



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ**

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**NOVÉ LEHČENÉ PODLAHY NA BÁZI  
DRUHOTNÝCH SUROVIN**

NEW LIGHTWEIGHT FLOORS WITH SECONDARY RAW MATERIALS

**TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE**

SHORT VERSION OF DOCTORAL THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Ing. Eva Tůmová

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA,  
CSc., MBA

BRNO 2017

1. Úvod .....	3
2. Současný stav řešené problematiky .....	4
2.1 Možnosti vylehčování stavebních látek.....	4
2.2 Vlastnosti a použití lehkých pórovitých betonů .....	4
2.3 Plynotvorné látky a pórobeton.....	4
2.4 Pěnobetony a pěnotvorná činidla.....	5
3. Cíl práce .....	6
4. Metodika práce .....	7
5. Zhodnocení dosažených poznatků .....	10
5.1 Etapa I. – Základní ověření možností vylehčení silikátových materiálů .....	10
5.2 Etapa II. – Návrh receptur lehčených stavebních hmot.....	12
5.3 Etapa III. – Studium mikrostruktury vybraných vzorků .....	15
6. Přínos pro vědní obor a praxi.....	18
7. Závěr.....	20
8. Seznam použité literatury (výběr) .....	22
9. Curriculum Vitae .....	24
10. Publikační činnost a projekty.....	25
11. Abstrakt.....	31

# 1. Úvod

Podlaha je jednovrstvá nebo vícevrstvá konstrukce, která tvoří vrchní část vodorovných nebo šikmých konstrukcí. Podlaha vždy bezprostředně navazuje na podkladový materiál, kterým může být v nejnižším patře podkladní betonová vrstva nebo ve vyšších patrech stropní konstrukce. Průmyslové podlahy jsou zejména podlahové konstrukce velkokapacitních objektů v továrních halách, skladech a jiných nebytových objektech, které jsou kromě statického namáhání zatěžovány i dynamickým namáháním různými manipulačními prostředky. Podlahy jsou užívány jak pěším způsobem, tak jako parkovací plochy. Rozdíl mezi průmyslovými podlahami a podlahami např. v bytové výstavbě, kancelářích a učebnách spočívá zejména v tom, že u průmyslových podlah jde o velké plochy uvnitř prostorných hal nejen jednopodlažních v úrovni okolního terénu, ale v řadě případů i vícepodlažních, a to jak v suterénní části, tak v nadzemí. Naproti tomu v případě občanských bytových staveb se jedná o podlahy s malým plošným rozsahem a rovněž s relativně malým zatížením. [1]

Ve vývoji podlahových konstrukcí se stále využívá nových stavebních hmot, přísad, plniv a druhotných surovin rozmanitých vlastností. Je možno vyvinout nové typy materiálů o různých mechanických vlastnostech, zvýšených odolnostech či snížených hmotnostech. Lehčené stavební hmoty jsou základním prvkem pro vylehčení průmyslových podlah a tím i snížení jejich hmotnosti. To je zvláště výhodné pro vícepodlažní objekty. [1]

Lehčeným plnivem lze snížit objemovou hmotnost stavebních materiálů a zároveň docílit zlepšení akustických a tepelně-vodivostních parametrů stavebních materiálů. To je výhodné zejména pro průmyslovou výrobu, která je doprovázena problémy se šířením hluku z provozu strojních zařízení. Bytová výstavba klade vysoké požadavky i na tepelně-izolační vlastnosti materiálů. [1]

Tato disertační práce byla realizována za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci projektu FR-TI3/742 - Systém lehčených hmot pro dokončování staveb s druhotnými surovinami a v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP - Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

## 2. Současný stav řešené problematiky

### 2.1 Možnosti vylehčování stavebních látek

Přímé – vylehčení se dosahuje při výrobě vytvořením pórů přímo do vlastní hmoty.

Nepřímé – vylehčení se dosahuje snížením objemové hmotnosti použitím lehkých pórovitých látek. Zde se uplatňují i nejrůznější lehká kameniva, jako např. keramzit.

Ve skladbě konstrukce – vylehčení se dosáhne záměrnou skladbou konstrukce a volbou vhodného materiálu (polystyren, dřevo, desky, vzduchové mezery, zásypy atd.).

### 2.2 Vlastnosti a použití lehkých pórovitých betonů

Lehký pórovitý beton je ve srovnání s obyčejným betonem relativně homogenní materiál, protože v něm není obsažena hrubá frakce kameniva. Zároveň lehké pórovité betony (pórobetony) vykazují velké odlišnosti ve fyzikálně-mechanických vlastnostech. Tyto vlastnosti u pórobetonu závisí především na jeho mikrostruktuře (pórovém systému) a na složení, které je ovlivněno typem použitého pojiva, způsobem tvorby pórů a také způsobem vytvrzování. Přestože původně byl pórobeton vyvíjen s myšlenkou na dobrý izolační materiál, postupně se zvedal také zájem o jeho možné použití ve stavbách jako konstrukčního materiálu, díky nižší hmotnosti, úspoře na materiálu a také širokému spektru možného využití popílků. [20] [21]

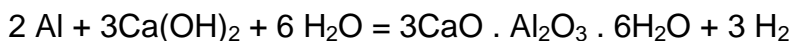
Obecně se dá říci, že je možné rozlišit dva druhy lehkých pórovitých betonů. Jedná se o pórobeton (autoklávovaný či neautoklávovaný) a o pěnobeton. Hlavní výhodou pórobetonu je nízká hmotnost, díky které dochází k úsporám na konstrukčních částech budov, včetně základů a zdiva v nižších patrech. Podle způsobu výroby je možné dosáhnout na širokou škálu objemových hmotností ( $300 - 1800 \text{ kg.m}^{-3}$ ), to umožňuje značnou flexibilitu při výběru a produkci výrobků pro různá použití. [21]

### 2.3 Plynotvorné látky a pórobeton

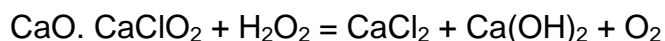
Při výrobě se nejběžněji využívá jako plynotvorná látka hliníkový prášek. Je možné využívat i jiná nakyprující činidla, jako je peroxid vodíku a chlorové vápno, močovina a chlornan sodný, karbid vápníku za přídavku klišu nebo kovový prášek

a vápenný hydrát. Principem kynutí směsi a tvorbou pórů ve struktuře je uvolňování plynů.

#### Al prášek nebo pasta



#### Chlorové vápno a peroxid vodíku



Pórobetony vyráběné ze základních složek a plynotvorné přísady obsahují makropóry tvořící až 80% celkového objemu. Plynotvorná přísada po přimísení do směsi reaguje s alkalickým prostředím a za uvolňování vodíku způsobuje nakynutí dané směsi.

## **2.4 Pěnobetony a pěnotvorná činidla**

### **2.4.1 Pěnobeton**

Hmoty vylehčené pomocí pěny za přídavku pěnotvorného činidla a většinou portlandského cementu nazýváme pěnobetony.

### **2.4.2 Pěnotvorné přísady - pěnidla**

Pěnotvorná přísada způsobuje, že při míchání se do betonu fyzikální cestou dostává velké množství dostatečně pevných a stálých vzduchových bublin – vzniká pěnobeton.

#### **2.4.2.1 Pěnidla na bázi bílkovin**

Pěnotvorné látky na bázi bílkovin se vyrábí hydrolýzou živočišných bílkovin obvykle z rohů, krve, kostí popřípadě podobných odpadů z chovu skotu, prasat či jiných dalších živočišných schránek.

#### **2.4.2.2 Pěnidla na bázi povrchově aktivních látek**

Syntetické pěnotvorné látky jsou čistě chemického původu s konstantní kvalitou. Povrchově aktivní látky se hromadí na rozhraní kapaliny či plynu a vytváří stabilizující film.

#### **2.4.2.3 Pěnidla na enzymové bázi**

Enzymatické pěny jsou výsledkem nejnovějšího vývoje. Skládají se převážně z vysoce aktivních bílkovin rostlinného původu.

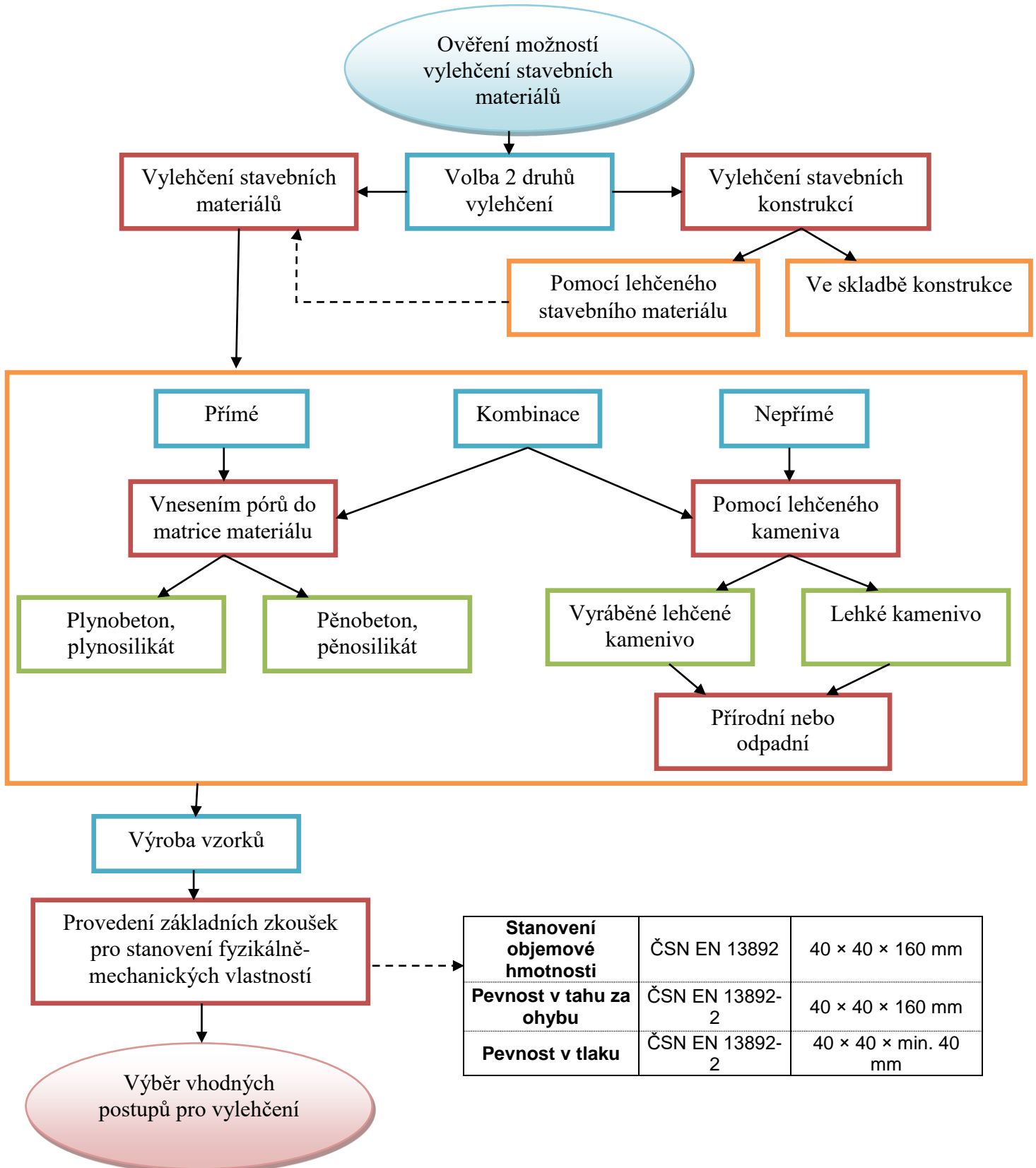
### 3. Cíl práce

Cílem disertační práce je vyvinout nový lehčený potěrový materiál pro podlahy s použitím druhotných surovin a lehčených plniv s důrazem na vnesení mikropórů do matrice potěru již vylehčeného lehčeným kamenivem případně lehkými odpady. Tento proces bude řešen, jak použitím pěnidel, tak i pomocí nakypřovacích procesů založených na reakcích mezi chemickými látkami, které se používají při výrobě autoklávovaného i neautoklávovaného pórobetonu. Oba tyto způsoby budou optimalizovány pro možnost výroby konečného výrobku in-situ, především z pytlovaných směsí, nejlépe bez přidání tekutých aditiv nebo pěny vyráběné na staveništi. Takto vznikne zcela nový výrobek na trhu, který bude schopný tzv. samonakypření nebo samonapěnění přímo na stavbě.

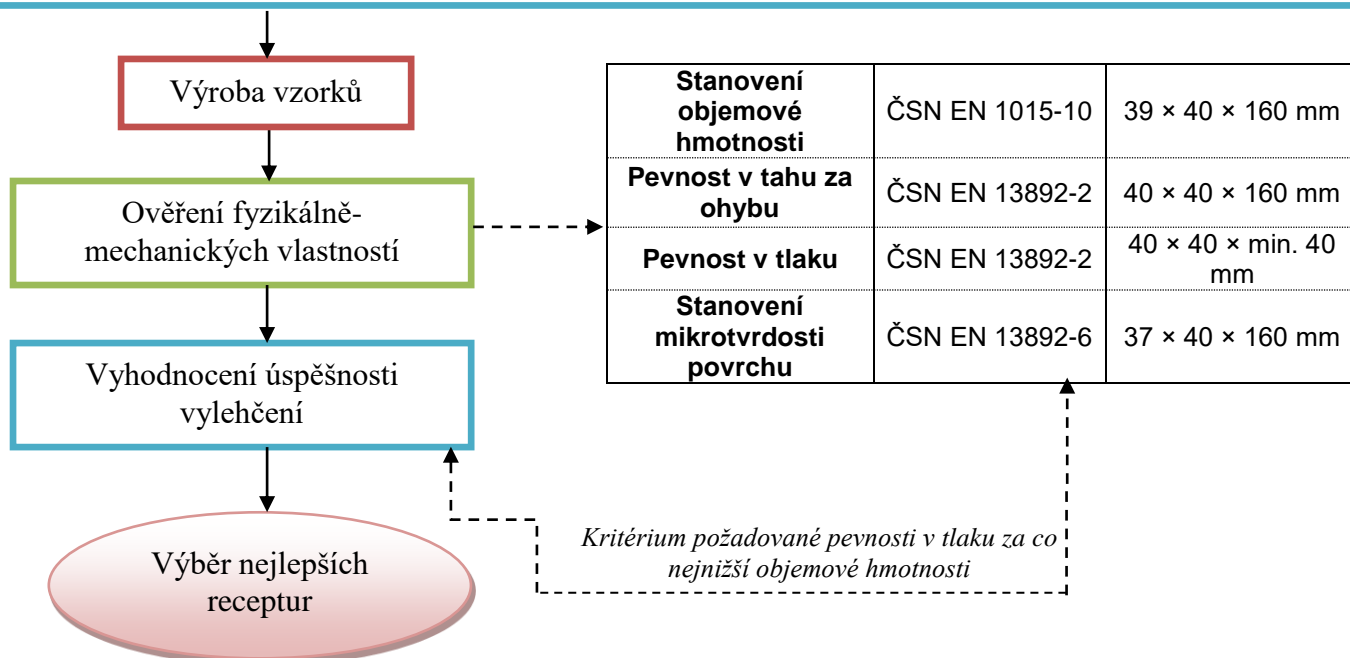
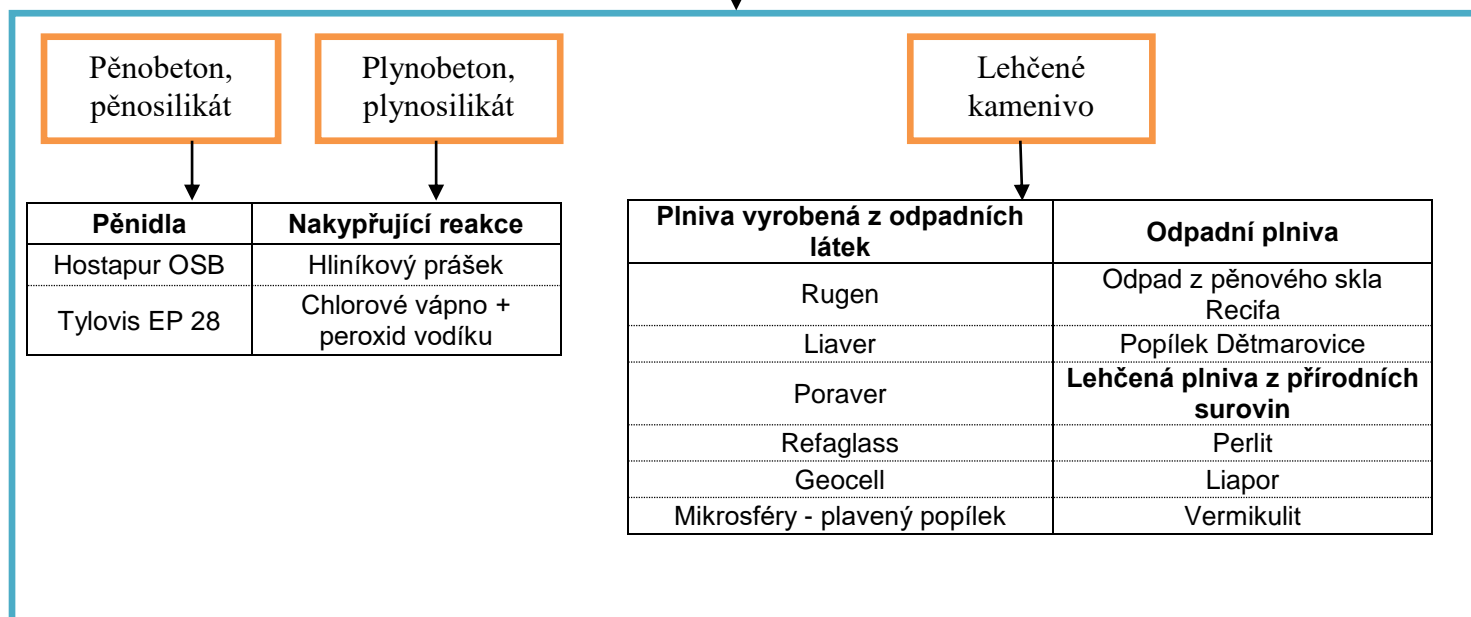
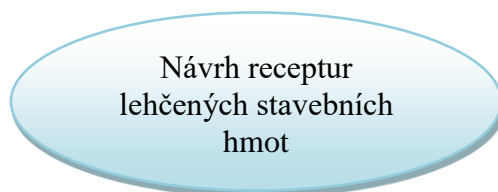
Dalším cílem disertační práce je prozkoumat mikrostrukturu takto vyvinuté směsi a rozkrýt pochody a mechanismy, které provázejí tento typ vylehčení stavební hmoty na silikátové bázi. Hlavní důraz bude kladen na zjištění distribuce mikropórů vnesených reakcemi nebo pěnidlem ve struktuře matrice obsahující větší množství pórovitého kameniva, hlavně mikrosfér z plaveného popílku a jemných granulátů z expandovaného skla, ověřit, do jaké míry je pórová struktura ovlivněna metodou vnesení pórů. Pórová struktura bude zkoumána mikroskopicky pro zachycení rozdílů ve velikostech mikropórů.

## 4. Metodika práce

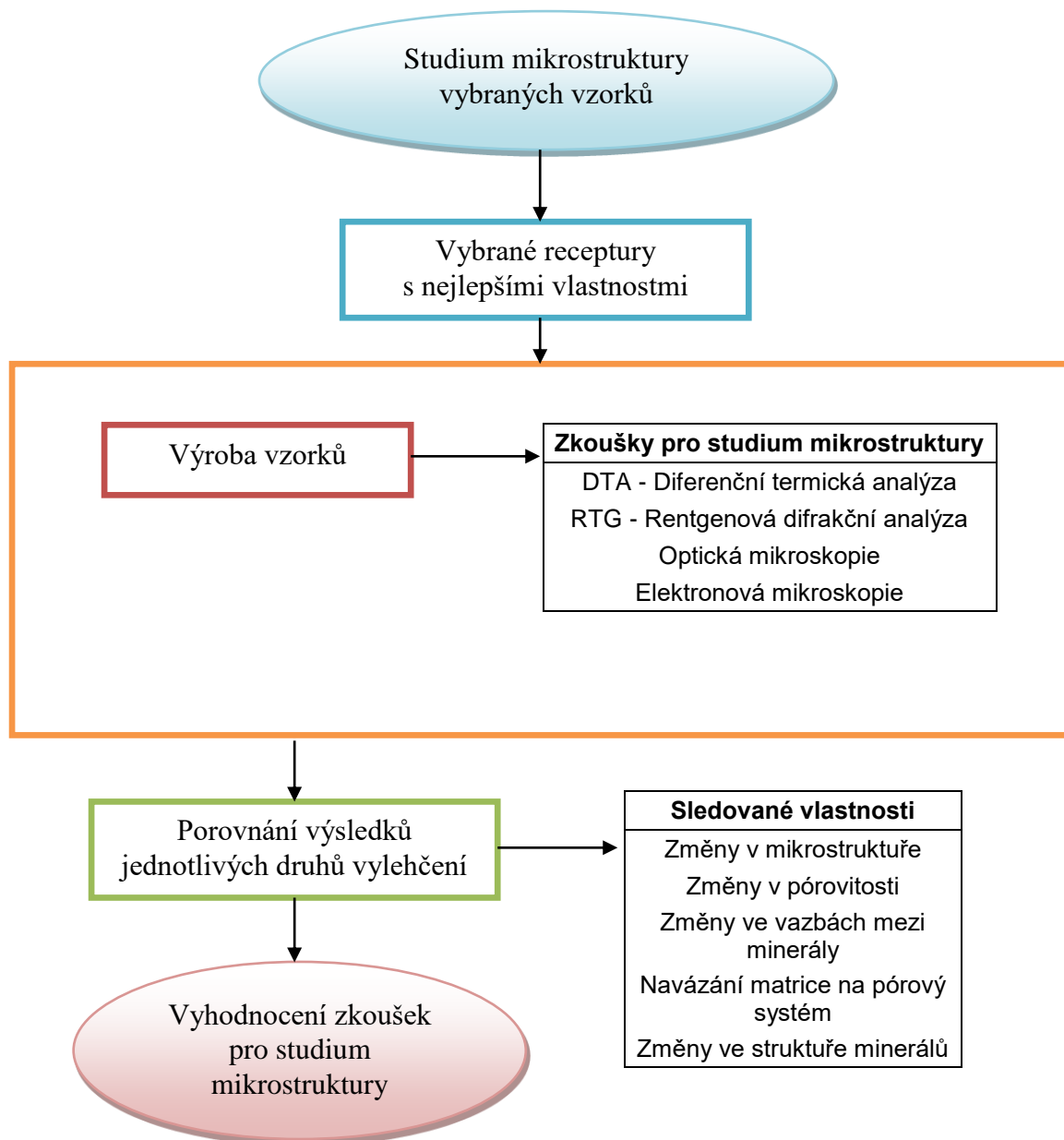
### Etapa I. – Základní ověření možností vylehčení silikátových materiálů



## Etapa II. – Návrh receptur lehčených stavebních hmot



### Etapa III. – Studium mikrostruktury vybraných vzorků



## 5. Zhodnocení dosažených poznatků

Tato disertační práce byla věnována výzkumu a vývoji nových lehčených potěrů pro podlahy. Jedním z hlavních cílů bylo prozkoumat a popsat proces vylehčení stavebních hmot. Tento cíl byl splněn a všechny zkoumané metody vedly více či méně úspěšně na vylehčení a na tvorbu pórového systému. v rámci laboratorních zkoušek se podařilo vyrobit úspěšně jak neautoklávovaný pórobeton s hliníkovým práškem, který se vyrábí průmyslově a autoklávuje se, tak i pěnobetony se sytkými pěnidly. Součástí práce byly také zkoušky na vzorcích vzniklých pomocí nakypřovací reakce peroxidu vodíku s chlorovým vápnem. Tato metoda se v praxi nevyužívá a literatura ji pouze zmiňuje, bylo nutné při návrhu receptur, a především dávky chlorového vápna a peroxidu vodíku, postupovat experimentálně.

Nejprve byly vybrány, v teoretické části práce, složky pro návrh receptur, a to především lehčená plniva, plniva z druhotných i přírodních surovin. Dále pak bylo pomocí teoretického modelu určeno optimální množství cementu a k němu ideální dávka popílku. Při samotné tvorbě vzorků v laboratoři bylo posupováno ze základních receptur vytvořených na základě výpočtů optimálního množství cementu, popílku a na stanovení křivky zrnitosti. Potom již bylo postupováno experimentálně a dávky jednotlivých složek byly upravovány podle požadované konzistence a vlivu jednotlivých složek na vlastnosti čerstvé směsi, její zpracovatelnost a rozmíchatelnost.

### 5.1 Etapa I. – Základní ověření možností vylehčení silikátových materiálů

V první etapě byly vybrány vhodné způsoby vylehčení potěrového materiálu pro podlahy s obsahem druhotných surovin. Nejprve byla, na základě předešlého teoretického studia, vybrána vhodná plniva a pojiva pro vývoj lehčené podlahoviny. Byla vybrána jak přírodní a průmyslově vyráběná lehčená kameniva, tak i druhotné suroviny používané přímo a kameniva vyrobená z druhotných surovin různými průmyslovými procesy.

Následně byly odzkoušeny fyzikálně-mechanické vlastnosti komerčně vyráběných potěrů pro podlahy. Jednalo se o potěry tříd CT-C12-F3, CT-C20-F4, CT-C30-F5 a CT-C35-F5.

Dále byly vybrány ze známých a dostupných způsobů vnesení mikropórů do matrice cementového tmele ty nejvhodnější. Byly navrženy základní receptury, na

kterých byla ověřena vhodnost jednotlivých plniv a jejich kombinací pro použití v dalších návrzích receptur. Stejným způsobem byly ověřeny i možnosti napěnění a nakypření směsi.

Na vzorcích byly provedeny základní zkoušky – stanovení objemové hmotnost, pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu. Z vyhodnocení praktických zkoušek v této etapě byly vybrány suroviny a postupy pro další návrhy receptur potěrových hmot pro podlahy.

Následně byl zkoumán vliv lehčených plniv na výsledné vlastnosti potěrové hmoty. Cílem bylo zjištění vhodného zastoupení původního plniva plnivem lehčeným. Byl zkoumán vliv 5%, 10%, 15% a 20% náhrady původního plniva plnivem lehčeným. Náhrada plniva probíhala objemově.

Tabulka 1 Vliv expandovaného vermikulitu, expandovaného perlitu a mikrosfér Q-CEL-7014 a Omega SPHERES W300 na fyzikálně-mechanické vlastnosti potěrové hmoty

<b>Expandovaný perlit</b>					
<b>Náhrada [%]</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
<b>Vodní součinitel [-]</b>	0,50	0,52	0,54	0,58	0,62
<b>Objemová hmotnost [kg.m<sup>-3</sup>]</b>	2200	2120	2110	2080	1990
<b>Pevnost v tlaku [N.mm<sup>-2</sup>]</b>	37,5	35,9	34,8	31,1	25,7
<b>Koeficient konstruktivnosti [-]</b>	1,70	1,69	1,65	1,50	1,29
<b>Expandovaný vermikulit</b>					
<b>Náhrada [%]</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
<b>Vodní součinitel [-]</b>	0,77	0,78	0,83	0,83	0,85
<b>Objemová hmotnost [kg.m<sup>-3</sup>]</b>	2020	1980	1950	1930	1910
<b>Pevnost v tlaku [N.mm<sup>-2</sup>]</b>	19,2	17	14,2	16,9	16
<b>Pevnost v tahu za ohybu [N.mm<sup>-2</sup>]</b>	5,5	4,9	4,6	5,6	5,3
<b>Koeficient konstruktivnosti [-]</b>	0,95	0,86	0,73	0,88	0,84
<b>Mikrosféry Q-CEL-7014</b>					
<b>Náhrada [%]</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
<b>Vodní součinitel [-]</b>	0,77	0,77	0,74	0,72	0,62
<b>Objemová hmotnost [kg.m<sup>-3</sup>]</b>	2020	2020	2020	2010	1950
<b>Pevnost v tlaku [N.mm<sup>-2</sup>]</b>	19,2	20,6	20	19,4	18,9
<b>Pevnost v tahu za ohybu [N.mm<sup>-2</sup>]</b>	5,5	5,3	5,7	6,1	5,7
<b>Koeficient konstruktivnosti [-]</b>	0,95	1,02	0,99	0,97	0,97
<b>Mikrosféry Omega SPHERES W300</b>					
<b>Náhrada [%]</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
<b>Vodní součinitel [-]</b>	0,77	0,81	0,85	0,93	1,01
<b>Objemová hmotnost [kg.m<sup>-3</sup>]</b>	2020	1840	1740	1640	1550
<b>Pevnost v tlaku [N.mm<sup>-2</sup>]</b>	19,2	13,5	10,4	8,8	6,9
<b>Pevnost v tahu za ohybu [N.mm<sup>-2</sup>]</b>	5,5	4,1	3,6	3,1	2
<b>Koeficient konstruktivnosti [-]</b>	0,95	0,73	0,6	0,54	0,45

Bylo zjištěno, že expandovaný perlit je možné využít jen do 10% náhrady přírodního plniva. Přídavek expandovaného perlitu má celkově negativní vliv na vlastnosti hmoty, jelikož se snižuje koeficient konstruktivnosti, tedy poměr mezi objemovou hmotností a pevností v tlaku. Expandovaný perlit se ve směsi chová podobně jako expandovaný perlit a nelze ho tedy doporučit jako lehčené plnivo první volby pro hmoty, kde hraje roli nejen nízká objemová hmotnost, ale i pevnost v tlaku. Mikrosféry Q-CEL-7014 zlepšují zpracovatelnost hmoty a zároveň snižují množství potřebné záměsové vody, kvůli jejich vysoké ceně je možné je dávkovat jen do 5 % náhrady plniva. Tyto mikrosféry mají také tendenci se shlukovat a dají se špatně rozmáchat ve směsi. Mikrosféry W 300 mají podobný vliv jako mikrosféry Q-CEL-7014, dají se ale lépe rozmíchat ve směsi a tvorba shluků je v jejich případě minimální.

## **5.2 Etapa II. – Návrh receptur lehčených stavebních hmot**

V druhé etapě byly, na základě výsledků předchozí etapy, navrženy receptury pro lehčené potěrové hmoty pro podlahy. Vývoj receptur byl směřován především k tomu, aby mohly být průmyslově vyráběny do pytlů nebo sil kompletně, bez další potřeby přídavku tekutých aditiv či pěny vyráběné na staveništi.

Nejprve byly navrženy tři typy receptur. První skupinou byly receptury na bázi pěnobetonu za přídavku práškových pěnidel. Dalším typem byly receptury na bázi plynobetonu – neautoklávovaného pórobetonu, vyrobeného standardními postupy pro pórobeton – pomocí nakypřovacích reakcí (hliníkový prášek, chlorové vápno + peroxid vodíku). Posledním typem receptur v této části etapy byly receptury obsahující nejrůznější druhy lehčeného a lehkého plniva, a to jednak plniva z přírodních surovin (Perlit, Liapor, Vermikulit) a dále pak plniv vyrobených z druhotných surovin (Liaver, Poraver, Refaglass, Geocell, mikrosféry a cenosféry). Následně bylo navrženo několik receptur, které kombinovaly jednotlivé typy vylehčení: lehké kamenivo + nakypřovací reakce, lehké kamenivo + přísada pro napěnění. Na vzorcích vyrobených z těchto receptur byly stanoveny fyzikálně-mechanické vlastnosti.

Vzorky s náhradou plniva lehčeným plnivem v množství 10 % s práškovým pěnidlem byly vylehčeny asi o 10 %. V tomto případě vylehčení zhruba odpovídalo úbytku objemové hmotnosti. Vzorky, kde bylo přírodní plnivo nahrazeno zcela, a nebyla použita krystalizační přísada, měly sice objemovou hmotnost řádově okolo

500 kg.m<sup>-3</sup>, ale pevnost v tahu byla neměřitelná a pevnost v tlaku nedosahovala ani jednotek N.mm<sup>-2</sup>. Receptury s taktéž úplnou náhradou přírodního plniva plnivem Liaver s přidanou krystalizační přísadou již vykazovaly pevnost v tlaku okolo 2 N.mm<sup>-2</sup>, a tedy v souladu s požadavky na vylehčený potěr. Bylo možné vypořádat pozitivní vliv krystalizační přísady v součinnosti s pěnidlem na bázi olefinosulfonátu s dlouhým řetězcem. Naproti tomu pěnidlo na bázi polymerizačního produktu z propylenoxidu a ethylenoxidu společně s krystalizační přísadou způsobilo výrazný úbytek pevnosti v tlaku.



Obrázek 1 Čerstvá směs s Al-práškem



Obrázek 2 Směs a Al-práškem po nakynutí

Vzorky připravené pomocí reakce hliníkového prášku s vápenným hydrátem měly vyrovnanou hladinu hodnot objemové hmotnosti 1200 – 1600 kg.m<sup>-3</sup>. Zde vystupují jako nejlepší vzorky s užitou dávkou 0,8 a 0,9 g hliníkového prášku, při kterých byly hodnoty pevnosti v tlaku nad průměrem a hodnoty pevnosti v tahu za ohybu byly téměř dvojnásobné, oproti vzorkům s jinými dávkami hliníkového prášku.



Obrázek 3 Shluky vápenatých produktů ve vzorku nakypřeném směsí chlorového vápna a peroxidu vodíku

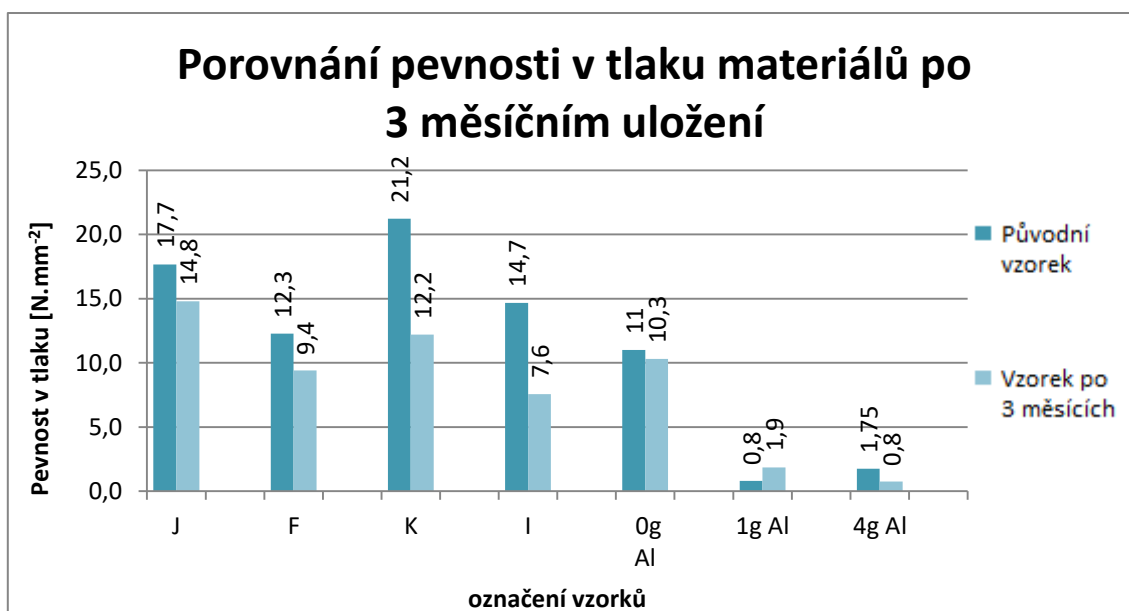
Vzorky plynobetonu na bázi reakce chlorového vápna a peroxidu vodíku byly vyrobeny experimentální postupem. Výslednou kvalitu materiálu ve většině případů ovlivnil zvýšený vývin tepla. Jako klíčové pro pevnosti v tlaku i v tahu za ohybu se ukázalo, přesně podle předpokladu, množství cementu. Zatímco se zvýšenou dávkou chlorového vápna, dochází vlivem nedokonalého proběhnutí reakce chlorového vápna s peroxidem vodíku k tvorbě shluků vápenatých produktů, které celkově oslabují strukturu materiálu. Je nutné také poznamenat, že vzorky reagovaly v čase se vzdušnou vlhkostí a postupně silně degradovaly.

Tabulka 2 Receptury pro sledování dlouhodobé stability [g]

Receptura	CEM I 42,5 R	Kamenivo frakce 0-4mm	Liaver 0-4mm	Pěnidlo Hostapur	Pěnidlo Tylovis EP 28	Přísada X-SEED	Voda
REC F	312	625	62	0,37			174
REC I	310	621	62	0,37		6,21	172
REC J	312	625	62		0,37		174
REC K	310	621	62		0,37	6,21	172
	CEM I 42,5 R	Kamenivo frakce 0-4mm	Nehašené vápno		Odmaštěný hliníkový prášek		
0 g Al, 1g Al, 4 g Al	200	600	200		0; 1; 4		250

Protože jedním z cílů disertační práce bylo navrhnout potěr, který bude možné skladovat v pytlech a silech bez nutnosti přidavku dalších látek, kromě vody, přímo na stavbě, byly také provedeny testy dlouhodobé stability směsí. Pro tyto testy bylo vybráno celkem 6 receptur, které měly být reprezentativním vzorkem užitých kombinací surovin.

Z výsledků je patrné, že dochází k poklesu výsledných pevností v tlaku u směsí po dlouhodobém odležení u všech vzorků. Tento jev je možné vysvětlit částečnou napěňovací, naplynovací reakcí nebo degradací směsí a materiálů jich obsažených za přítomnosti vzdušné vlhkosti při jejich tvorbě a následném uložení. Naopak u pevností v tahu za ohybu došlo k jejich zvýšení. Na hodnotách objemové hmotnosti se dlouhodobé uložení nijak výrazně neprojevovalo. U některých vzorků došlo k jejímu zvýšení a u jiných ke snížení. Tyto změny nebyly nijak výrazné.



Graf 1 Porovnání pevnosti v tlaku po 28 dnech a po dlouhodobém odležení

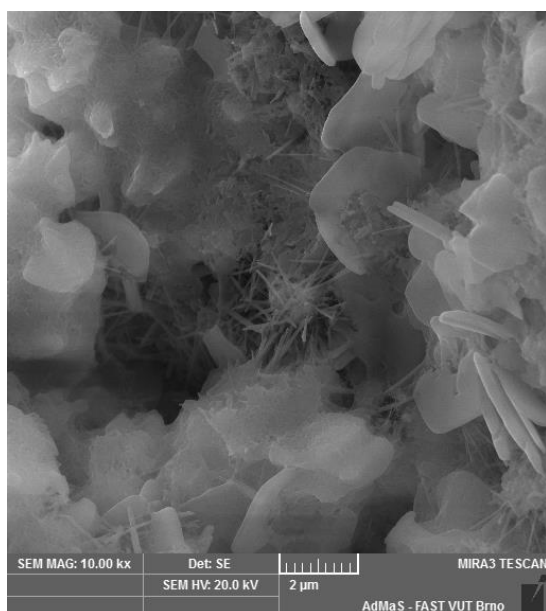
### 5.3 Etapa III. – Studium mikrostruktury vybraných vzorků

Třetí etapa byla zaměřena na studium mikrostruktury vybraných receptur. Pro tyto zkoušky byly vybrány receptury z předchozí etapy, které byly vyhodnoceny jako nejlepší, případně nejzajímavější. Vzorky pro zkoumání mikrostruktury byly uloženy v laboratorním prostředí po dobu cca 2 let. Na těchto vzorcích bylo možné pozorovat případné změny vzniklé stárnutím, dozráváním a působením vzdušné vlhkosti. Vzorky byly podrobeny podrobné analýze pro prozkoumání jejich vnitřní struktury – byla na nich provedena diferenční termická analýza, rentgenová difrakční analýza, optická a elektronová rastrovací mikroskopie. Výsledky zkoušek na jednotlivých recepturách byly porovnány s důrazem zejména na změny v mikrostruktuře, změny v pórovitosti, změny ve vazbách mezi minerály, navázání matrice na pórový systém a změny ve struktuře minerálů v závislosti na druhu vylehčení. U zkoumaných vzorků byly na snímcích ze skenovacího elektronového mikroskopu prokázány minerály a fáze, které byly nalezeny pomocí RTG a DTA analýz. Pórový systém byl zkoumán pomocí optické mikroskopie, kde byla zjištěna velikost pórů v matrici a jejich rozmístění.

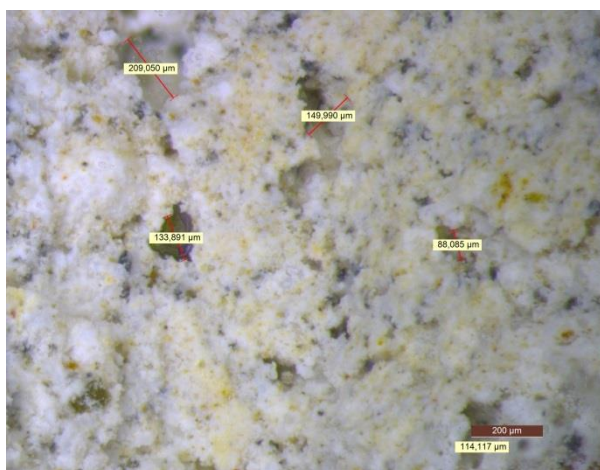
Tabulka 3 Celková pozorovaná velikost pórů

Materiál/vzorek	Velikost pórů	Mezerovitost	Poznámka
Al - prášek	100 -200 $\mu\text{m}$	ne	při vyšší dávce Al - prášku ojediněle póry až 400 $\mu\text{m}$
Chlorové vápno	150 - 350 $\mu\text{m}$ 2 - 4 mm	ne	pórový systém silně degradoval v čase
Pěnotvorná látka	200 - 400 $\mu\text{m}$	ano 100 - 400 $\mu\text{m}$	nejrovnoměrněji rozmístěné póry
Mikrosféry + pěnotvorná látka	100 $\mu\text{m}$	ne	s vermikulitem velikost pórů 150 - 300 $\mu\text{m}$

Póry ve vzorcích plynobetonu s obsahem hliníkového prášku 0,2 a 1,2 g měly průměr cca 100 – 200  $\mu\text{m}$ . Tyto vzorky měly kompaktní strukturu bez velkých pórů či kaveren. Vzorky plynobetonu nakypřeného pomocí reakce chlorového vápna s peroxidem vodíku měly hrubou strukturu s póry o velikosti 2 – 4 mm. Ve vzorcích se také vyskytovaly póry o velikosti 150 - 350  $\mu\text{m}$ . Sypká pěnidla tvořila ve struktuře vzorků póry 200 - 400  $\mu\text{m}$  velké, tj. také výrazně větší než póry tvořené hliníkovým práškem. Ve vzorcích s přidanými mikrosférami se tvořily také póry o velikosti 100  $\mu\text{m}$ . V tabulce 3 jsou stručně shrnuty poznatky získané o pórovém systému. Jsou zde uvedeny velikosti vytvořených pórů v závislosti na použité metodě, zvláštnosti v pórové struktuře, a jestli se ve vzorku vyskytla mezerovitost.



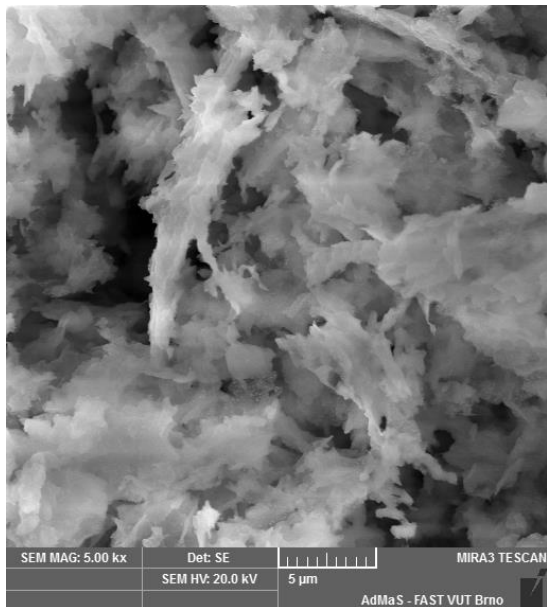
Obrázek 4 REM směsi s 0,2 g hliníkového prášku (10 000  $\times$ ), který je viditelně prosycen zrnky portlanditu



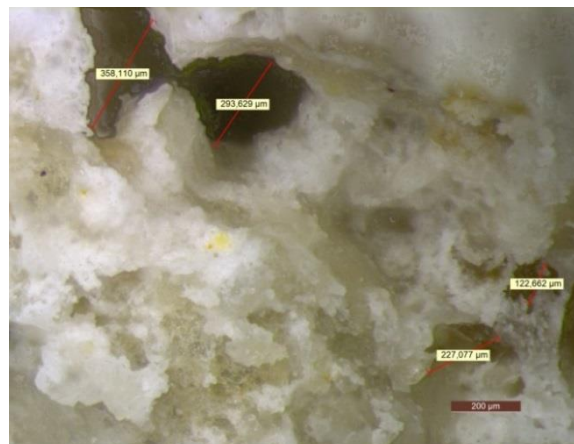
Obrázek 5 OM směsi se 1,2 g hliníkového prášku (50  $\times$ ), na obrázku je vidět vytvořená pórová struktura

Vzorky obsahující hliníkový prášek v dávce 0,2 g vykazovaly oproti vzorkům s obsahem 1,2 g hliníkového prášku výrazně větší množství portlanditu na úkor

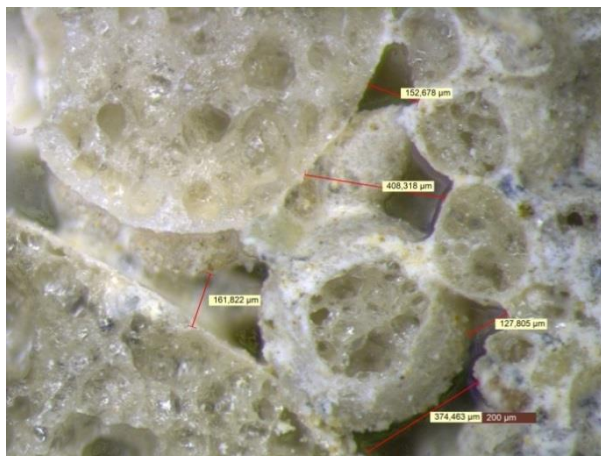
kalciitu. Tento jev byl potvrzen DTA analýzou a také se ukazuje na snímcích z elektronového mikroskopu, kde je vidět, že vzorky s obsahem 0,2 g hliníkového prášku jsou prosyceny zrny portlanditu, zatímco snímky vzorku s obsahem 1,2 g hliníkového prášku ukazují jen občasné zrno portlanditu.



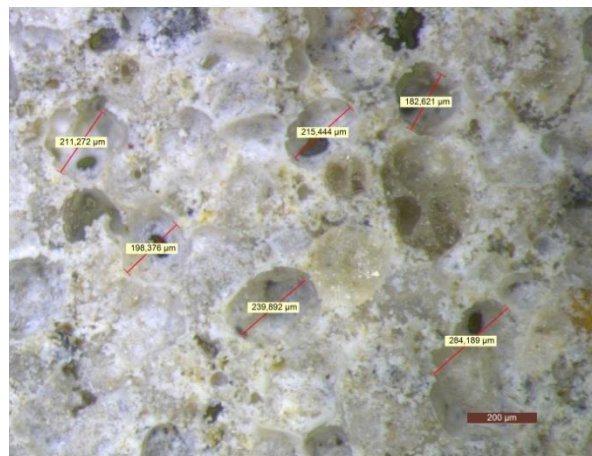
Obrázek 6 REM směsi s chlorovým vápnem (5 000 ×), vzorek vykazuje viditelně narušenou strukturu



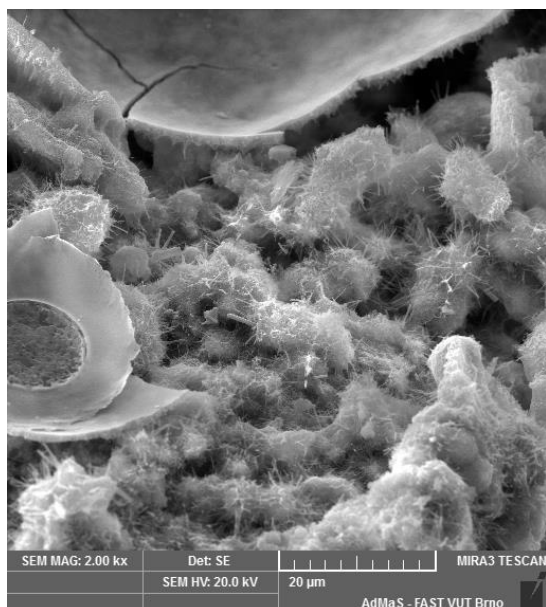
Obrázek 7 směsi s chlorovým vápnem (50 ×), na obrázku je vidět vytvořená porušená pórová struktura



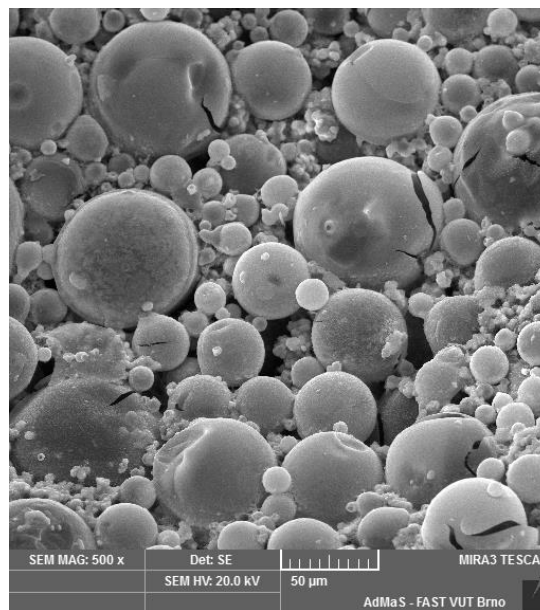
Obrázek 8 OM pěnobetonu G7 (50 ×) na obrázku je viditelná mezerovitá struktura vzorku



Obrázek 9 OM pěnobetonu G7 (50 ×), pórový systém vzorku



Obrázek 10 REM směsi Q17 (2 000 ×), struktura vzorku s prasklými cenosférami.



Obrázek 11 Shluk cenosfér ve směsi X24 (500 ×)

## 6. Přínos pro vědní obor a praxi

Přínos disertační práce pro vědu a praxi je jak na poli teoretickém, tak i praktickém.

Disertační práce byla řešena ve spolupráci s firmou STOMIX, spol. s r.o. v rámci řešení projektu FR-TI3/742 - Systém lehčených hmot pro dokončování staveb s druhotnými surovinami. Praktické dopady jsou tedy spojeny především a aktivitami této společnosti a její mateřské společnosti Sto, s.r.o., které uvádí výsledky vývoje provedeného v rámci disertační práce do praxe a postupně i na trh. Jako jeden z výstupů prací na této disertační práci byl funkční vzorek BETAFORM LT1 – lehčený samonivelační potěr využívající popílek. Disertační práce měla také pedagogický a vzdělávací dopad, protože ve spolupráci na projektu bylo řešeno i několik diplomových a bakalářských prací. V rámci prací na disertační práci bylo také publikováno na 40 článků a příspěvků na konferencích.

Byla provedena popsána historie výroby pórobetonu. Poznatky z praxe, i především zahraničního výzkumu byly v teoretické části shrnuty a byly vyvozeny důsledky pro samotný vývoj lehčených podlah z neautoklávovaných pórobetonů.

Zde je na místě zdůraznit bližší prozkoumání praktického použití reakce chlorového vápna s peroxidem vodíku pro nakypření silikátových stavebních hmot. Přestože tuto metodu není možné pro výrobu lehčených potěrů doporučit, protože výsledky jsou velice proměnlivé a vlastnosti výsledného produktu nestabilní, bylo

vylehčení úspěšné, póry byly do matrice vneseny a předpoklad vylehčení byl naplněn. Zhotovování směsi bylo složité, reakce probíhala velmi rychle a bouřlivě a nebylo možné ji kontrolovat. Dalším negativním faktorem byla snížená bezpečnost práce, a to zejména díky uvolňování zápachu. Učiněné závěry mohou být v budoucnosti použity, jako podklad či informace pro další výzkum.

Dále bylo potvrzeno, že hliníkový prášek v reakci s vápenným hydrátem je možné používat pro nakypření směsi i za studena. Zde ovšem musí být dodržena teplota všech surovin minimálně 25 °C. To by bylo ve stavební praxi těžko dosažitelné. Také při uložení směsi v pytlech jsou výsledky nekoherentní. Směs degraduje už při tříměsíčním uložení. To je způsobeno především tím, že vápenný hydrát, ještě více jak cement, degraduje a reaguje se zbytkovou vzdušnou vlhkostí a rychle se snižuje jeho reaktivita. Problematické může být i rozmísení odmaštěného hliníkového prášku ve směsi, a to jak z pohledu bezpečnosti práce, tak i z pohledu degradace vlastností hliníkového prášku – může začít oxidovat.

Jako nejstabilnější se ukázaly vzorky kombinující lehké kamenivo s přísadou, která tvořila v matrici materiálu póry, s práškovým pěnidlem. Zde se ukázala, jako vhodné aditivum, krystalizační přísada, která vylepšovala výrazně vlastnosti vzorků.

Bylo prokázáno, že pro praxi zůstává nejlepším způsobem tvorby lehčených stavebních hmot, v tomto případě podlahových potěrů in situ pro použití za čerstva, kombinace lehkého kameniva s vylehčujícími či provzdušňujícími přísadami. Nabízí se také vhodné využití dalších, buď práškových, nebo tekutých aditiv s krystalizační funkcí.

Dalším přínosem disertační práce je prozkoumání pórového systému tvořeného jednotlivými metodami vnesení pórů. Byla popsána velikost těchto pórů v závislosti na užitá plniva.

Bylo zjištěno, že pórový systém je ovlivněn metodou použitou pro vnesení pórů do matrice a také dávkováním pěnotvorných či pórotvorných činidel.

Bylo ověřeno, že reakce hliníkového prášku tvoří jemné póry o velikosti 100 – 200  $\mu\text{m}$ . při použití větší dávky hliníkového prášku se tvoří ojedinělé větší póry až 400  $\mu\text{m}$ , při této dávce mají póry tendenci se shlukovat.

Bylo prokázáno, že je vhodnější použití co nejnižšího množství hliníkového prášku při dosažení požadované objemové hmotnosti nejen kvůli úspoře hliníkového prášku, ale také z důvodu lepšího tvaru a rozmístění pórů.

Bylo potvrzeno, že ještě jemnější pórový systém, než při použití hliníkového prášku lze vytvořit pomocí pěnotvorné látky, je možné vytvořit pomocí pěnotvorné látky v případě, že jsou použity společně s mikrosférami a bez použití tvarově nevhodného plniva (vermikulit). Pak jsou vytvořené póry velké 100  $\mu\text{m}$ .

Použití pěnotvorné látky vykazuje nejrovnoměrnější rozmístění pórů v matrici, kde póry, bez vlivu mikroplniv v podobě mikrosfér, mají velikost 200 – 400  $\mu\text{m}$ .

V práci byly ověřeny a doplněny závěry jiných autorů.

## 7. Závěr

Ve třech etapách této disertační práce byl vyvinut lehčený potěr pro podlahy v průmyslové i občanské zástavbě a byly prověřeny jeho fyzikálně-mechanické vlastnosti. Etapy na sebe navazovaly tak, aby výsledky předchozí etapy byly vždy využity v etapě následující.

Disertační práce byla rozdělena na dvě hlavní části – teoretickou a experimentální. V teoretické části byla nejprve popsána historie lehčených betonů a potěrů. Následně byly popsány podlahové systémy a byly popsány základní pojmy.

V experimentální části disertační práce byly navrženy komponenty pro návrh složení nově vyvíjené potěrové hmoty, následně byly otestovány fyzikálně-mechanické vlastnosti potěrů a lehčených potěrů volně přístupných na trhu. Také byla vybrána jednotlivá plniva a byl stanoven jejich vliv na vlastnosti potěrové hmoty. Jednalo se o zkoumání vlivu expandovaného perlitu, expandovaného vermikulitu, mikrosfér Q-CEL-7014 a Omega SPHERES W300 na výsledné fyzikálně-mechanické vlastnosti potěrové hmoty. Následně byly navrženy receptury potěrových hmot s použitím hliníkového prášku, s využitím reakce chlorového vápna s peroxidem vodíku a s pěnotvornými látkami.

Třetí etapa byla věnována podrobnému studiu mikrostruktury vybraných vzorků. Mikrostruktura byla zkoumána pomocí optického a skenovacího rastrového mikroskopu a dále pomocí rentgenové difrakční analýzy a diferenční termické analýzy.

Vzorky pro zkoumání mikrostruktury byly uloženy v laboratorním prostředí po dobu cca 2 let. Na těchto vzorcích bylo možné pozorovat případné změny vzniklé stárnutím, dozráváním a působením vzdušné vlhkosti.

Výsledky této disertační práce budou mít v praxi dopad zejména ve sféře průmyslu a ochrany životního prostředí, kdy využití odpadů a druhotných surovin

sníží množství odpadů, které je nutno zpracovat a zároveň bude na trh přiveden zcela nový výrobek pro podlahy s unikátním systémem samonakypření a samonapěnění v pytlované směsi bez nutnosti mechanizace pro výrobu pěny či přidání tekutých aditiv.

Byla vyvinuta hmota, která se již využívá v praxi a je vyráběna a prodávána na trhu jako součást systému lehčených stavebních hmot pro dokončovací práce.

## 8. Seznam použité literatury (výběr)

- [1] SVOBODA, P., DOLEŽAL, J., *Průmyslové podlahy v objektech pozemních staveb*, Bratislava JAGA GROUP 2007, ISBN 978-80-8073-054-0
- [2] Expanded Shale Clay and Slate Institute (ESCSI) *Lightweight Concrete - History, Applications, Economics*. Salt Lake City, Utah, USA 44p. 1971
- [3] SARYAS QADIR SABIR. *Light weight concrete*. Composites [online]. 1978, roč. 9, č. 4, s. 288. ISSN 00104361. Dostupné z: doi:10.1016/0010-4361(78)90238-0
- [4] Mishra, G. (2010). ALL ABOUT LIGHT WEIGHT CONCRETE. [online] The Constructor. Available at: <http://theconstructor.org/concrete/all-about-light-weight-concrete/1670/> [Accessed 20 Jun. 2016].
- [5] Wikipedia. (2016). Autoclaved aerated concrete. [online] Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Autoclaved\\_aerated\\_concrete](https://en.wikipedia.org/wiki/Autoclaved_aerated_concrete) [Accessed 20 Jun. 2016].
- [6] JAMBOR, J. *Chemické rozbory v stavebníctve* [online]. B.m.: Vydavateľstvo Slovenskej Akadémie Vied, 1953. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=LAXLAAAAMAAJ>
- [7] TŮMA, P.: „Podlahové potěry a časté příčiny jejich poruch“, článek z 28. 12. 2009, dostupný z <http://www.imaterialy.cz>
- [8] HELA, R.: „Technologie betonu II“, Brno 2007
- [9] PÍCHA, F.: „Expandované stavební hmoty“, *Sborník geologických věd*, 1961
- [10] MATOUŠEK, M.: „Lehké stavební látky II“, Praha: SNTL, 1985, 3. opr. vyd.
- [11] DROCHYTKA, R.: „Lehké stavební látky“, studijní opora VUT v Brně, 2006
- [12] HELA, R.: „Technologie betonu I“, Brno 2005
- [13] ROVNANÍKOVÁ, P.: „Stavební chemie, modul 2, Anorganická chemie a chemie stavebních materiálů“, Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2005, Vyd.1., ISBN 80-7204-409-5
- [14] NEVŘIVOVÁ, L.: „Cenosféry, nová možnost lehčení žárovzdorných materiálů“, příspěvek s podporou vědeckovýzkumného záměru VVZ MSM 261100008
- [15] BODNÁROVÁ, L.: „Kompozitní materiály ve stavebnictví“, Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2002, 122s., ISBN 80-214-2266-1

- [16] HELA, R.; KLABLENA, P.; KRÁTKÝ, J.; ŠTĚPÁNEK, P. Betonové průmyslové podlahy. Betonové stavitelství. Betonové stavitelství. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2006. 152 s. ISBN: 80-86769-73- 9.
- [17] [3] DULSANG, Nattakan, Pornnapa KASEMSIRI, Patcharapol POSI, Salim HIZIROGLU a Prinya CHINDAPRASIRT. Characterization of an environment friendly lightweight concrete containing ethyl vinyl acetate waste. *Materials & Design* [online]. 2016, roč. 96, s. 350–356 [vid. 2016-05-17]. ISSN 02641275. Dostupné z: doi:10.1016/j.matdes.2016.02.037
- [18] LIMA, Paulo Roberto Lopes, Mônica Batista LEITE a Ediela Quinteiro Ribeiro SANTIAGO. Recycled lightweight concrete made from footwear industry waste and CDW. *Waste management (New York, N.Y.)* [online]. 2010, roč. 30, č. 6, s. 1107–13 [vid. 2015-03-07]. ISSN 1879-2456. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2010.02.007
- [19] LV, Jing, Tianhua ZHOU, Qiang DU a Hanheng WU. Effects of rubber particles on mechanical properties of lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials* [online]. 2015, roč. 91, s. 145–149 [vid. 2016-03-17]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.05.038
- [20] Narayanan, N. & Ramamurthy, K., 2000. Structure and properties of aerated concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*, 22(5), pp.321–329. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946500000160> [Accessed April 13, 2016].
- [21] NARAYANAN, N a k RAMAMURTHY. Microstructural investigations on aerated concrete. *Cement and Concrete Research* [online]. 2000, roč. 30, č. 3, s. 457–464 [vid. 2016-05-17]. ISSN 00088846. Dostupné z: doi:10.1016/S0008-8846(00)00199-X
- [22] JIANG, Jun, Zhongyuan LU, Yunhui NIU, Jun LI a Yuping ZHANG. Study on the preparation and properties of high-porosity foamed concretes based on ordinary Portland cement. *Materials & Design* [online]. 2016, roč. 92, s. 949–959 [vid. 2016-03-17]. ISSN 02641275. Dostupné z: doi:10.1016/j.matdes.2015.12.068
- [23] NAMBIAR, E.K. Kunhanandan a K. RAMAMURTHY. Influence of filler type on the properties of foam concrete. *Cement and Concrete Composites* [online].

- 2006, roč. 28, č. 5, s. 475–480 [vid. 2016-05-17]. ISSN 09589465. Dostupné z: doi:10.1016/j.cemconcomp.2005.12.001
- [24] GÜL, Rüstem, Ersin OKUYUCU, İbrahim TÜRKMEN a Abdulkadir Cüneyt AYDIN. Thermo-mechanical properties of fiber reinforced raw perlite concrete. *Materials Letters* [online]. 2007, roč. 61, č. 29, s. 5145–5149 [vid. 2015-01-23]. ISSN 0167577X. Dostupné z: doi:10.1016/j.matlet.2007.04.050
- [25] SVOBODA, Josef. *Encyklopedický slovník geologických věd*. Praha: Academia, 1983. Dostupné také z: <http://kramerius.mzk.cz/search/handle/uuid:f9658320-c9d6-11e2-a712-005056827e51>

## 9. Curriculum Vitae

### Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Eva Tůmová

Datum a místo narození: 5. 5. 1985, Bruntál

Trvalé bydliště: Hlavní 21, 667 01 Vojkovice

### Dosažené vzdělání:

- |              |   |
|--------------|---|
| 1996 – 2004  | Gymnázium Židlochovice  |
| 2004 – 2008  | Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, obor: stavebně materiálové inženýrství, získán titul bakalář   |
| 2008 – 2010  | Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, obor: stavebně materiálové inženýrství, získán titul inženýr   |
| 2013 – 2014  | Vysoké učení technické v Brně, Doplnující pedagogické studium pro zaměstnance VUT   |
| 2010 – dosud | Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, doktorský studijní program, obor: Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství, státní doktorská zkouška absolvována 27. 9. 2012 |

### Pracovní zkušenosti:

- |              |   |
|--------------|---|
| 2010 – dosud | Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, technický pracovník na výzkumných projektech |
| 2014 – dosud | Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, vědecký pracovník v Centru AdMaS             |

## 10. Publikační činnost a projekty

- [1] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Pohled do mikrostruktury silikátu s popílkovým plnivem. In *Sborník recenzovaných přednášek 3. mezinárodní konference Popílky ve stavebnictví*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017. s. 151-159. ISBN: 978-80-214-5498- 9.
- [2] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R.; ČERNÝ, V. Využití alternativních materiálů pro modifikaci systémů ETICS. *Waste forum*, 2016, roč. 2016, č. 4, s. 194-201. ISSN: 1804-0195.
- [3] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Design of the composition of lightweight concrete floor with self-rising function, based on the reaction of hydrogen peroxide with calcium hypochlorite using secondary raw materials. *Waste forum*, 2016, vol. 2016, no. 4, p. 186-193. ISSN: 1804-0195.
- [4] ČERNÝ, V.; TŮMOVÁ, E. Effect of firing temperature on the structure of the aggregate from sintered ashes. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 151, no. 2016, p. 345-351. ISSN: 1877-7058.
- [5] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Návrh podlahových systémů s lehčenými surovinami. In *CONSTRUMAT 2016, Sborník příspěvků z XXII. mezinárodní konference o stavebních materiálech*. 2016. s. 281-287. ISBN: 978-80-01-05958- 6.
- [6] TŮMOVÁ, E. Odpadní suroviny jako plnivo do průmyslových podlah. In *Sborník příspěvků konference Juniorstav 2016*. 2016. s. 1-4. ISBN: 978-80-214-5312- 8.
- [7] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R.; ČERNÝ, V. Recycled glass as a filler for screeds and other materials. *Waste forum*, 2015, no. 4, p. 200-204. ISSN: 1804-0195.
- [8] MÉSZÁROSOVÁ, L.; TŮMOVÁ, E.; DUFKA, A.; DROCHYTKA, R. Special Repair Materials and Influence of Aggressive Environment on their Properties. In *Advanced Materials Research. Advanced Materials Research, (online)*. Durnten-Zürich, Switzerland: Trans Tech Publications, 2015. p. 127-130. ISBN: 978-80-02-02539- 9. ISSN: 1662-8985.
- [9] TŮMOVÁ, E.; MÉSZÁROSOVÁ, L.; DROCHYTKA, R. The Effect of Long Term Storage on Properties and Stability of Dry Mixture. In *Advanced Materials Research. Advanced Materials Research*. Durnten-Zürich, Switzerland: Trans

- Tech Publications, 2015. p. 201-204. ISBN: 978-80-02-02539- 9. ISSN: 1022-6680.
- [10] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Lehčený podlahový potěr se samonivelační funkcí. In *Sborník příspěvků z XXI. mezinárodní konference o stavebních materiálech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Sborník příspěvků konference CONSTRUMAT 2015, 2015. s. 123-132. ISBN: 978-80-214-5205- 3.
- [11] TŮMOVÁ, E.; MÉSZÁROSOVÁ, L.; DROCHYTKA, R. Využití popílku při návrhu podlahových systémů. In *Sborník recenzovaných přednášek II. mezinárodní konference Popílky ve stavebnictví*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Sborník recenzovaných přednášek konference Popílky ve stavebnictví 2015, 2015. s. 237-244. ISBN: 978-80-214-5192- 6.
- [12] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Samonivelační lehčený potěr pro podlahy. In *Sborník recenzovaných přednášek XXV. mezinárodního symposia Sanace 2015*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Sborník recenzovaných přednášek symposia Sanace 2015, 2015. s. 251-260. ISBN: 978-80-214-5193- 3.
- [13] TŮMOVÁ, E.; KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; ROVNANÍKOVÁ, P. Trendy na poli popílků z biomasy. In *Sborník recenzovaných přednášek II. mezinárodní konference Popílky ve stavebnictví*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Sborník recenzovaných přednášek konference Popílky ve stavebnictví 2015, 2015. s. 245-252. ISBN: 978-80-214-5192- 6.
- [14] MÉSZÁROSOVÁ, L.; TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Epoxy screed as possible protection of floor surfaces. In *Advanced Materials Research. Advanced Materials Research, (online)*. Durnten-Zürich, Switzerland: Trans Tech Publications, 2015. p. 166-169. ISBN: 978-3-03835-452- 9. ISSN: 1662-8985.
- [15] TŮMOVÁ, E.; MÉSZÁROSOVÁ, L.; DROCHYTKA, R. The Effect of Additives on the Properties of Lightweight Concrete Screed. In *Advanced Materials Research. Advanced Materials Research, (online)*. Durnten-Zürich, Switzerland: Trans Tech Publications, 2015. p. 170-173. ISBN: 978-3-03835-452- 9. ISSN: 1662-8985.
- [16] ŽIŽKOVÁ, N.; DROCHYTKA, R.; TŮMOVÁ, E.; ČVANDA, D.; SOKOLA, L.: BETAFORM LT1; BETAFORM LT1 – lehčený samonivelační potěr využívající popílek. THD, STOMIX. (funkční vzorek)

- [17] TŮMOVÁ, E.; MÉSZÁROSOVÁ, L.; DROCHYTKA, R. *Innovation of production of lightweight building materials with the use of waste materials and energy by-products*. 2014.
- [18] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. *Možnosti vylehčení betonu: Ověření vlastností konkrétních přísad pro napěnění*. 2014. s. 30-31.
- [19] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. *Vývoj průmyslových podlah s využitím odpadních surovin*. 2014. s. 273-276.
- [20] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R.; VODOVÁ, L. *Lehčený potěr pro podlahové systémy s využitím druhotných surovin*. Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2014. s. 213-216.
- [21] DROCHYTKA, R.; TŮMOVÁ, E. Development of a new kind of aerated screeds for lightweight floors. In *Advanced Materials Research. Advanced Materials Research*. Durnten-Zurich, Switzerland: Trans Tech Publications, 2014. p. 215-219. ISBN: 978-3-03835-026- 2. ISSN: 1022-6680.
- [22] MÉSZÁROSOVÁ, L.; TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Aluminium powder as an aerating agent in cementitious lightweight building material. In *Sborník příspěvků Mezinárodní Masarykovy konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2013*. Hradec Králové: 2013. p. 3396-3401. ISBN: 978-80-87952-00- 9.
- [23] MÉSZÁROSOVÁ, L.; DROCHYTKA, R.; TŮMOVÁ, E. Study of effect of higher temperature on the properties of a new silicate- based thermal insulation material. *Applied Mechanics and Materials*, 2013, vol. 409- 410, no. 09, p. 584-588. ISSN: 1660-9336.
- [24] TŮMOVÁ, E.; MÉSZÁROSOVÁ, L.; DROCHYTKA, R. Lehčené stavební hmoty z pohledu evropského trhu. In *Construction Materials - Zborník recenzovaných vedeckých prác*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2013. s. 233-237. ISBN: 978-80-552-1031- 5.
- [25] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Použití lehkých odpadů v rozvoji lehčených stavebních materiálů. In *Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky*. 2013. s. 111-114. ISBN: 978-80-87397-14- 5.
- [26] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Využití popílku při návrhu podlahových systémů. In *Sborník přednášek Popílky ve stavebnictví 2013*. 2013. s. 152-155. ISBN: 978-80-87342-17- 6.

- [27] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Development of flooring materials with cellular waste. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 688, no. 2013, p. 172-175. ISSN: 1022-6680.
- [28] TŮMOVÁ, E. Pěnobeton jako součást nového lehčeného materiálu pro podlahy. In *Sborník anotací Juniorstav 2013*. 2013. s. 365-365. ISBN: 978-80-214-4669-4.
- [29] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. New type of industrial floors with secondary raw materials. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 645, no. 2013, p. 164-167. ISSN: 1022-6680.
- [30] TŮMOVÁ, E.; MÉSZÁROSOVÁ, L. Alkalicko- křemičitá reakce z pohledu historie a praxe. In *Sborník mezinárodní Masarykovy konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky*. 2012. s. 3302-3307. ISBN: 978-80-905243-3- 0.
- [31] MÉSZÁROSOVÁ, L.; TŮMOVÁ, E. Environmentální aspekty výroby pórobetonu. In *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference Mezinárodní Masarykova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky 2012*. Hradec králové: Magnanimitas, 2012. s. 3296-3301. ISBN: 978-80-905243-3- 0.
- [32] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Modifikovaný lehčený potěr na bázi odpadních surovin s použitím netradičních plniv. In *Sborník příspěvků 19. Betonářské dny 2012*. 2012. s. 448-452. ISBN: 978-80-87158-32- 6.
- [33] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Vývoj nového materiálu pro podlahy na bázi neautoklávovaného pórobetonu. In *Sanace a rekonstrukce staveb 2012*. 2012. s. 141-143. ISBN: 978-80-02-02414- 9.
- [34] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Lehčené kamenivo jako součást matrice v materiálech pro podlahy. In *Zborník prednášok Betonárske dni 2012*. 2012. s. 163-164. ISBN: 978-80-8076-104- 2.
- [35] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. The use of lightweight building materials on the market in the czech republic and abroad and the possibilities of its extension. In *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference CzechSTAV 2012*. 2012. p. 193-196. ISBN: 978-80-905243-1- 6.
- [36] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Možnosti vylehčení stavebních materiálů pro podlahy. In *Podlahy a povrchové úpravy ve stavebnictví 2012 sborník příspěvků*. 2012. s. 179-182. ISBN: 978-80-905256-0- 3.

- [37] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Lightweight floors with cellular aggregate as part of the mixture. *Proceedings in Electronic International, Interdisciplinary Conference EIIC 2012*, 2012, vol. 1, no. 1, p. 649-651. ISSN: 1338-7871.
- [38] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Vývoj modifikovaného lehčeného materiálu pro podlahy s využitím odpadních surovin. In *Ekologie a nové stavební hmoty*. 2012. s. 75-78. ISBN: 978-80-87397-11- 4.
- [39] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Vývoj lehčeného potěru pro podlahy v konstrukcích vyžadujících co nejmenší zátěž. *Sanace betonových konstrukcí*, 2012, roč. 22, č. 1, s. 250-253. ISSN: 1211-3700.
- [40] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. The use of lightweight aggregate and waste materials in development of cellular building materials. In *Recenzovaný sborník příspěvků interdisciplinární mezinárodní vědecké konference doktorandů a odborných asistentů Quaere 2012*. 2012. p. 1150-1152. ISBN: 978-80-905243-0- 9.
- [41] TŮMOVÁ, E.; MÉSZÁROSOVÁ, L.; DROCHYTKA, R. Implementace problematiky trvanlivosti pórobetonu do výuky předmětů magisterského studia. In *Recenzovaný sborník příspěvků vědecké konference s mezinárodní účastí Sapere Aude 2012*. 2012. s. 41-43. ISBN: 978-80-904877-9- 6.
- [42] TŮMOVÁ, E. Možnosti využití lehčených stavebních hmot u nás a v zahraničí. In *Sborník příspěvků konference JUNIORSTAV 2012*. 2012. s. 371-371. ISBN: 978-80-214-4393- 8.
- [43] TŮMOVÁ, E. Využití odpadních látek jako druhotných surovin ve výrobě lehčených stavebních hmot. In *Sborník anotací JUNIORSTAV 2012*. Brno: VUT v Brně, 2012. s. 372-372. ISBN: 978-80-214-4393- 8.
- [44] TŮMOVÁ, E. UTILIZATION OF WASTE MATERIALS IN THE PROPOSAL OF CEMENT DRY SHAKE FLOORS. In *Sborník mezinárodní Masarykovy konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky*. 2011. p. 473-475. ISBN: 978-80-904877-7- 2.
- [45] JURÁNKOVÁ, E. The use and testing of light aggregate and waste materials in development of industrial floors. In *Sborník mezinárodní vědecké konference CzechSTAV*. 2011. p. 212-215. ISBN: 978-80-904877-5- 8.
- [46] JURÁNKOVÁ, E. The possibilities of usage of waste materials and lightweight aggregate in development of cement- based materials for floors. In *Building*

- Materials and Building Technology to Preserve the Built Heritage*. 2011. p. 298-302. ISBN: 978-3-937066-21- 9.
- [47] JURÁNKOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Vsyrové podlahy z pohledu odolnosti vůči ropným látkám a saponátům. In *Construmat 2011 Zborník príspevkou zo XVII. konferencie s medzinárodnou účasťou*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2011. s. 25-27. ISBN: 978-80-553-0685- 8.
- [48] JURÁNKOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Využití odpadních materiálů při návrhu cementových vsypových podlah. In *Sborník XV. mezinárodní konference Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky*. 2011. s. 199-203. ISBN: 978-80-87397-06- 0.
- [49] JURÁNKOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Odolnost vsypů s použitím druhotných surovin proti ropným látkám a saponátům. In *Sborník 15. mezinárodní konference výzkumného ústavu stavebních hmot*. 2011. s. 146-152. ISBN: 978-80-87397-06- 0.
- [50] JURÁNKOVÁ, E. Vlastnosti pancéřových betonových podlah. *Stavitel*, 2011, roč. 19, č. 4, s. 17-18. ISSN: 1210-4825.
- [51] JURÁNKOVÁ, E. MOŽNOSTI VYUŽITÍ DRUHOTNÝCH SUROVIN PŘI VÝVOJI PRŮMYSLOVÝCH PODLAH. In *Sborník anotací JUNIORSTAV 2011*. 2011. s. 308-308. ISBN: 978-80-214-4232- 0.
- [52] JURÁNKOVÁ, E.; DROCHYTKA, R. Zvýšení odolnosti proti obrusu betonu vsypem na bázi druhotných surovin. In *Cosntrumat 2010 Sborník příspěvků*. 2010. s. 80-82. ISBN: 978-80-227-3297- 0.
- [53] JURÁNKOVÁ, E. Průmyslové podlahy: použití, poruchy a opravy. *Sanace betonových konstrukcí*, 2010, roč. 20, č. 20, s. 373-377. ISSN: 1211-3700.

**V tisku:**

- [54] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R.; ČERNÝ, V. Modifikace systémů ETICS s využitím alternativních materiálů. In *Sborník konference Construmat 2017*. 7 s.
- [55] TŮMOVÁ, E.; DROCHYTKA, R.; ČERNÝ, V.; ČADA, P. Development of organic and biodegradable insulating material for ETICS. *Procedia Engineering*, 7 p.. ISSN: 1877-7058.

<b>Řešené projekty</b>			
<b>Název</b>	<b>Typ projektu</b>	<b>Doba realizace</b>	<b>Pozice v projektu</b>
<b>AdMaS UP - Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie</b>	MŠMT	2015 - dosud	člen řeš. týmu
<b>Výzkum a vývoj nového systému podlah na silikátové bázi pro extrémní mechanické a chemické zatížení</b>	TAČR	2015 - dosud	člen řeš. týmu
<b>Studium mikrostruktury a fyzikálně mechanických vlastností cementových kompozitů s organickým plnivem</b>	Standardní specifický výzkum VUT FAST	2014	člen řeš. týmu
<b>AdMAs - Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie</b>	OP VAVPI	2014	člen řeš. týmu
<b>Inovace výuky předmětu BJ08 - Kovové a dřevěné materiály</b>	FRVŠ	2013	člen řeš. týmu
<b>Implementace výuky trvanlivosti pórobetonu do předmětu Trvanlivost stavebních materiálů</b>	FRVŠ	2012	hlavní řešitel
<b>Systém lehčených hmot pro dokončování staveb s druhotnými surovinami</b>	MPO	2011 - 2014	člen řeš. týmu
<b>Soubor zkušebních metod pro kameniva k ověření vhodnosti použití v lehčených stavebních hmotách</b>	Specifický výzkum VUT FAST	2011	hlavní řešitel
<b>Komplexní systém povrchů podlah s využitím druhotných surovin</b>	MPO	2008 - 2010	člen řeš. týmu

## 11. Abstrakt

Práce se zabývá vývojem nových druhů lehčených podlah na bázi druhotných surovin.

V úvodu jsou prezentovány současné poznatky z oblasti lehčených stavebních hmot, především potěrů a lehkých pórovitých betonů. V práci je popsána stručná historie výroby pórobetonu a její vývoj až do současnosti.

Dále je v práci popsán postup návrhu a zkoušení nových lehčených hmot pro použití do podlah. Navržené receptury byly podrobně testovány a byly vybrány nejlepší kombinace složek pro použití v podlahovém potěru na bázi lehkého pórovitého betonu. V práci je také zkoumána mikrostruktura vyvíjeného materiálu.

Hlavním výsledkem disertační práce je vyvinutá hmota, která se již využívá v praxi a je vyráběna a prodávána na trhu jako součást systému lehčených stavebních hmot pro dokončovací práce.

---

The thesis deals with the development of new type of lightweight floors based on secondary raw materials.

In the introduction, the current knowledge in the field of lightweight building materials, especially screeds and lightweight porous concrete, is presented. The

thesis describes brief history of production of aerated concrete and its development up to the present.

Further, the thesis describes the procedure of design and testing of new lightweight materials for use in floors. The proposed recipe has been thoroughly tested and the best combination of components for use in lightweight porous concrete floor screed has been selected. The thesis also examines the microstructure of the material being developed.

The main result of the dissertation is the developed product, which is already used in practice and is produced and sold on the market as part of the system of lightweight building materials.

**Klíčová slova:**

Podlaha, druhotné suroviny, pórobeton, potěr.

**Keywords:**

Floor, secondary raw materials, aerated concrete, screed.

**Název pracoviště:**

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců