který vzniká z důvodu zmenšení objemu ochlazovaného plynu. Po vychlazení jsou bloky pěnového skla obroušeny, zbaveny povrchové “kůrky” a je důkladně zkontrolována kvalita a homogenita vypěnění. Bloky, které vyhoví všem kontrolám, jsou dále řezány na desky formátu 600 x 450 mm s konstantní tloušťkou (od 30 do 160 mm) nebo na spádované desky či jiné tvarovky. Celá výroba je plně automatizovaná a je certifikována systémem kvality ISO 9002. Pěnové sklo FOAMGLAS® má širokou škálu použití a to s povrchovými nebo bez povrchových úprav. [29]

## 2.6.3 GOMELGLASS- PĚNOVÉ SKLO

Skleněné střepy jsou rozdrnceny, pomocí kulových mlýnů ve směsi s naplyňovacími přísadami (uhlí) v práškovém stavu, tato směs je umístěna do forem z žáruvzdorné oceli s vrstvou kaolinu. Výroba probíhá v tunelových pecích opatřených vozíky, součástí výrobní linky je také válečkový dopravník. K měknutí částic skelného prachu a jeho slinování dochází při působení vysoké teploty. Plyny, unikající při spalování a zplyňování pronikají viskózní sklovinou. Pomalým chlazením vzniká buněčná struktura a nedochází ke vzniku drobných trhlin. Chemie pěnového skla se na 100 % shoduje s chemií klasického skla a zahrnuje oxidy křemíku, vápníku, sodíku, hořčíku, hliníku. Atmosféra zcela uzavřené skleněné buňky nemá interakce s prostředím a atmosférou představuje v podstatě oxidy a sloučeniny uhlíku.

Napěněním dosáhneme zvětšení objemu až patnáctkrát, což značně sníží objemovou hmotnost výrobku. Výrobky mají vysokou mechanickou odolnost díky své konfiguraci. Takto získáme materiál s velkou mechanickou odolností a zároveň minimální hustotou. [14]



*Obr. 11: Napěňování a chlazení [8]*



*Obr. 12: Vzorek pěnového skla [8]*

#### **2.6.4 GEOCELL**

Geocell Schaumglas GmbH vlastní tři výrobní závody, z nichž dva se nachází v Německu, a to v Oelsnitzu a Edewechtu. Třetí závod leží v rakouském Gaspoltshofenu. Společnost Geocell je jedním z předních výrobců sklopěnového granulátu v Evropě. [33]

#### **Technologie výroby**

V moderních průběžných pecích vznikne při procesu kynutí z rozemleté moučky z odpadního skla při teplotách okolo 900 °C pěnové sklo. „Koláč“ z pěnového skla se ochladí a rozdrtí na fragmenty o velikosti 0-60 mm, tak vznikne náš standardní materiál pro izolaci pod základovou desku. Geocell se skládá z rovnoměrných uzavřených buněk. [33]

Tabulka 4: Vlastnosti pěnového skla GEOCELL [33]

| Tepelná vodivost                                  |                                              |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| tepelná vodivost l 1,3 : 1<br>zhutněno (za sucha) | 0,080 [W/m·K] (početní hodnota)              |
| tepelná vodivost l 1,3 : 1<br>zhutněno (za mokra) | 0,13 [W/m·K] (informační<br>hodnota)         |
| pevnost v tlaku                                   |                                              |
| pevnost v tlaku<br>jednotlivého zrna              | 5,00 N/mm <sup>2</sup>                       |
| Obecná data                                       |                                              |
| násypná hmotnost/dopravní<br>hmotnost             | ca. 150 Kg/m <sup>3</sup>                    |
| forma dodání                                      | volně nebo baleno v bigbags                  |
| velikost zrna                                     | 10-60 mm                                     |
| vnitřní nasákavost<br>jednotlivého zrna           | 0 Vol%                                       |
| nasákavost na povrchu zrna                        | <10 Vol%                                     |
| odolnost proti ohni                               | nehořlavé třída A1                           |
| plynování při zapálení                            | zcela bez plynu                              |
| kapilarita                                        | kapiláry lámací vůči vystupující<br>vodě     |
| charakteristické záření<br>materiálu              | žádné záření a zápach                        |
| střídavé zatížení<br>rozmrazovacími cykly         | odolné mrazu dle DIN 52104-1                 |
| odolnost proti alkáliím                           | dlouhodobě odolné, žádná<br>poškození betonu |

### 2.6.5 MISAPOR

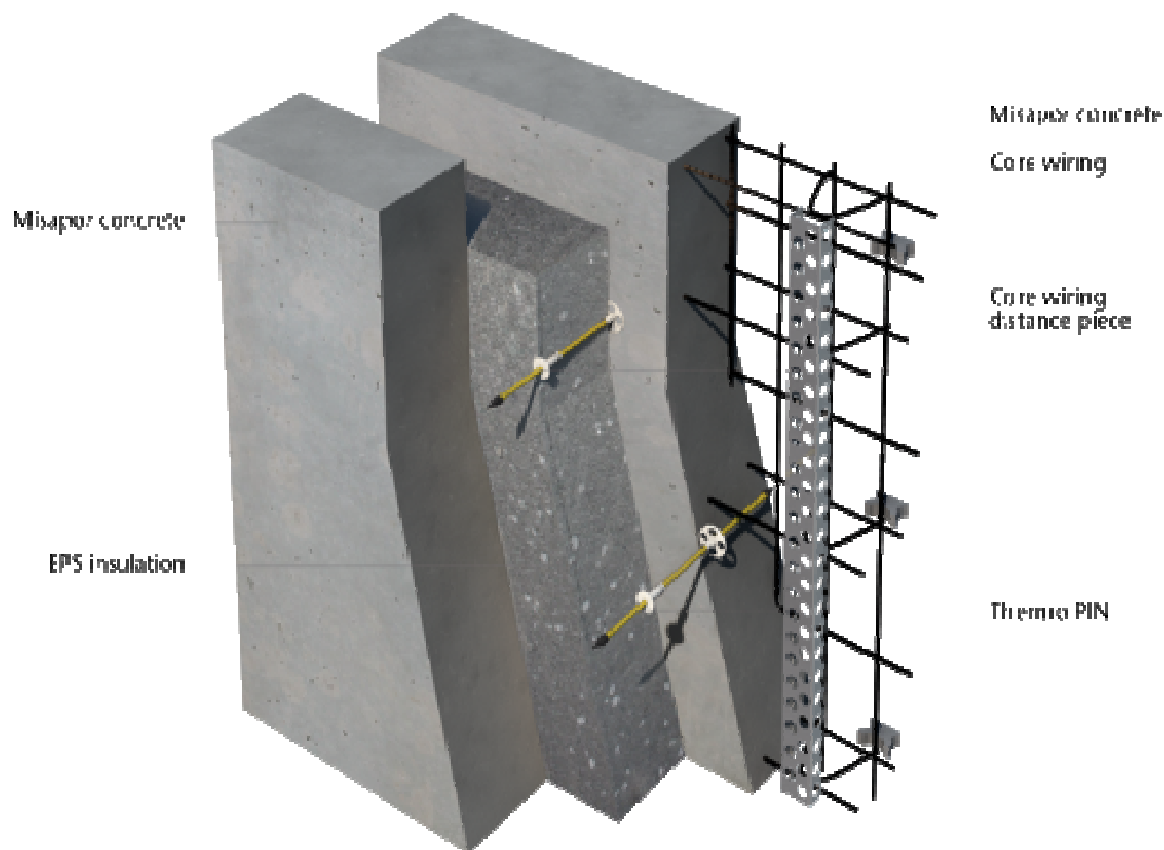
Společnost Misapor se sídlem ve Švýcarsku, která má dlouholetou tradici již od roku 1982 se zabývá výrobou drtě z pěnového skla. Používá technologii jako výše uvedené firmy, čili napěňování za zvýšené teploty cca 900 °C a za přidání různých aditiv (napěňovacích přísad) k vytvoření pórovité struktury. [34]

Mezi hlavní produkty společnosti patří izolační betony, využívající právě pěnového skla, kvůli jeho tepelně izolačním účinkům. Stěny takto zhotovené dosahují tloušťky 40 cm.



Takový systém již není třeba zateplovat z vnější strany. Příklad tohoto systému je znázorněn na obrázku níže. [34]

### Misapor concrete CIS



Obr. 13: Znázornění tepelné izolace MISAPOR [34]

## 3. VÝZKUM

### 3.1 VÝZKUM V OBLASTI VÝROBY SINTROVANÝCH PRVKŮ

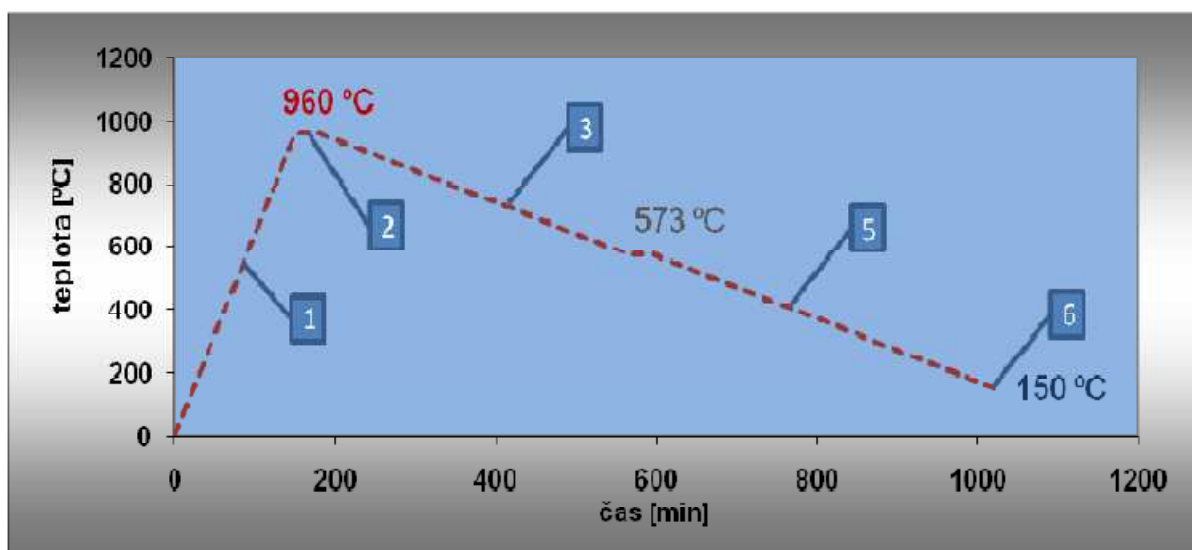
#### Sintrace

Sintrace skla (slinování), je proces, který má fyzikální podstatu ve zpevňování soustav zrn působením řízené tepelné expozice. V průběhu tohoto procesu se póry zmenšují, popřípadě zcela vyloučí, nastane tepelná kompaktace systému doprovázená často kontrakcí, při které se zvětší objemová hmotnost, která je při úplném slinutí shodná s měrnou hmotností látky. [3]

Sintrace je charakteristická tím, že spojování zrn nastává účinkem teploty, aniž by se látka musela tavit. Ke slinování dochází při dosažení teploty mnohem nižší, než je teplota tání, je to 0,8 – 0,9 termodynamické teploty tání příslušné látky, zjednodušeně lze průběh změn spojených s účinkem tepla znázornit takto:

Výchozí látka → Slinutí → Zesklennění → Tavení → Chlazení

Slinutý výrobek může obsahovat póry, zesklenný je bez pórů. Při slinování v jednosložkové soustavě probíhají pouze fyzikální děje spojené se zmenšením povrchu soustavy. Při slinování ve vícesložkovém systému vznikají chemické reakce mezi zrny surovinové směsi a to v pevném stavu za tvorby reakčních produktů, nebo za vzniku taveniny. Při slinování se mezi zrny vytvoří srůsty (tzv. krčky), které rostou, dokud se mezi zrny nevytvoří uzavřený pór. Vlivem povrchového napětí se pór stahuje, dokud tlak uzavřeného plynu nedosáhne hodnoty rovné stahující síle povrchového napětí. [1]



Graf 3: Příklad režimové teplotní křivky výpalu [9]

- 1) Teplotní nárůst  $6,4^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  (2,5 hodiny)
- 2) Izotermní výdrž na  $960^{\circ}\text{C}$  po dobu 0,5 hodiny
- 3) Teplotní pokles  $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  (6,5 hodiny)
- 4) Izotermní výdrž na  $573^{\circ}\text{C}$  po dobu 0,5 hodiny
- 5) Teplotní pokles  $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  (7 hodin) [9]

**Vizuální posouzení výrobků vzniklých sintrací:**



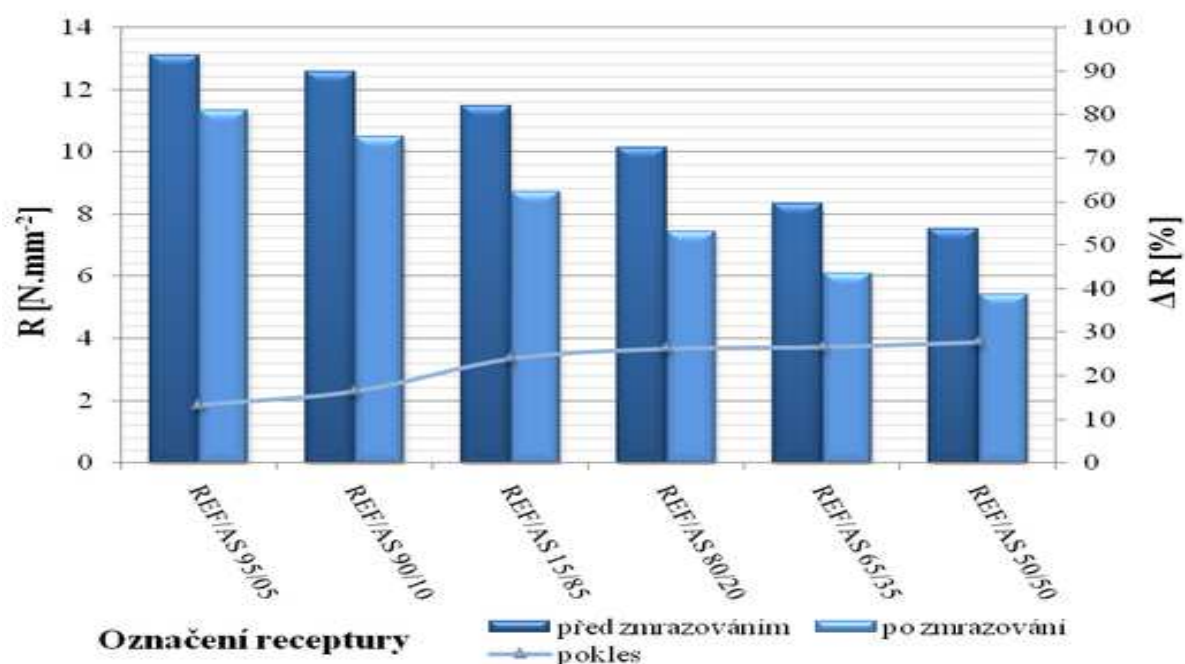
*Obr. 14: Struktura (resp. textura) vzorku vyrobeného z recyklované obalové skloviny (frakce 0-4 mm) při maximální teplotě 800 °C [12]*



*Obr. 15: Vzorek vyrobený z demontovaných obrazovek (kónusová část frakce 0-16 mm) vyrobený při maximální teplotě 700 °C [12]*

## Analýza parametrů spékaných desek obsahující střepy z automobilů

Výzkum, který se zabýval touto problematikou a jehož dílčí výsledky jsou uvedeny v [10], který se týkal možnosti zužitkování recyklovaných lepených skel pocházejících z automobilů při výrobě obkladů a dlažeb ze spékaného skla. Zde jsou ve stručnosti uvedeny některé výsledky.

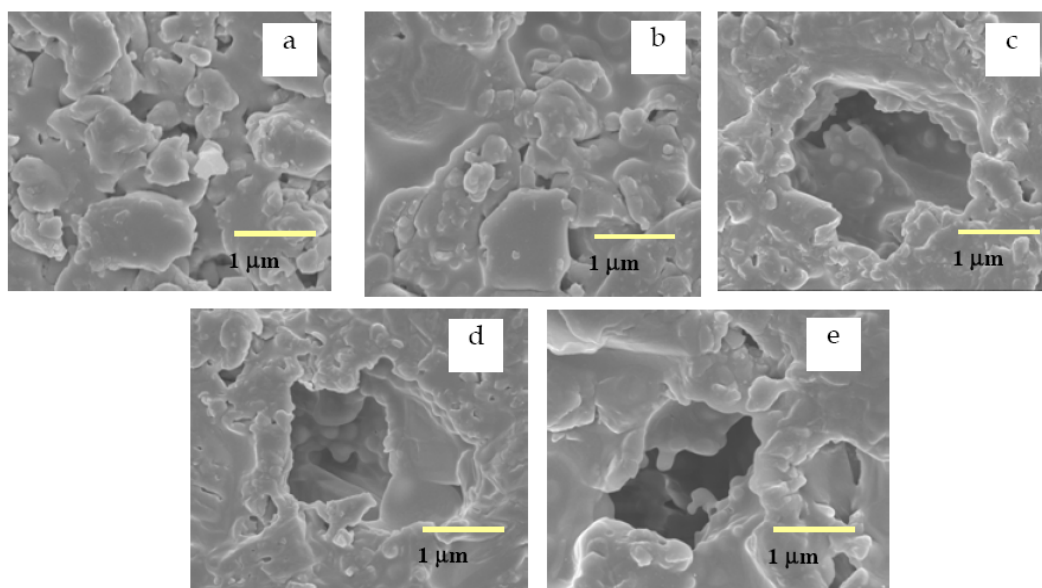


Graf 4: Grafické vyjádření poklesu pevností v závislosti na zvyšování dávky střepů z autoskel [10]

Z provedených měření a analýz základních fyzikálně mechanických parametrů je zřejmé, že parciální substituce primární suroviny (tj. sodnoboritosilikátového skla) jakožto vsázky sklosilikátových materiálů střepy pocházejícími z recyklace čelních lepených skel automobilů, je možná. Ovšem jen ve velmi omezeném rozsahu, tj. v dávce maximálně do 5 %. Pro praktické aplikace by bylo možné uvažovat snad receptury s obsahem do 10 % alternativní suroviny, čímž by bylo příznivě ovlivněno ekologické hledisko – tj. spotřeba odpadů resp. druhotných surovin, ovšem je nutné počítat se sníženými nároky na funkční a užitné vlastnosti těchto výrobků. Mohlo by se tak jednat o aplikace převážně v klimatických podmínkách interiéru pro obytné budovy, nikoli však provozně náročné podmínky a zatížení.[10]

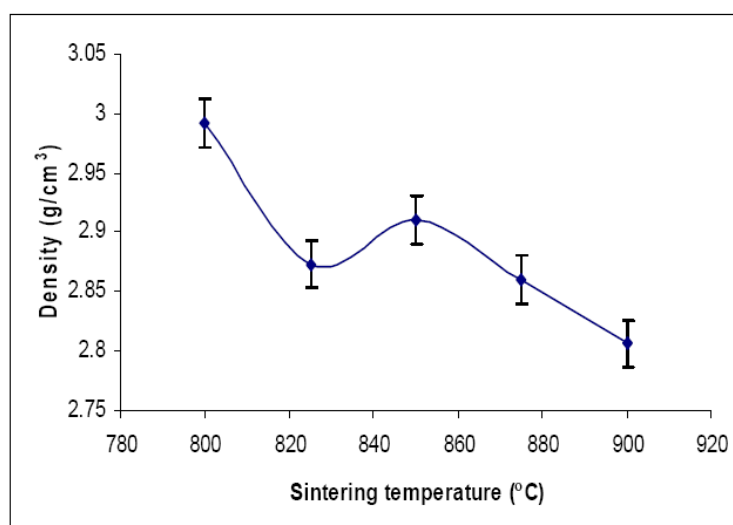
## Výzkum v oblasti sintrance sklokeramických prvků

Výzkum, který provedl Rosidah Alias se svým týmem TM Research & developmnet Sdn.Bhd. v Malaysii se týká sklokeramických materiálů s označením LTCC. Cílem této práce bylo zjistit změny mikrostruktury a distribuci pórů v závislosti na různých slinovacích teplotách. Níže je uvedena grafická ukázka výsledků tohoto výzkumu.



Obr. 16: Ukázka mikrostruktury materiálu, který vznikl sintrací (Postupný vznik krčků)

a)800 °C, b)825 °C, c)850 °C, d)875 °C, e)900 °C [39]



Graf 5: Vliv teploty sintrance na hustotu použitého materiálu [39]

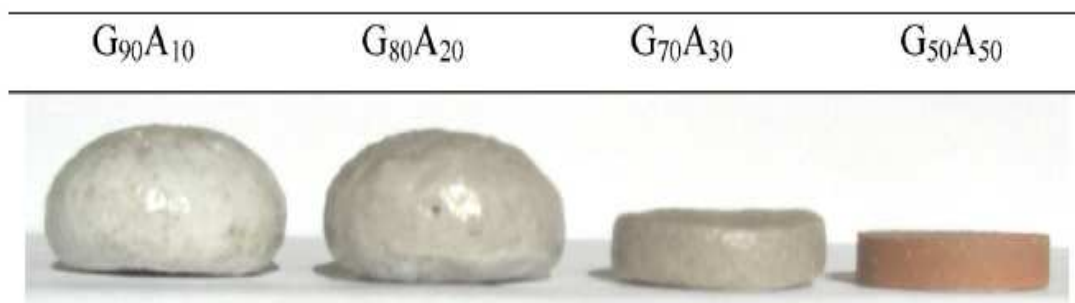
### 3.2 VÝZKUM V OBLASTI VÝROBY PRVKŮ NA BÁZI PĚNOVÉHO SKLA

#### Příprava a charakterizace pěn z plochého skla a popílku s užitím uhličitanů jako napěňovací přísady

Pro účely tohoto výzkumu byly zvoleny jako základní suroviny klasické sodnovápenaté sklo, u kterého výrobce uvedl následující složení v %hm. Obsah  $\text{SiO}_2$  70,64 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,68 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0,18 %,  $\text{CaO}$  9,93 %,  $\text{MgO}$  3,55 %,  $\text{Na}_2\text{O}$  13,66 %,  $\text{K}_2\text{O}$  0,29 % a  $\text{SO}_3$  0,21 %. Částice tohoto prášku mají velikost  $12,5 \mu\text{m}$  a hustotu  $2,51 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$ . Popílek byl použit z portugalské elektrárny Tapada do Outeiro. Chemické složení popílku je následující,  $\text{SiO}_2$  49,6 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  20,9 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  6,6 %,  $\text{CaO}$  0,5 %,  $\text{MgO}$  1,8 %,  $\text{Na}_2\text{O}$  0,4 %,  $\text{K}_2\text{O}$  2,7 %,  $\text{TiO}_2$  0,9 %,  $\text{MnO}$  0,3 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,5 %. Ztráta žháním použitého popílku je 15,8 %.

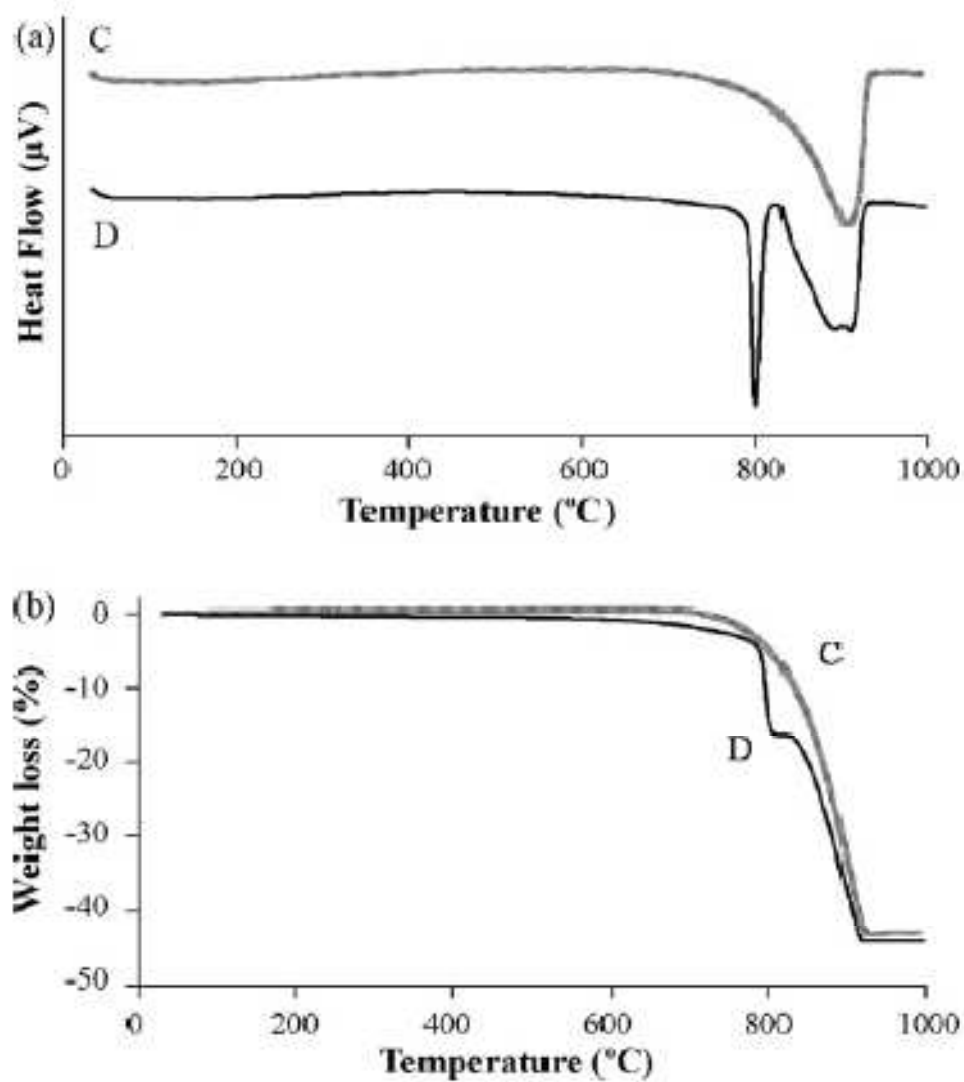
Postup výroby byl následující. Nejprve byl skleněný odpad rozdrcen, poté rozemlet v kulovém mlýnu při 1400 otáčkách za minutu po dobu 10 minut. Z tohoto prášku a popílku byly vyrobeny pelety válcového tvaru s různým poměrem skleněného prášku a popílku. Výroba pelet probíhala za zvýšeného jednoosého tlaku (80 MPa) a slinovací teplotě 800 a 900 °C. Skelný prach nese označení G a fluidní popílek A. Uhličitaný byly přidávány v různých % hm.

Z grafů uvedených níže lze vyčíst, že první vrchol endotermické reakce byl způsoben rozkladem uhličitanu hořečnatého při 800 °C, druhý vrchol endotermické reakce byl způsoben rozkladem uhličitanu vápenatého při teplotě 890 °C. Z výzkumu vyplynulo, že nejlepším poměrem vsázky je 80 % sodnovápenného skla a 20 % fluidního popílku.

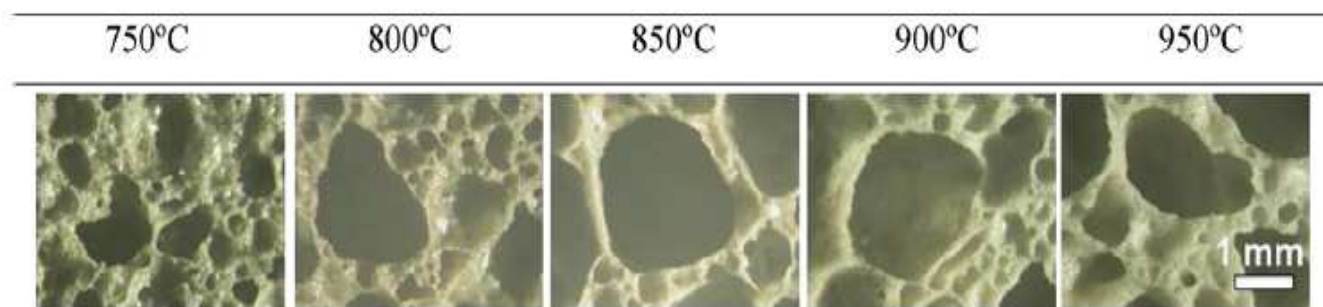


Obr. 17: Ukázka pelet vyrobených pod tlakem 80MPa při teplotě 900 °C [6]

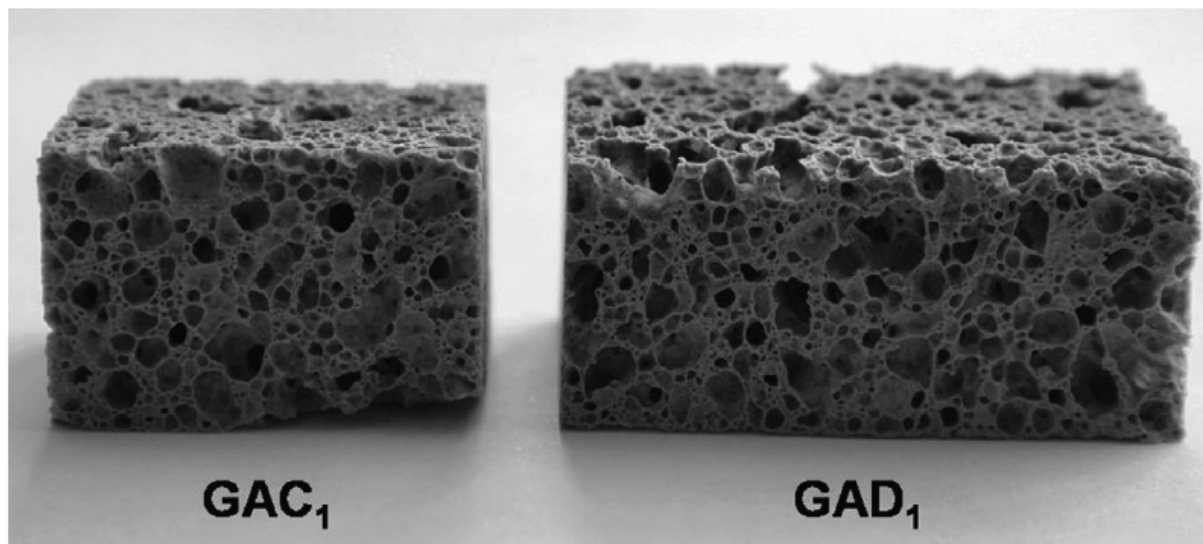




Graf 6,7: Diferenční termická analýza, hodnocení hmotnostního úbytku v % [6]



Obr. 18: Znázornění mikrostruktury pěnového skla [6]



Obr. 19: Znázornění makrostruktury pěnového skla [6]

Tabulka 5: Vzorky připravené pro výrobu pěnového skla [6]

| Vlastnosti výchozích látek pro přípravu pěnového skla |                               |                              |                                                |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|
| Označení vzorku                                       | Hustota[g· cm <sup>-3</sup> ] | Průměrná velikost částic[μm] | Měrný povrch[m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ] |
| G                                                     | 2,51                          | 13,1                         | 0,865                                          |
| A                                                     | 2,44                          | 10,4                         | 0,727                                          |
| C                                                     | 2,71                          | 2,6                          | 1,422                                          |
| D                                                     | 2,86                          | 19,1                         | 0,834                                          |

Tabulka 6: Zvolené dávkování uhličitánů a základní směsi [6]

| Složení | G80/A20 | C | D |
|---------|---------|---|---|
| GAC1    | 99      | 1 |   |
| GAC2    | 98      | 2 |   |
| GAC3    | 97      | 3 |   |
| GAC4    | 96      | 4 |   |
| GAC5    | 95      | 5 |   |
| GAD1    | 99      |   | 1 |
| GAD2    | 97      |   | 2 |
| GAD3    | 97      |   | 3 |
| GAD4    | 96      |   | 4 |
| GAD5    | 95      |   | 5 |



## Vyluhovatelnost olova z CRT monitorů (z konusové a obrazovkové části)

Sklo z této části obvykle obsahuje olovo, Barium a Stroncium. Výzkumy prováděné ve Francii [7] se zabývaly možností využití skla z těchto částí pro přípravu pěnového skla. Dále byly sledovány účinky redukčních činidel v podobě SiC a TiN na vznik buněčné struktury pěnového skla. Níže jsou uvedeny některé z výsledků.

*Tabulka 7: Vyluhovatelnost olova v mg/l po určitých časových úsecích v závislosti na  
přídavku redukčního činidla [7]*

| Lead, Pb | Leachate I | Leachate II | Leachate III | Leachate I+II+III |
|----------|------------|-------------|--------------|-------------------|
| F        | 13.00(1)   | <1.0        | <1.0         | 13.00(1)          |
| F5S      | <1.0       | 1.00(1)     | 1.10(1)      | 2.10(1)           |
| F4T      | 2.30(1)    | 35.00(1)    | 74.00(1)     | 111.30(1)         |
| P        | <1.0       | <1.0        | <1.0         | <1.0              |
| P5S      | <1.0       | <1.0        | 1.00(1)      | 1.00(1)           |
| P4T      | 1.00(1)    | <1.0        | <1.0         | 1.00(1)           |
| PF5S     | 1.00(1)    | 1.00(1)     | 1.10(1)      | 3.10(1)           |
| PF4T     | 1.50(1)    | 1.10(1)     | 2.40(1)      | 5.00(1)           |

Legenda k tabulce:

Leachate I-Vyluhovatelnost olova v čase 16 hodin

Leachate II-Vyluhovatelnost olova v čase 32 hodin

Leachate III-Vyluhovatelnost olova v čase 48 hodin

F-Funnel-Konusová část

P-Panel-Obrazovková část

S-SiC

T-TiN

Číslice v označení např. P4T udává počet % redukčního činidla

Analýza na bázi pěnového skla, ukázala jasný rozdíl ve vyluhovatelnosti olova s ohledem na dva redukční prvky. Za prvé koncentrace olova byla vždy vyšší ve vyluzích, získaných z pěnového skla připraveného s redukčním činidlem TiN ve srovnání s SiC, bez ohledu na použitý typ skla v podobě rozemletého prášku (konusová část, obrazovková část nebo jejich mix). [7]

#### **4. VYHODNOCENÍ NA ZÁKLADĚ ZÍSKANÝCH POZNATKŮ**

##### **Posouzení odpadového hospodářství v ČR a EU**

V první části bakalářské práce je řešena situace v oblasti odpadového hospodářství jak České republiky, tak i států EU jako jsou např. Německo, Belgie, Francie. Rozdíl v třídění odpadu srovnávaný s ČR a státy EU je značný. V ČR je vytrženo zhruba 20 % komunálního odpadu. EU je v tomto směru dál se zhruba 50 % vytrženo komunálního odpadu. Tuto skutečnost lze přisoudit zřejmě lepší koncepci sběrného systému. [38]

Z grafů uvedených v kapitole týkající se odpadů na bázi skla a jiných surovin lze vyčíst, že se jedná o vzrůstající tendenci. V roce 2008 činí tato hodnota zhruba 55 kg tříděného odpadu na osobu. Z toho asi 9 % tvoří sklo. Na základě grafu 2 a tabulky 1, jež jsou uvedeny v kapitole týkající se odpadů lze vyhodnotit, která skla mají potenciál pro další využití a jaká je jejich přibližná produkce. Jako alternativní surovina pro opětovnou výrobu se jeví sklo s obsahem těžkých kovů, které je obtížně opětovně zpracovatelné.

##### **Vyhodnocení technologií pro recyklaci skla jako druhotné suroviny**

Společnost EKO VUK je např. jediná, která se zabývá recyklací zářivkového skla v ČR. Ve společnosti AQUATEST je zase řešeno zpracování LCD a CRT monitorů, kde jsou odstraňovány škodlivé látky, které spadají do nebezpečných odpadů. Recyklací plochého skla a autoskel se zabývá společnost SPL recycling. Nejnákladnějším procesem při recyklaci autoskel je odstraňování folií. Kovové části jsou odstraňovány magneticky. Poslední druhotnou surovinou ve formě skla v bakalářské práci je obalové sklo. Toto sklo je buď znovu použito, aniž by muselo dojít k jeho opětovné tepelné úpravě v podobě roztavení a opětovného zchlazení např. vratné láhve nebo je využito jinak, např. při výrobě pěnového skla.

## **Vyhodnocení technologií zabývajících se zpracováním skla jako druhotné suroviny pro výrobu sintrovaných desek**

V kapitole, týkající se kompaktního spékaného skla je rozebíráno určité portfolio firem, které se touto problematikou zabývají. Některé firmy jako např. R.D.S používají pouze metodu sintrování skleněných střepů za vzniku hodnotných výrobků jak po stránce mechanické, tak i estetické.

Firma GLASSECO nahrazuje určitý podíl skleněných střepů pryskyřicemi, které fungují jako barvivo na rozdíl od jiných technologií např. ARTAIC, kde výslednou barvu udávají použité střepy.

### **Vyhodnocení výzkumu v oblasti sintrovaných prvků**

Z tohoto výzkumu vyplynulo, do jaké míry se dá využít recyklát pro přípravu spékaných desek či obkladových prvků. Bylo zjištěno, že při větších dávkách střepů tj. nad 10 % z autoskel dochází k poklesu pevnosti výsledného produktu. Z hlediska ekologického jde ovšem o značné odlehčení. [10]

Dále byla zkoumána mikrostruktura sintrovaných prvků, kde je možné zpozorovat postupný vznik tzv. krčků. Pro lepší rozlišení vzniku těchto krčků byly použity různé slinovací teploty.

### **Vyhodnocení výsledků v oblasti pěnového skla**

Výzkumy začaly s použitím popílku v kombinaci s recyklovaným sklem v oblasti výroby pěnového skla. Tyto výzkumy byly prováděny v Portugalsku. [5]

Popílek je použit jako napěňovací přísada. Při rozkladu uhličitanu vápenatého uniká oxid uhličitý a vytváří strukturu pěnového skla.

Rozklad uhličitanu vápenatého probíhá při teplotě 890 °C. Tato skutečnost je využitelná ve velkém rozsahu, protože průměrná tepelná elektrárna o výkonu 1000 MW vyprodukuje velké množství tohoto popílku, který je řazen do vedlejších energetických produktů (VEP). Toto množství se může pohybovat kolem 2000 tun popela za den. Kombinace recyklovaného skla a popílku je víceméně důkazem, že jde skloubit více alternativních surovin do jednoho celku a využít jejich vlastností.[5]

Při výrobě pěnového skla se dá zase například využít jako napěňovadla odpadních kalů (obsahujících  $\text{CaCO}_3$ ) ze stavební výroby, ze kterých se tepelným rozkladem uvolňuje  $\text{CO}_2$  a výrazně napomáhá napěnění. [5]

### **Výsledky týkající se obsahu toxických látek v některých druzích skla**

V případě výroby opírající se o využití obrazovkového skla tj. konusové a stínítkové části jsou sledovány obsahy toxických látek, a to zejména vyluhovatelnosti olova, které je pro lidský organismus škodlivé, to platí pro výrobu pěnového skla, u něhož hrozí možnost vyluhování škodlivých látek díky jeho struktuře.[7]

Společnost AQUATEST má celkem propracovanou technologii v odlučování nebezpečných látek mechanickým suchým procesem. Tento proces je podrobněji popsán v kapitole týkající se recyklace skla. [22]

Výsledky, týkající se vyluhovatelnosti olova jsou uvedeny v kapitole zabývající se výzkumem pěnového skla.

## 5. ZÁVĚR

Na základě cílů, které byly stanoveny pro tuto bakalářskou práci, je řešena produkce druhotné suroviny ve formě skla. V této problematice bylo zjištěno, že trend třídění druhotných surovin zaznamenává vzestup jak u nás, tak i v zahraničí. V České republice je sice využívání druhotných surovin na nižší úrovni než v sousedních státech a státech EU jako je např. Německo a Francie, ale trend třídění se pomalu zvyšuje, protože těžba a úprava surovin nových je nákladná.

S recyklací skla jsou spojeny i problémy týkající se např. odstraňování folií z autoskel a ocelových drátků z některých druhů plochých skel. Obalová skla obsahují zase určité množství nečistot, které jsou rovněž nežádoucí při opětovné výrobě skla. Dalším problémem je i obsah toxických prvků v některých sklech a následné zpracování takového skla. Konkrétně se jedná o střepy pocházející z demontáže CRT obrazovek a dále zářivek. Z tohoto důvodu byl proveden průzkum v oblasti různých technologií, při kterých se jeví jako potenciálně možné využít těchto střepů. Za nejvýhodnější byla shledána produkce spékaných desek jako zástupce kompaktních materiálů. Pro lehčené materiály se jeví jako vhodná technologie výroby tepelných izolací na bázi tepelně upravených střepů.

Při výrobě deskových obkladových materiálů ze sintrovaného skla se jeví jako vhodnější použití kvalitnějších střepů z důvodu požadavku na vzhled. Jedná se především o minimalizaci vzniku pórů a případných defektů ve struktuře. Tyto mohou mít původ právě v obsahu nejrůznějších nečistot. Z hlediska tvorby pórů při spékání jsou podstatné především spalitelné látky, jejichž přítomnost lze předpokládat zejména v obalových sklech, příp. zbytky folií skel z automobilů. Při výrobě pěnového skla by tedy mohlo být s výhodou využito i střepů, které se vyznačují vyšším obsahem nečistot (pokud by neměly tyto nečistoty negativní vliv na průběh teplotního režimu a dostatečného napětí) a zejména pak zmíněných spalitelných látek, které by se naopak mohly příznivě projevit při procesu napětí.

Z ekologického hlediska lze konstatovat, že vítanou alternativní surovinou pro výrobu sintrovaných obkladů a obecně desek na bázi skla by měly být recyklované střepy pocházející ze zářivkového skla a obrazovek. Jelikož se prozatím jedná o nebezpečný odpad, snížilo by se tak zatížení životního prostředí. Při uvážení kompaktní struktury sintrovaných desek lze předpokládat, že by nedocházelo k výluhům toxických prvků, které jsou v těchto strepech obsaženy.

S ohledem na nebezpečí vyluhovatelnosti toxických látek se naskýtá také možnost v budoucnu obrazovkové a zářivkové teoreticky využít při výrobě pěnového skla, které by bylo zapouzdřeno v konstrukčním betonu, kde by v hutné struktuře pravděpodobně nedocházelo k vyluhování toxických látek v kritickém množství a splnilo by limity pro dané hygienické požadavky.

Závěrem lze konstatovat, že výsledky průzkumu provedeného v rámci řešení bakalářské práce poukazují na možnost využití recyklovaného skla při výrobě sintrovaných prvků a pěnového skla. Vzhledem k tomu, že byly uvažovány střepy, které jsou pro sklárny nežádoucí, popř. jsou částečně využívány v jiných výrobních odvětvích, došlo by k ulehčení životnímu prostředí. V případě výroby pěnového skla s obsahem obrazovkových a zářivkových střepů se bude třeba více zaměřit na možné výluhy toxických prvků. Jedná se pouze o průzkum na teoretické úrovni s využitím dostupných informačních zdrojů. Tvzení a domněnky zde uvedené bude třeba ověřit souborem patřičných laboratorních testů a analýz.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### LITERATURA

- [1] PYTLÍK, P., *Vlastnosti a užití stavebních výrobků*, Brno: VUTIUM, 1998.
- [2] MATOUŠEK, J., *Anorganické nekovové materiály*, VŠCHT v Praze, 1992
- [3] MEYER, C., BAXTER, S., *Use of recycled glass and fly ash for precast concrete*, New York: Research and Development Authority, 1998.
- [4] ADÁMEK, J., NOVOTNÝ, B., KOUKAL, J., *Stavební materiály*, CERM, s.r.o Brno, ISBN 80-214-0631-3
- [5] James F. Shackelford, Robert H. Doremus (2008). *Ceramic and Glass Materials: Structure, Properties and Processing*. Springer. p. 158. ISBN 0-387-73361-2

### ODBORNÉ ČLÁNKY

- [6] FERNANDES, H.R, TULIGANOV, T.U., FERREIRA, Preparation characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents [online], [Ceramic International 35, 229-235, 2009]. Dostupný z:  
<<http://www.sciencedirect.com>>
- [7] PASCAL, G.YOT, FRANCOIS, O. MÉAR, Characterization of lead, barium and strontium leachability from foam glasses elaborated using waste cathode ray-tube glasses [online], [Journal of Hazardous Materials 185, 236-241, 2011]. Dostupný z:  
<<http://www.sciencedirect.com>>
- [8] ZEGOWITZ, A., Cellular Glass Aggregate Serving as Thermal insulation and a Drainage Layer [online]. Dostupný z:  
<[http://www.ibp.fraunhofer.de/Images/Zegowitz\\_2010\\_Cellular-Glass-Aggregate-Serving-Thermal\\_tcm45-86545.pdf](http://www.ibp.fraunhofer.de/Images/Zegowitz_2010_Cellular-Glass-Aggregate-Serving-Thermal_tcm45-86545.pdf)>
- [9] MELICHAR, T., KHESTL, F., Uplatnění alternativních surovin při modifikaci vsázky sklosilikátových obkladových prvků a jejich vliv na vybrané fyzikálně- mechanické vlastnosti výsledných produktů [online]. Dostupný z:  
[http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008\\_sekce/pdf/4\\_2/Melichar\\_Tomas\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/4_2/Melichar_Tomas_CL.pdf)
- [10] MELICHAR, T., KEPRDOVÁ, Š., Desky na bázi spékaných střepů pocházejících z recyklace lepených skel automobilů [online]. Dostupný z:  
<http://stavba.tzb-info.cz/deskove-materialy-ostatni/8283-desky-na-bazi-spekanych-strepu-pochazejicich-z-recyklace-lepenych-skel-automobilu>

## INTERNET

- [11] <http://homen.vsb.cz/~wih15/Technologie/>
- [12] [http://data.jic.quonia.cz/vouchery/RDS-CZ\\_pripadovastudie\\_final.pdf](http://data.jic.quonia.cz/vouchery/RDS-CZ_pripadovastudie_final.pdf)
- [13] [http://odpady.ihned.cz/c4-10066120-12677230-E00000\\_detail-moznosti-recyklace-luminoforu-z-obrazovek](http://odpady.ihned.cz/c4-10066120-12677230-E00000_detail-moznosti-recyklace-luminoforu-z-obrazovek)
- [14] <http://www.gomelglass.com/en/catalogue/foam-glass/>
- [15] [www.vyrobek-technologie.cz/db\\_binary\\_file/plans/1488.pdf](http://www.vyrobek-technologie.cz/db_binary_file/plans/1488.pdf)
- [16] <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1136>
- [17] <http://www.vetropack.cz>
- [18] <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/tepelne-izolace/penove-sklo-tepelna-izolace-pro-narocne-provozni-strechy-920.html>
- [19] <http://www.aquatest.cz>
- [20] <http://www.splrecycling.com>
- [21] <http://www.ekovuk.cz>
- [22] <http://www.aquatest.cz>
- [23] <http://www.rdscz.cz>
- [24] <http://www.glasilex.cz>
- [25] <http://www.archinet.sk>
- [26] <http://www.glasseco.co.uk>
- [27] [http://www.casopisstavebnictvi.cz/penove-sklo-tepelna-izolace-budoucnosti\\_N4188](http://www.casopisstavebnictvi.cz/penove-sklo-tepelna-izolace-budoucnosti_N4188)
- [28] <http://www.konstrukce.cz/clanek/penove-sklo-novy-trend-ve-stavebnich-materialech>
- [29] <http://www.foamglas.cz>
- [30] <http://www.izolace.cz>
- [31] <http://www.technistone.cz>
- [32] <http://www.artaic.com>
- [33] <http://www.geocell-schaumglas.eu>
- [34] <http://www.misapor.ch>
- [35] <http://odlucoface-nadrze.cz>
- [36] <http://www.enviweb.cz>
- [37] <http://www.czso.cz>
- [38] <http://www.mzp.cz>
- [39] <http://cdn.intechopen.com>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1: Teplotní závislost měrného objemu a entalpie látek v kapalném, krystalickém a skelném stavu                                             | 9  |
| Obr. 2: TTT diagram                                                                                                                             | 11 |
| Obr. 3: Plošné znázornění struktury $\text{SiO}_2$ : a) skelné $\text{SiO}_2$ , b) sodnokřemičité sklo, c) Struktura dle Zachariasena a Warrena | 13 |
| Obr. 4: Stručné schéma výroby skla                                                                                                              | 16 |
| Obr. 5: Stručné schéma recyklace obalového skla                                                                                                 | 20 |
| Obr. 6 : Zařízení pro separování luminoforu, stínítka a kónusovou část                                                                          | 23 |
| Obr. 7: Manipulace se skleněnými střepy (autoskla)                                                                                              | 24 |
| Obr. 8: Výrobek firmy GLASSECO-Kuchyňská linka                                                                                                  | 28 |
| Obr. 9: Ukázka využití produktů TECHNISTONE                                                                                                     | 29 |
| Obr. 10: Ukázka realizace obkladů firmy ARTAIC                                                                                                  | 30 |
| Obr.11: Napěňování a chlazení                                                                                                                   | 35 |
| Obr. 12: Vzorek pěnového skla                                                                                                                   | 35 |
| Obr. 13: Znázornění tepelné izolace MISAPOR                                                                                                     | 37 |
| Obr. 14: Struktura (resp. textura) vzorku vyrobeného z recyklované obalové skloviny (frakce 0-4mm) při maximální teplotě 800°C                  | 39 |
| Obr. 15: Vzorek vyrobený z demontovaných obrazovek (kónusová část frakce 0-16mm) vyrobený při maximální teplotě 700°C                           | 39 |
| Obr. 16: Ukázka mikrostruktury materiálu, který vznikl sintrací (Postupný vznik krčků)                                                          | 41 |
| Obr. 17: Ukázka pelet vyrobených pod tlakem 80MPa a při teplotě 900 °C                                                                          | 42 |
| Obr. 18: Znázornění mikrostruktury pěnového skla                                                                                                | 43 |
| Obr. 19: Znázornění makrostruktury pěnového skla                                                                                                | 44 |

## SEZNAM TABULEK

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 1: Produkce skelného odpadu dle druhu                                                                    | 16 |
| Tabulka 2: Technické vlastnosti TECHNISTONE                                                                      | 30 |
| Tabulka 3: Vlastnosti pěnového skla REFAGLASS                                                                    | 33 |
| Tabulka 4: Vlastnosti pěnového skla GEOCELL                                                                      | 36 |
| Tabulka 5 : Vzorky připravené pro výrobu pěnového skla                                                           | 44 |
| Tabulka 6: Zvolené dávkování uhličitánů a základní směsi                                                         | 44 |
| Tabulka 7: Vyluhovatelnost olova v mg/l po určitých časových úsecích v závislosti na přídávku redukčního činidla | 47 |

## **SEZNAM GRAFŮ**

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Graf 1: Celková výtěžnost tříděného sběru v ČR na obyvatele v letech 1999-2008 | 17 |
| Graf 2: Produkce odpadu dle druhu                                              | 18 |
| Graf 3: Příklad režimové teplotní křivky výpalu                                | 38 |
| Graf 4: Grafické vyjádření poklesu pevností v závislosti na zvyšování vsázky   | 40 |
| Graf 5: Vliv teploty sintrace na hustotu použitého materiálu                   | 41 |
| Graf 6, 7: Diferenční termická analýza, Hodnocení hmotnostního úbytku v %      | 43 |

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Zadání práce

Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

Prohlášení

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP

Bibliografická citace

Popisný soubor VŠKP