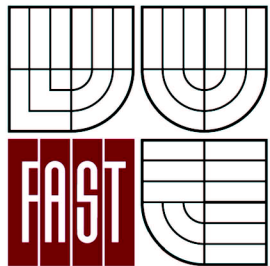


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

VÝVOJ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH A SANAČNÍCH OMÍTEK PRO PAMÁTKOVOU PÉČI

DEVELOPMENT OF THERMAL AND SANITATION PLASTERS FOR HISTORICAL BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VÁCLAV RAJCHOT

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. VÁCLAV RAJCHOT
Název	Vývoj tepelně izolačních a sanačních omítek pro památkovou péči
Vedoucí diplomové práce	Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 31. 3. 2012	

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] Pytlík, P, Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM, Brno 1998
- [2] Matoušek, M., Lehké stavební látky II, SNTL, Praha 1985
- [3] Šťastník, S., ZACH, J., Stavební akustika a zvukoizolační materiály, CERM, Brno 2002
- [4] Šťastník, S., Zach, J., Zkoušení izolačních materiálů, CERM, Brno 2002
- [5] Fridrichová, M., Dvořák, K., Omítky, Brno, Vydavatelství ERA. 2005

Zásady pro vypracování

Práce bude věnována vývoji lehkých tepelně izolačních omítek na bázi lehkého kameniva a vápenného hydrátu, které budou vykazovat velmi dobré tepelně izolační vlastnosti a budou aplikovatelné při zateplování a sanaci vlhkosti u historických objektů. Cílem bude vývoj materiálů s optimálním poměrem tepelně izolačních a mechanických vlastností. Dále bude snahou uplatnit při vývoji těchto materiálů alternativní latentně hydraulická pojiva, jako je vysokopecní struska a elektrárenský popílek. Z výsledků zkoušek budou vyvozeny závěry a bude provedeno srovnání vlastností nově vyvinutých materiálů s tepelně izolačními a sanačními omítkami běžně dostupnými na stavebním trhu v ČR.

Předepsané přílohy

.....
Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se zabývala vývojem omítek s optimálním poměrem tepelně izolačních a mechanických vlastností. Při vývoji těchto materiálů byly použity alternativní latentně hydraulická pojiva. Byla provedena rešerše omítek a požadavků na omítky dané technickými normami v České republice. Práce se zabývala obecným složením omítek, včetně využití druhotných surovin v suchých omítkových směsích a vlastnostmi tepelně izolačních a sanačních omítek. Dále byly zjišťovány hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností na zkušebních recepturách. Nejvhodnější receptury byly porovnány s omítkami na českém trhu.

Klíčová slova

tepelně izolační omítka, sanační omítka, alternativní hydraulické pojivo, recyklované lehké kamenivo

Abstract

This thesis addressed the development renders the optimal ratio of thermal insulation and mechanical properties. In developing these materials were used alternative latent hydraulic binders. Research was conducted plasters and renders the requirements of technical standards in the Czech Republic. Work dealt with the general composition of plaster, including the use of secondary raw materials in dry plaster mixtures and thermal insulation properties and remediation plaster. Furthermore, the measured values of physical and mechanical properties of the test formulations. The best recipes were compared with plaster on the Czech market.

Keywords

thermal insulation plaster, sanation plaster, alternative latent hydraulic binders, recycled lightweight aggregate

...

Bibliografická citace VŠKP

RAJCHOT, Václav. *Vývoj tepelně izolačních a sanačních omítek pro památkovou péči*. Brno, 2013. 100 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10.1.2013

.....
podpis autora
Václav Rajchot

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D. za odborné a pedagogické vedení a za výbornou komunikaci při vedení této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Jitce Hroudové a Ing. Martinu Sedlmajerovi, Ph.D. za pomoc v laboratořích, dohled nad prací a odborné rady. Především bych však chtěl poděkovat mé rodině za neustálou a opravdu dlouholetou ☺ podporu v mém studiu.

Obsah

Úvod.....	10
A. Teoretická část.....	11
1 Malty.....	11
1.1 Suché maltové směsi.....	13
1.2 Složení omítkových malt.....	14
1.3 Pojivo.....	14
1.3.1 Vzdušná pojiva.....	15
1.3.2 Hydraulická pojiva.....	17
1.3.3 Ostatní pojiva.....	20
1.4 Plnivo.....	21
1.4.1 Plniva lehkých omítkových malt.....	21
1.5 Využití druhotných surovin v SMS.....	23
1.5.1 Pojiva na bázi druhotných surovin.....	24
1.5.2 Plniva na bázi druhotných surovin.....	26
2 Údržba a ochrana historických památek.....	32
2.1 Analýza historických omítek a malt.....	33
2.2 Zákon o státní památkové péči.....	34
2.3 Odvlhčení omítek historických objektů.....	35
3 Sanační omítky.....	38
3.1 Požadavky na sanační omítkové systémy dle WTA 2-9-04/D.....	39
4 Tepelně izolační omítky.....	43
5 Tepelná ochrana budov.....	44
B. Praktická část.....	48
1 Cíl práce.....	48
2 Metodika práce.....	49

3	Průzkum trhu.....	51
4	Popis provedených zkoušek.....	54
4.1	Zrnitost kameniva.....	54
4.2	Konzistence čerstvé malty.....	54
4.3	Obsah vzduchu v čerstvé maltě.....	55
4.4	Objemová hmotnost čerstvé malty.....	57
4.5	Objemová hmotnost zatvrdlé malty.....	57
4.6	Pevnost v tahu za ohybu a tlaku.....	58
4.6.1	Stanovení pevnosti v tahu za ohybu.....	58
4.6.2	Stanovení pevnosti v tlaku.....	59
4.7	Součinitel tepelné vodivosti.....	59
4.7.1	Metoda měřidla tepelného toku.....	59
4.7.2	Metoda topného drátu.....	60
4.8	Koeficient kapilární absorpce.....	61
5	Návrh vstupních surovin.....	63
6	Zkušební receptury.....	65
7	Výsledky měření.....	68
7.1	Stanovení vlastností zkušebních vzorků v čerstvém stavu.....	68
7.2	Stanovení vlastností v zatvrdlém stavu.....	72
8	Závěr.....	87
	Citovaná literatura.....	93
	Seznam tabulek.....	98
	Seznam obrázků.....	99
	Seznam grafů.....	99
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	100

Úvod

Omítky jsou součástí stavebních konstrukcí již od dob, kdy počala první výstavba. Nejenom že chrání objekt před nepříznivými vlivy prostředí, ale také zvyšují požární odolnost a zlepšují tepelně izolační a akustické vlastnosti konstrukce. Současně omítky plní také funkci estetickou. Vytváří rovný a zpravidla hladký povrch u stěn i stropů a vyrovnávají nerovnosti zdiva. Dále patří mezi architektonické prvky, které dotváří vzhled jak interiéru, tak exteriéru objektu a určují konečnou podobu povrchů stavebních konstrukcí.

U historických objektů jsou malty a omítky velmi cenným architektonickým dědictvím, které nám poskytuje důležité informace o stavební technologii v daném období. Nově nanášené omítkové malty by měly být kompatibilní s původním materiálem a jejich složení by mělo být co nejbližší původním omítkám. Neustále se hledají nové technologie a možnosti, jak u těchto omítkových systémů využít také alternativní zdroje surovin, díky kterým by omítky získaly speciální vlastnosti, při dosažení srovnatelné anebo nižší ceny.

Práce je věnována vývoji lehkých tepelně izolačních omítek na bázi lehkého kameniva a vápenného hydrátu. Tyto omítky by měly vykazovat velmi dobré tepelně izolační vlastnosti tak, aby se mohly aplikovat při zateplování a sanaci historických budov. Při vývoji nových materiálů na bázi lehkého kameniva je snahou uplatnit alternativní materiály, které mají latentně hydraulické nebo pucolánové vlastnosti a ovlivní pojivovou složku (vysokopeční jemně mletá struska, aktivovaný elektrárenský popílek, metakaolin). Vyvíjené materiály by měly mít především optimální, poměr tepelně izolačních a mechanických vlastností.

V současné době jsou na našem trhu nabízeny nejvíce tepelně izolační omítky na bázi lehkého kameniva z pěnoplastických látek, které ovšem nejsou příliš vhodné pro sanaci budov. Jelikož jsou historické budovy velmi často zavlhlé, jeví se jako vhodnější řešení využití plniva na bázi odpadního skla, které má vysokou pórovitou strukturu na rozdíl od pěnoplastických látek. Z tohoto důvodu je právě toto plnivo vhodné k sanaci zavlhlých objektů. Aby bylo možné považovat omítky za sanační, musí splňovat kritéria kvality dle směrnic WTA 2-9-04/D. Při zateplování a sanaci historických objektů, je problematické použití klasických vnějších zateplovacích systémů z důvodu velké rozmanitosti a prostorového členění fasády, proto je vhodné využít tepelně izolační a sanační omítky.

A. Teoretická část

1 Malty

Malty jsou směsí pojiv (maltoviny) s plnivou (písek, kamenivo, drtě apod.), přísadami a s vodou. Tato směs vytváří kašovitou konzistenci, která se používá především ke spojování stavebních prvků a k úpravě povrchu stavebního díla. [1] Malty pro vnitřní a vnější omítky mají vlastnosti závislé především na druhu pojiva. Speciální vlastnosti mohou získat přidáním kameniva, přísad a příměsí. Malty pro vnitřní a vnější omítky jsou definovány dle ČSN EN 998-1 následovně [2]:

- **Malty pro vnitřní / vnější omítky podle záměru výroby [2]**
 - **Návrhové malty podle výrobce:** Výrobce zajistí předepsané vlastnosti tím, že zajistí vhodné složení a výrobní postup.
 - **Předpisové malty:** Jsou to malty vyráběné v určitém poměru složek a jejich vlastnosti se hodnotí podle použitého poměru složek (záměr receptury).
- **Malty pro vnitřní / vnější omítky podle způsobu výroby [2]:**
 - **Průmyslově vyráběné malty:** Jsou to malty pro vnitřní a vnější omítky, které jsou dávkovány a umíseny průmyslově. Je to buď „malta suchá“ předem umísená, ke které se přidá voda anebo „malta vlhká“, která se dodává připravená rovnou k použití.
 - **Malty zčásti připravené průmyslově:**
 - **Předem dávkovaná malta pro vnitřní a vnější omítky:** Složky u této malty jsou plně dávkovány průmyslově a dodávány na staveniště, kde se zamíchají dle pokynů a podmínek výrobce.
 - **Předem umísená malta pro vnitřní a vnější omítky z vápna a písku:** Složky této malty jsou plně dávkované a zamísené průmyslově. Na staveništi jsou doplněny o další složky specifikované nebo dodávané výrobním závodem.
 - **Staveništní malty:** Tyto malty jsou z jednotlivých složek dávkované a zamíchané přímo na staveništi.

- **Podle vlastností a použití [2]:**
 - **Obyčejné malty pro vnitřní a vnější omítky:** Pro dané omítky nemají malty předepsané žádné speciální vlastnosti, mohou být předpisové nebo návrhové.
 - **Lehká malta pro vnitřní a vnější omítky:** Jedná se o návrhové malty, které mají v suchém stavu menší objemovou hmotnost než je předepsaná hodnota.
 - **Probarvená malta pro vnější omítky:** Návrhová malta, která je speciálně probarvená.
 - **Malta pro jednovrstvé vnější omítky:** Malta se nanáší v jedné vrstvě a splňuje stejné funkce jako vícevrstvý vnější omítkový systém. Obvykle jsou vyráběny s použitím běžných nebo pórovitých kameniv a jsou speciálně probarvené.
 - **Sanační malta:** Používá se u vlhkých stěn obsahující ve vodě rozpustné soli. Tyto malty se vyznačují vysokou porozitou, propustností vody a snížené působení kapilárních sil.
 - **Tepelně izolační malty:** Malty, které mají určité tepelně izolační vlastnosti [2].

Kromě normového rozdělení se mohou omítky dále třídit dle dalších kritérií [1]:

- **Podle určení:**
 - omítky vnitřní,
 - omítky venkovní.
- **Podle skladby**
 - jednovrstvé,
 - dvouvrstvé,
 - vícevrstvé.
- **Podle složení:**
 - vápenná,
 - sádrová,
 - cementová,
 - nastavovaná (vápno-sádrová, vápno-cementová, vápno-hlínová)
 - speciální.

- **Podle charakteru:**
 - jádrová,
 - lícni (štuková).
- **Podle vzhledu povrchu:**
 - hrubá,
 - hladká.
- **Podle způsobu nanášení:**
 - ruční,
 - strojní.

Malty se používají v různých odvětvích stavebního průmyslu, kde jsou rozdílné podmínky prostředí. Z tohoto důvodu je nutné používat malty s rozdílnými vlastnostmi a užitnými hodnotami. Dle ČSN EN 998-1 se omítkové malty zatřídí podle pevnosti v tlaku, absorpce a tepelná vodivosti [2].

Tab. 1 Třídění podle vlastností zatvrdlé malty [2]

Vlastnosti	Kategorie	Hodnoty
Rozsah pevností v tlaku po 28 dnech	CS I	0,4 až 2,5 N.mm ⁻²
	CS II	1,5 až 5,0 N.mm ⁻²
	CSIII	3,5 až 7,5 N.mm ⁻²
	CS IV	≥ 6 N.mm ⁻²
Kapilární absorpce vody	W 0	není předepsána
	W 1	$c \leq 0,40 \text{ kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0,5}$
	W 2	$c \leq 0,20 \text{ kg.m}^{-2}.\text{min}^{-0,5}$
Tepelná vodivost	T 1	$\leq 0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
	T 2	$\leq 0,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

1.1 Suché maltové směsi

Suché maltové směsi (dále jen SMS) jsou dle ČSN EN 998-1 definovány jako průmyslově vyráběné malty pro vnitřní a vnější omítky. Jedná se o maltové směsi vyráběné za přísně kontrolované kvality, aby byl zajištěn správný poměr všech materiálových složek [3]. V České republice SMS vyrábí řada výrobců a také jsou na náš trh dováženy ze zahraničí.

Mezi hlavní výhody SMS patří především stálá kvalita malty, jak v čerstvém stavu (zpracovatelnost, přilnavost k podkladu a retence vody), tak v zatvrdlém stavu (pevnost, přídržnost apod.), kterou nemohou malty připravované in-situ zaručit. SMS a malty z nich připravené splňují požadavky příslušných norem na daný typ malt. Mezi další výhody těchto směsí patří také úspora místa na staveništi [1]. Tyto malty jsou dodávány na staveniště v pytlích nebo volně ložené v zásobních silech o různém objemu, kde se před použitím smíchají s předepsaným množstvím vody [3].

SMS jsou složeny ze sušeného kameniva, drtě a z písku s přesně stanoveným granulometrickým složením, které se určuje podle daného typu malty. Jako pojivo se nejčastěji používá směs vápenného hydrátu a portlandského cementu. Množství a druh pojiva se určuje podle typu malty. K základním složkám se dále přidávají přísady, které upravují zpracovatelnost, zvyšují retenci vody a přilnavost k podkladu, a také mají hydrofobizační účinek [1]. Všechny složky SMS jsou váhově dávkovány, aby byly zaručeny požadované vlastnosti.

Všechny průmyslově vyráběné SMS uváděné na trh zemí EU musí mít ES prohlášení o shodě výrobku, závazné technické listy a pokyny pro zpracování. SMS jsou pravidelně zkoušeny v laboratořích a autorizovaných zkušebnách a zaručují stálou kvalitu zkoušených parametrů. Výrobci uvádějí v technických listech předpokládanou spotřebu na plochu povrchu případně kompatibilitu s různými druhy zdiva.

1.2 Složení omítkových malt

Omítky a jejich vlastnosti jsou závislé na druhu a kvalitě hlavních složek, což jsou především plniva a pojiva. Dále jsou omítky složeny z příměsí a přísad, které modifikují vlastnosti základních malt. V neposlední řadě se musí přidávat záměsová voda [4].

V případě exteriérových omítek, které jsou vystavovány působení povětrnostních vlivů, je nutné, aby měly takové složení a vlastnosti, které zajistí co nejdelší životnost [4].

1.3 Pojivo

Malty pro omítání mají z velké části technologické vlastnosti dány typem pojiva, které zajišťuje především přilnavost, pevnost a také plastičnost a trvanlivost omítky.

Z technologického hlediska se rozlišuje pojivo na: vzdušné, hydraulické a ostatní pojiva (akryláty, silikony, vodní sklo) [4].

1.3.1 Vzdušná pojiva

Vzdušné pojivo umožňuje zatvrdnutí omítky na vzduchu, a v běžných podmínkách vytváří trvanlivou úpravu povrchu. Svě vlastnosti však ztrácí působením vody [4].

Mezi vzdušná pojiva patří sádrová pojiva, sádra, vzdušné vápno, hořečnaté maltoviny, jííl atd.

Vzdušné vápno

Vzdušné vápno je jedním z nejstarších pojiv, které se používalo již ve starém Řecku a Římě. Vápno je technický název pro oxid vápenatý CaO s různým obsahem oxidu hořečnatého MgO, který se vyrábí pálením poměrně čistých vysokoprocentních vápenců nebo dolomitických vápenců, pod mez slinutí při teplotách 1000-1250 °C. Podle množství MgO rozdělujeme vzdušné vápno na vápno vzdušné bílé (< 7 % MgO) a dolomitické vzdušné vápno (> 7 % MgO) [5].

Hlavní surovinou pro výrobu vápna je vápenec CaCO₃ vyskytující se v přírodě s různým obsahem příměsí. Vápno se vyrábí také ze sraženého uhličitanu vápenatého, který odpadá při různých chemických výrobcích. Podle mineralogického složení se vápence rozdělují na vysokoprocentní (> 98 % CaCO₃), mírně znečištěný (90-98 % CaCO₃), středně znečištěný (80-90 % CaCO₃), a velmi znečištěný (< 98 % CaCO₃). Vápenec se po vytěžení podrtí na zrnitost 80-180 mm, v závislosti na druhu pece a následně se třídí. Po vytřídění se vápenec vypaluje a podsítné se využívá do cementu nebo jako štěrk [5].

Při pálení vápna jde o tepelný rozklad vápence a dochází k disociaci uhličitanu vápenatého [1]:



Vypálené vzdušné vápno se dále mechanicky upravuje drcením, mletím a tříděním na požadovanou jemnost [6]. Ve stavebnictví se nejvíce používá k výrobě malt pro zdění a omítání právě vzdušné vápno, které dodává maltám především přídržnost k podkladu, plastičnost a také určitou pevnost po zatvrdnutí [5].

Zatvrdlým omítkám poskytuje porézní strukturu, která ovlivňuje dostatečnou rychlost, vysychání po navlhnutí nebo propustnost pro vodní páru [6].

Fyzikálně-mechanické vlastnosti vzdušného vápna a následně i vápenného hydrátu jsou závislé na rychlosti a způsobu hašení. Při rychlém hašení za zvýšené teploty vzniká tzv. měkce pálené vápno (plastické), které je objemově stálé a ve stavebnictví nejpoužívanější. Pokud se vápno hasí pomalu, vzniká ostře pálené vápno (neplastické) [6].

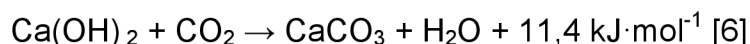
Vápenný hydrát

Pokud se vzdušné vápno upravuje fyzikálně-chemicky při průmyslovém hašení, kdy dochází k přeměně oxidu vápenatého na hydroxid vápenatý [6]:



Takto průmyslově vyhašený produkt je označován jako vápenný hydrát, který se dále upravuje tříděním a mletím na požadovanou jemnost. Vápenný hydrát se nejčastěji používá pro průmyslovou výrobu suchých omítkových směsí [6].

Při tuhnutí a tvrdnutí vápenné kaše dochází k tzv. koloidnímu sesychání a později k přeměně hydroxidu na karbonát vápenatý. Karbonatace probíhá velmi rychle a po šesti týdnech je téměř veškerý hydroxid vápenatý přeměněn na kalcit.



Sádra

Sádra je anorganické práškové pojivo, které se získá tepelným zpracováním sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, částečným nebo úplným odvodněním. Další způsob získání sádry je z přírodního anhydritu CaSO_4 , ze syntetického sádrovce (odpadu z chemického průmyslu), a také ze sádrových střeptů [5].

Přestože sádra může hydratovat i pod vodou, je řazena mezi pojiva vzdušná. Ve vodním prostředí nedává trvalé spojení, ve vlhkém prostředí velmi klesá její pevnost. Oproti cementu a vápnu velmi rychle tuhne a tvrdne [5].

Sádra a sádrové maltoviny se rozdělují nejčastěji na:

- Sádra rychle tuhnoucí se skládá převážně z α a β půlhydrátu $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ a z α a β anhydrit CaSO_4 III. Vzniká při teplotách do $150 \text{ }^\circ\text{C}$ [5].
- Pomalu tuhnoucí sádra se získává výpalem sádrovce nad $800 \text{ }^\circ\text{C}$, kdy se CaSO_4 snáze rozkládá. Pomalu tuhnoucí sádra je tvořená anhydritem CaSO_4 I a II, volným CaO (budič) a půlhydrátem $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$. Sádra začíná tuhnout do 5 hodin a konec tuhnutí nastává do 12 hodin [5].

- Sádrové maltoviny se získávají společným mletím sádry a přísad např. vysokopecní struska, portlandský cement nebo hydraulická látka [5].
- Anhydritové maltoviny se vyrábí jemným mletím přírodního anhydritu nebo nerozpustného anhydritu II, získaného pálením do 500 °C a budiče (Na_2SO_4 , NaOH). Tuhnutí začíná do 5 hodin a konec tuhnutí je do 8 hodin [5].

1.3.2 Hydraulická pojiva

Hydraulická pojiva jsou trvale odolná proti působení vody a malty s hydraulickým pojivem, jsou schopné tvrdnout také pod vodou [4]. Tuto vlastnost získávají, pokud obsahují kromě CaO také SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Hydraulická pojiva tvrdnou rychleji a mají většinou vyšší pevnosti než vzdušná pojiva [5].

Hydraulické vápno

Hydraulické vápno (dále HV) je připravováno pálením vápenců, dolomitických vápenců a z vápnatých slínů, které obsahují hydraulické součásti pod teplotu slinutí 1250 °C. HV se připravuje semletím vzdušného vápna s hydraulickými přísadami, dodávající pojivu hydraulické vlastnosti. HV musí obsahovat min. 10 % hydraulických složek (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) a získává se buď přírodní cestou nebo uměle [5].

Při výpalu HV dochází mezi CaO a hydraulickými oxidy k reakci a vznikají hydraulické složky, jako při výrobě portlandského cementu (C_2S , C_3A , C_4AF), ale neobsahuje C_3S [5].

HV má rychlejší tuhnutí a tvrdnutí než vápno vzdušné. Pokud se potřebuje tuhnutí zpomalit, přidává se sádrovec. Ve stavebnictví se používá HV na přípravu malt a betonů nižších tříd, které jsou uloženy na vzduchu i ve vodě. Často se používá pro přípravu omítkových malt in-situ. Omítky připravené z HV mají větší odolnost proti působení povětrnostních vlivů, oproti cementu má HV plasticitu [5].

Cement

Dle ČSN EN 197-1 „Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití“ je cement hydraulické pojivo, které je pálené nad mez slinutí. Jemně mletá anorganická látka, která po smíchání s vodou pomocí hydratačních reakcí a procesů tuhne a tvrdne. Následně po zatvrdnutí si zachovává svoji pevnost a stálost na vzduchu i ve vodě. Při vhodném dávkování a smíchání s pískem nebo kamenivem a vodou, umožňuje cement vyrobit maltu a beton s

vhodnou zpracovatelností po dostatečnou dobu. Dále musí mít cement po předepsané době požadovanou pevnost a dlouhodobou objemovou stálost [5].

Hydraulické tvrdnutí cementu probíhá převážně díky hydrataci vápenných silikátů a aluminátů. V cementu musí být obsaženo více jak 50 % aktivního oxidu vápenatého CaO a oxidu křemičitého SiO₂ [5].

Portlandský cement se vyrábí semletím portlandského cementového slínku na jemný prášek spolu se sádrovcem (regulátor rychlosti tuhnutí). Slínek je složen z 96 % celkového obsahu, převážně ze čtyř hlavních oxidů: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ a CaO, které při výpalu cementářské suroviny tvoří krystalické křemičitany, hlinitany a železitany vápenaté [1].

V oblasti ochrany a obnovy památek se nejčastěji uplatňuje bílý cement, který se vyrábí z téměř bílého vápence s minimálním obsahem železa (max. 1 % Fe₂O₃). Vypaluje se při 1600 °C a obsah SO₃ musí být do 3,5 % [5].

Latentně hydraulická pojiva

Latentně hydraulické látky nemají samy o sobě schopnost tuhnout a tvrdnout. Tuto schopnost získávají přítomností jiné látky, tzv. budiče hydraulicity (síranové nebo zásadité). Latentní hydraulická je schopnost látky tvrdnout za normální teploty ve vodním prostředí díky reakci s Ca(OH)₂ [7].

Pucolány

Pucolány jsou látky s obsahem amorfního a reaktivního oxidu křemičitého (SiO₂) a oxidu hlinitého (Al₂O₃), které nemají samy o sobě žádnou nebo jen velmi malou vazebnou schopnost. Po smíchání s hydroxidem vápenatým (Ca(OH)₂) a vody (H₂O) reagují za normálních teplot za vzniku hydratovaných vápenatých sloučenin, které tuhnou, tvrdnou a jsou stabilní i pod vodou. Mezi pucolány se řadí např. jemně drcené sklo, různé druhy strusky, pálené jíly, mleté keramické střepy a metakaolin [8].

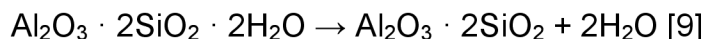
Metakaolin

Metakaolin je materiál, který má pucolánovou aktivitu a v přítomnosti Ca(OH)₂ a vody reaguje za vzniku sloučeniny, která tuhne, tvrdne a je stabilní pod vodou. Jedná se o produkt kalcinace jílové horniny kaolinu, který má hlavní složku kaolinit (Al₂Si₂O₅(OH)₄), což je jílový minerál. Kaolín je vytvořen změnou různých druhů

krystalických skel (živec, sopečný popel) a je nejvíce zastoupen v jílových minerálech. Měrný povrch čistého kaolinu je cca $15000 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$. Plavený kaolín, který je zbavený nejílových minerálů, se využívá v mnoha odvětvích průmyslu např. papírenství, farmacie, potravinářství, stavebnictví atd. Metakaolin se používá jako aktivní příměs do betonu, kde zlepšuje mechanické a chemické vlastnosti. Také se používá jako příměs do vápenných omítkových malt. Zlepšuje jejich mechanické vlastnosti, zvyšuje odolnost proti zmrazovacím cyklům a zlepšuje tepelné a vlhkostní vlastnosti omítek [9].

Jíly obsahující montmorillonit jako hlavní minerál, jsou z technického hlediska nejvýhodnější na přípravu omítek. Problémy však mohou nastat při opakované absorpci vody a jejím následném vysychání. V omítkách v takovémto případě mají tendenci k tvorbě trhlin. V České republice je vhodné používat kaolinitické jíly, které mají lepší zapojení do kompozitní struktury zatvrdlé omítky [9].

Metakaolin se vyrábí vypalováním kaolínu s izotermní výdrží při $600 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 4 hodin. Dochází k dehydroxidaci a uvolnění až 14 % hydroxylové vody, která je obsažena ve vnitřní struktuře kaolinitu, podle reakce [9]:



Metakaolin je hlinitanokřemičitanový pucolán, který po smíchání s hydroxidem vápenatým a vody vytváří stabilní hydráty, a dodává tak omítce hydraulické vlastnosti. Metakaolin má velmi vysokou pucolánovou aktivitu, která je blízká aktivitě aerosilu [8].

Metakaolin v podstatě nahrazuje keramický a cihelný střep, který se používal v omítkách. Po chemické stránce je metakaolin nejvíce podobný pálené keramice. Při používání metakaolinu jde hlavně o možnost nahrazení portlandského cementu, jehož použití není u historických objektů vhodné, jelikož hydratovaný cementový tmel snižuje propustnost vodní páry sanované konstrukce a způsobuje nárůst vlhkosti v nosné konstrukci [8].

Tab. 2 Obsah minerálů v metakaolinu Mefisto K05 Nové Strašecí [8]

Zastoupení minerálů	Procentuální obsah [hm. %]	Zastoupení minerálů	Procentuální obsah [hm. %]
Al ₂ O ₃	38,5	K ₂ O	0,85
SiO ₂	58,7	CaO	0,2
Fe ₂ O ₃	0,72	MgO	0,38
TiO ₂	0,5	Na ₂ O	0,1

1.3.3 Ostatní pojiva

Do omítkových malt se v některých případech používají pojiva, která dodávají omítkám speciální vlastnosti. Nejčastěji se využívají u fasádních dekorativních omítek a dále také u tepelněizolačních omítek.

Silikony

Silikony jsou podobné makromolekulárním látkám na bázi uhlíku. Silikony se používají do omítek ve formě vodných polymerních disperzí, kde je silikonát rozpustný ve vodě a působením CO₂ přechází na polysiloxan, který je ve vodě nerozpustný ve formě pryskyřice. Silikonové disperze patří mezi nejušlechtlejší pojiva do omítek, protože zajišťují vynikající přídržnost k podkladu, jsou zcela vodoodpudivé, dobře tepelně odolné a mají nízkou hodnotu difuzního odporu pro vodní páru [6].

Akryláty

Akrylátová pojiva principiálně představují hydrosoly, které jsou tvořené vodou, polymerem a nepolymerními látkami. Patří do skupiny vodných polymerních disperzí. Akrylátová pryskyřice (polymetylmetakrylát) je polymerem u akrylátových pojiv, která má nízkou viskozitu, dobrou zpracovatelnost a odolnost proti působení atmosférických vlivů. Mezi nepolymerní látky patří emulgátory, změkčovadla ochranné koloidy a další. Změkčovadla snižují viskozitu při převodu na vodní disperzi, zvýšení rozpustnosti a snížení pevnosti. Emulgátory slouží k stejnoměrnému rozptýlení polymeru ve vodě a ochranné koloidy zabezpečují stabilizaci vzniklé disperze. Akrylátová pojiva mají dobrou přídržnost k podkladu, odolávají vodě, ale mají vysoký difuzní odpor pro vodní páru. Mezi další výhody patří odolnost proti mrazu, kyselinám, solím, olejům a tukům [6].

1.4 Plnivo

Plniva jsou definovány jako látky anorganického i organického původu, které díky své zrnitosti vytvářejí pevný skelet zatvrdlých malt a betonů. Nejčastěji se používají anorganická plniva, která se podle zrnitosti obvykle označují jako šterky, drtě, písky a fillery. Plniva se mísí s pojivy kvůli zvyšování objemu hmoty a vytvoření směsi s vylepšenými vlastnostmi, oproti použití pouze pojiva a vody [6].

Písek

Písek je definován jako směs zrn z kamenů, přírodních nebo umělých, od velikosti zrna cca 0,1 do 4 mm. Písek se třídí na jemnozrné s velikostí zrna do 0,25 mm, středně zrnité s velikostí zrna od 0,5 do 1,6 mm a hrubozrné se zrny nad 1,6 mm. Pro omítky štukové se používají především písky jemnozrné a pro jádrové omítky středně zrnité. Podle původu se písky rozdělují na přírodní (kopané, říční, sopečné atd.) a uměle připravované (drcením, mletím, tříděním) z hornin nebo jiných hmot [6].

Moučka

Moučky jsou odprašky po drcení, mletí a třídění kameniva. Zlepšují plastičnost malt a zvětšují objem pojivého tmelu. Kvůli vysokému měrnému povrchu spotřebují velké množství záměsové vody a tím mohou vznikat smršťovací trhliny při vysychání. Tento problém je především u mouček, které jsou tvořeny jílovinami. Pokud jsou tvořené prachem po drcení a mletí hornin není smrštění tak výrazné [6].

1.4.1 Plniva lehkých omítkových malt

Omítkové malty s lehkými plnivem se stále častěji využívají ke zlepšování tepelněizolačních a akustických požadavků při současném snižování hmotnosti stavebních materiálů. Nejčastěji se využívají pěnoplastické látky (pěnový polystyren, polyuretanová pěna, extrudovaný polystyren atd.) a lehká kameniva (perlit, keramzit, vermikulit atd.).

Pěnový polystyren EPS

Pěnový polystyren byl vynalezen v Německu v roce 1947. Základní výrobní surovina je zpěňovatelný polystyren, jsou to perly obsahující 6-7 % nadouvadla pentanu. Tyto perle se vyrábí suspenzní polymerací monomeru styrenu a k výrobcům

jsou dodávány ve velikostech od 0,3 do 2,8 mm. Výroba pěnového polystyrenu probíhá ve třech stupních (předpěnění, meziuskladnění, výroba bloků nebo perlí). Zpěňovatelný polystyren se předpěňuje působením syté vodní páry v předpěňovacích zařízeních, kde perle zvětšují svůj objem až 50krát. Dále se napěněné perle přesouvají do provzdušňovacích sil, kde se během chlazení vytváří podtlak a perle se stávají citlivé na mechanické poškození. Pomocí difuze vzduchu do buněk perlí, se podtlak vyrovnává a perle získávají větší mechanickou pružnost. Expandovaný polystyren má velmi vysokou pórovitost, dobré mechanické vlastnosti, je nerozpustný ve vodě a nebobtná [10].

Polyuretanová pěna

Polyuretanová pěna je makromolekulární materiál převážně na organické bázi, který vzniká vzájemnou polyadící diphenyldiisocyanátu a směsí vícesytných polyether a polyester alkoholů, katalyzátorů, aktivátorů, stabilizátorů, retardérů hoření, vody a nadouvaděl. Polyuretanová hmota napěňuje vlivem teploty chemické reakce a tvořícího se kyslíčnicku uhličitého CO_2 a vytváří tak uzavřenou mikroskopickou buněčnou strukturu. PUR pěna je výborný tepelný izolant a ve stavebnictví se používá již dlouhou dobu ve formě montážní pěny nebo stříkané PUR izolace, která má vyšší mechanické vlastnosti, je objemově stabilnější a má velmi nízkou hodnotu součinitele tepelné vodivosti [10].

Po skončení životnosti se polyuretanová pěna využívá ve formě recyklovaného odpadu, jako plnivo do tepelně izolačních malt a lehkých betonů [11].

Expandovaný perlit

Perlit je hornina sopečného původu, která utuhla ve formě skla. Při zahřátí tohoto skla do pyroplastického stavu dochází k nadýmání, způsobené vodní párou, která je obsažena ve skle. Jako perlit je označované vulkanické ryolitové sklo, které je složeno z amorfního křemičitanu hlinitého. Perlit při teplotách 900-1200 °C expanduje a několikanásobně zmenšuje svoji objemovou hmotnost. Expandovaný perlit je sklovitý, bílé až šedé barvy a velmi jemně pórovitý ve formě dutých oválných zrn. Dále je chemicky inertní, odolný proti mrazu, objemově stálý a nehořlavý [12].

Keramzit

Keramzit je uměle vyráběné kamenivo zakulaceného tvaru ze snadněji tavitelných hlín, které se vypalují při teplotě 1100-1200 °C, za současné ztráty hmotnosti. Hlíny při výpalu zvětšují objem kvůli uzavřeným dutinám plynů, které se v nich utvořily. Keramzit se získává tepelným expandováním hlín vhodného chemického a mineralogického složení [12].

Vermikulit

Vermikulit je minerální slída, která při výpalu o vyšších teplotách zvětšuje svůj objem a tím dochází k rozlískování. Minerální slídy mají vrstvenou krystalovou mřížku, ve které je strukturálně vázaná voda a při teplotě cca 800 °C nastává dehydratace doprovázená destrukcí krystalické mřížky. Pára způsobuje, že jednotlivé vrstvy krystalové mřížky se od sebe vzdalují, tím se objem zvětší, až 20krát a sníží se pevnosti. Vermikulit je hydratizovaný hořečnatohlinitý slídovitý křemičitan, který má objemovou hmotnost 60-200 kg·m⁻³ a tím velmi nízkou hodnotu součinitele tepelné vodivosti [12].

Expandovaný obsidián

Expandovaný obsidián se vyrábí z vulkanického písku, převážně z obsidiánu. Jedná se o sypkou látku ve formě pelet nebo granulí, které vznikají výpalem vulkanického písku. Vypálené zrno je uvnitř pórovité, díky tomu má toto kamenivo výborné tepelně izolační vlastnosti a nízkou objemovou hmotnost. Expandovaný obsidián má slabý vnější obal, kterým může snadno prostupovat vzduch a vodní pára, ale jeho dutiny zůstávají voděodolné [12].

1.5 Využití druhotných surovin v SMS

Za druhotnou surovinu se považovaly dle zákona č. 185/2001 sb. „Zákon o odpadech“ (platný do novely č. 154/2010 Sb.), materiály získané z odpadů, které nahrazují prvotní suroviny. Látkové vlastnosti těchto odpadů je možné dále využít k prvotnímu účelu nebo k jiným účelům, s výjimkou bezprostředního získání energie [13].

Nyní je pojem „druhotná surovina“ nahrazen dle § 4 zákona č. 185/2001 sb. „Zákon o odpadech“ materiálovým využitím odpadů, který je definován jako: způsob

využití odpadů, který zahrnuje recyklaci a další způsoby využití odpadů, jako materiálu k původnímu nebo jiným účelům, s výjimkou bezprostředního získání energie [13].

Druhotné suroviny vznikají jako odpad z průmyslové výroby. Odpad je materiál, který již nemá své původní parametry a vlastnosti, a proto se odstraňuje. Pokud se pro tento materiál najde nové uplatnění a využití, hovoří se o druhotné surovině. Hlavní důvody pro používání druhotných surovin jsou klesající zásoby primárních zásob, snížení energetické náročnosti výroby stavebních materiálů a snížení výrobních nákladů o skládkování odpadů. Využívají se odpady ze stavební výroby a demolic, ale také z jiných průmyslových odvětví [13].

Ve stavebnictví se upřednostňuje používání velkoobjemových odpadů, u kterých se může předpokládat stejnorodé chemické i mineralogické složení [14].

Druhotné suroviny mají ve většině případů horší kvalitu, než suroviny přírodní a nejčastěji se ve stavebnictví využívají jako plniva, pojiva a příměsi [15].

1.5.1 Pojiva na bázi druhotných surovin

Dnes je kladen stále větší důraz na ochranu životního prostředí. Výroba stavebních hmot je považována za jednu z nejvíce energeticky náročných odvětví průmyslu, a proto je snaha vyrábět materiály, které budou splňovat požadavky na hospodárnou produkci, zároveň nebudou představovat přílišnou zátěž pro životní prostředí, a to především šetrností v čerpání neobnovitelných zdrojů a minimalizací produkce odpadů. Aby byl trvale udržitelný rozvoj a docházelo především ke snižování emisí skleníkových plynů, je třeba využít druhotné suroviny z průmyslových a energetických výrob. Mezi tyto suroviny patří např. elektrárenský popílek a vysokopecní struska [13].

Elektrárenský popílek

Popílký vznikají při vysokoteplotním spalování tuhých paliv, kdy se zachycují zbytky na odlučovačích plynů z topenišť. Tato velmi jemná kulatá zrna mají velikost 0,001 až 0,1 mm, obsahují amorfní SiO_2 , mullit ($3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) a křemen (SiO_2). Měrný povrch se u popílků pohybuje kolem $300 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ [14].

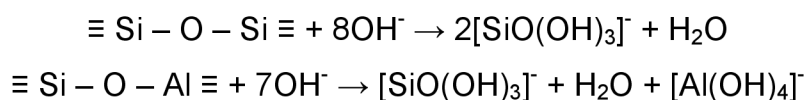
Amorfní oxid křemičitý, který je v popílkách obsažen, reaguje za běžných teplot s hydroxidem vápenatým a vznikají hydratované křemičitany vápenaté, tzv.

CSH gely, které jsou hlavními nositeli pevností. Tato schopnost se nazývá pucolánová aktivita, která je také hlavním ukazatelem kvality popílku [14].

Pucolánová reakce [14]:



Vysoká koncentrace OH^- iontů způsobí štěpení vazeb v SiO_2 , křemičitanech a hlinitanech:



Popílky se využívají ve stavebnictví např. jako příměs do směsných cementů, do malt a omítek. Díky vysokému obsahu SiO_2 mohou také nahrazovat část pojiva a jemné podíly plniva v betonech, dále jako lehčené kamenivo a ostřívo keramických výrobků atd. [14].

Jemně mletá struska

Jemně mletá struska patří mezi latentně hydraulické látky, které mají schopnost tvrdnout reakcí s Ca(OH)_2 ve vodním prostředí za normální teploty.

Podmínkou chemické reakce je alkalické prostředí vytvářené v roztoku i jinými chemickými sloučeninami, které se nazývají budiče hydraulicity [16].

Strusky jsou pevné, nekovové odpady hutní výroby, které vznikají reakcí doprovodných složek obsažených v rudě se struskotvornou přísadou (CaO). V mineralogickém složení vysokopeční strusky převažuje melilith, který je izomorfní směs gehlenitu C_2AS a ackermanitu C_2MS_2 , dále obsahuje α -dikalciumsilikát, β -dikalciumsilikát, mervinit C_3MS_2 , pseudowollastonit β -CS aj. [12].

Struska dále obsahuje velké množství vápenatých a hořečnatých křemičitanů a hlinitokřemičitanů. Při vypouštění z vysoké pece se musí struska velmi rychle ochladit, aby měla zachovaný co největší podíl amorfni fáze, díky které má hydraulické vlastnosti. Sama o sobě není s vodou pojivá, ale po přidání aktivátoru např. hydroxid vápenatý reaguje, a vytváří hydratované křemičitany a hlinitany hořečnaté a vápenaté [14].

1.5.2 Plniva na bázi druhotných surovin

Neustále se zdokonalující způsob separace odpadů umožňuje využití odpadů mnoha způsoby. Některé druhy odpadů se mohou využívat také k výrobě plniv, jsou to škvára, energetické popílký, strusky, sklo atd.

Sklo

Sklo je velice starý materiál. První zmínky o výrobě skla jsou již ze 7. tisíciletí př. n. l. v Egyptě. V Benátkách ve 13. století byly položeny první základy sklářského průmyslu a odtud se výroba skla šířila po celé Evropě. Nejprve se sklo využívalo jako dekorace, později s výrobou plochého skla se začalo využívat pro zasklívání okenních tabulí. Dále se sklo využívalo v elektrotechnickém a elektronickém průmyslu a také jako stavební materiál [14].

Ze skelného odpadu se vyrábí pěnové sklo, uplatňující se jako lehký tepelně izolační materiál, který má vysokou pevnost v tlaku, a nejčastěji se používá na izolační vrstvy střech, podlah, stěn a podhledů. Dále se vyrábějí skleněná vlákna, která se využívají na izolace podlah a zdiva [14].

Sklo je amorfní pevná látka, která vykazuje mechanické vlastnosti pevných látek a její molekulární uspořádání je v měřítku několika základních strukturních skupin [14]. Zpravidla se jedná o průhlednou látku s vysokou nepropustností, odolností proti vodě, vzduchu a dalším látkám a také malou tepelnou vodivostí [17].

Recyklace skla

V případě recyklace skla jde o to, že sklo jako konečný produkt vstupuje znovu po použití jako druhotná surovina, která neztratí žádnou vlastnost snižující užitnou hodnotu. Díky tomu se může sklo teoreticky cirkulovat do nekonečna. Výhoda skla je taková, že není nutné ho nijak náročně upravovat před znovupoužitím, oproti řadě jiných obalových materiálů. Sklo se pouze drtí na recyklačních linkách na skelný písek [18].

1.5.2.1 Pěnové kamenivo

Pěnové kamenivo je výrobek ze skelného recyklátu, který má objemovou hmotnost přibližně $200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ s uzavřenými póry a nasákavostí pod 5 %. Z fyzikálního hlediska lze na pěnové kamenivo pohlížet jako na heterogenní soustavu plynné a tuhé fáze, v níž plynná fáze tvoří více než 90 % celkového objemu. Jedná

se o ztuhlou pěnu s uzavřenými póry mnohostěnného tzv. polyedrického tvaru, které mají velmi pravidelnou velikost, tvar i rozdělení. Vzhledem k vysoce pórovité struktuře má pěnové kamenivo vynikající vlastnosti, mezi které především patří nízká nasákavost a dobré mechanické pevnosti při nízké objemové hmotnosti. Díky své pórovité struktuře a velmi nízké objemové hmotnosti má také nízkou tepelnou vodivost a je považováno za dobrý tepelně izolační materiál. Používá se především v místech, kde je potřeba dokonalé izolace a větší mechanické pevnosti, anebo kde je izolace vystavena trvalému působení vlhkosti nebo vyšších teplot [19].

Tuhá fáze pěnového kameniva má téměř totožné chemické složení jako běžné sklo okenní. Tvořeno je velmi tenkostěnnými póry (tloušťka několik mikronů), které jsou prostoupeny ještě dalšími póry nepatrných rozměrů. Obsah pórů je tvořen směsí různých plynů (oxid uhelnatý, oxid uhličitý, dusík a 1-2 % sirovodík) [19].

Pěnové kamenivo lze použít pro výrobu sypané izolace, do lehčeného betonu a pro výplně střešních pláštů [19].

Vlastnosti pěnového kameniva

Pěnové kamenivo je výplňová izolační hmota. Z tohoto důvodu je nutná nízká objemová hmotnost, se kterou souvisí i izolační schopnosti. Izolační schopnost není dána pouze tepelnou vodivostí, ale také obsahem vlhkosti. Proto je nutné, znát nasákavost, hodnotu prostupu par a plynů, a také odolnost proti působení vyšších teplot a mrazu. Další výhodou pěnového kameniva je ta, že si trvale uchovává své izolační schopnosti i v prostředí, s extrémně vysokou relativní vlhkostí. Pěnové kamenivo je odolné proti působení biologických vlivů, je nehořlavé, objemově stálé a odolné proti vodě a chemikáliím, až na výjimky (kyselina fluorovodíková, roztoky alkalických hydroxidů) [19].

Tab. 3 Orientační rozsahy vybraných vlastností pěnového kameniva [20]

Vlastnost	Jednotka	Rozpětí hodnot
Objemová hmotnost	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	100-270
Pevnost v tlaku	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	0,5-1,7
Pevnost v ohybu	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	0,1-0,4
Součinitel tepelné vodivosti	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	0,043-0,073
Maximální teploty použití	$^{\circ}\text{C}$	-260 až +700
Hořlavost (podle ČN 73 0823)	Stupeň hořlavosti	A

Pěnové kamenivo se používá jako vysoce účinná tepelná izolace ve všech oblastech stavebnictví, v chemickém průmyslu při izolaci různých aparatur atd. [21].

Výroba pěnového kameniva

Výroba pěnového kameniva se provádí z odpadního skla, převážně ze skla obalového. Jelikož se jedná o využitelnou část komunálního odpadu, je skleněný odpad sbírán v obcích odděleně a odkládán do určených sběrných nádob nebo kontejnerů. Ty jsou následně odváženy a vysypány na úložiště, kde se provádí jednoduché dotřídění skleněných odpadů a dochází k odstranění komunálního odpadu, kameniva, keramiky, aj. [22].



Obr. 1 Recyklace skla [23]



Obr. 2 Mletí skleněného střepu [23]

Dále se vytríděný skleněný odpad drtí na menší frakce, vhodné pro další technologické zpracování. Homogenizovaná skleněná drť o velikosti částic do 10 mm se rozmílá v kulovém mlýně na jemnou skleněnou moučku. Ta je následně skládkována v silech, která jsou vyhřívána na 20 °C [24].

Chemické složení skleněné moučky je přibližně 71 % SiO_2 ; 1,7-2 % Al_2O_3 ; 9-11 % CaO ; 0,5-1,5 % MgO ; 14-15 % Na_2CO_3 ; 0,5 % K_2O . Obsah Fe, Cr atd. se může lišit v závislosti na poměru barevnosti skleněného střepu. Granulometrie skleněné moučky je cca 90 μm s obsahem organických nečistot do 1 % [25].



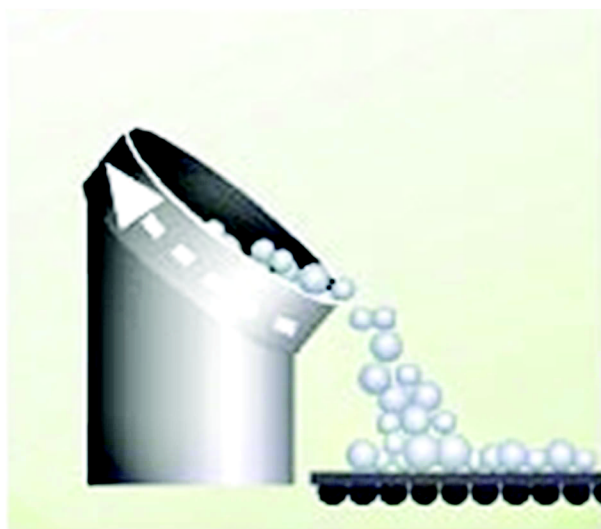
Obr. 3 Skleněná moučka [23]



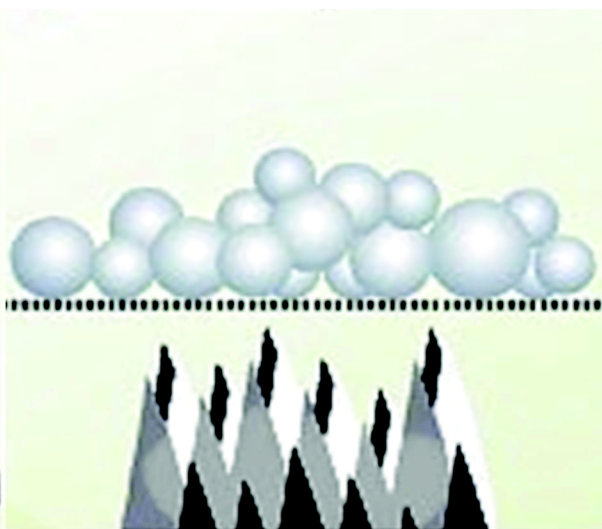
Obr. 4 Míchání složek [23]

Pro přípravu sbalků ze skleněné moučky je nutné správné dávkování všech složek do míchačky. Dochází k míchání skleněné moučky, vodního skla, napěňovadla a vody [26].

Po výše uvedeném míchání se připravená směs přemísťuje dávkovacím čerpadlem do kontinuální granulovací míchačky. Do připravené směsi je za stálého míchání opět přidávána skleněná moučka a dochází k výrobě surového sbalku. Další zrna s velikostí zrna 0,25-0,5 mm jsou přidány jako nukleační činidla. Tímto způsobem se připravená zrna umísťují na granulační talíř, kde se následně sbalkují na větší průměrnou velikost částic [27].



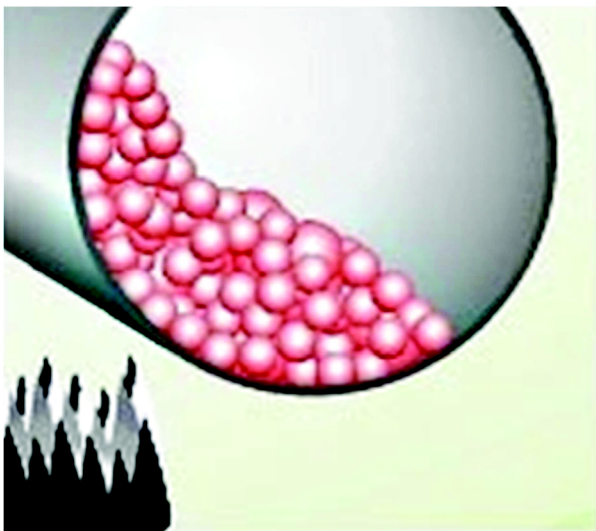
Obr. 5 Sbalkování [23]



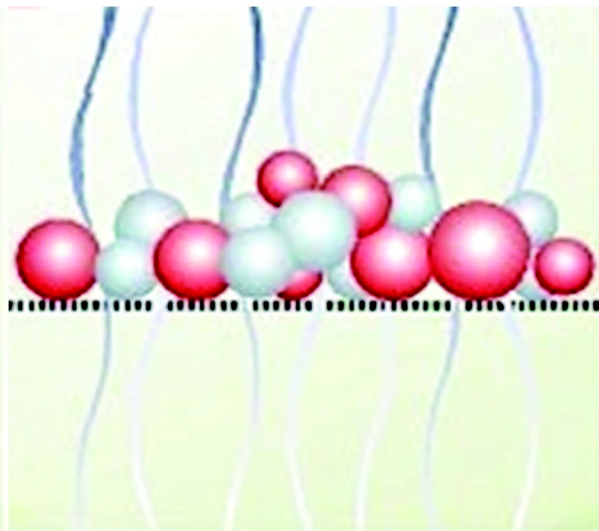
Obr. 6 Sušení sbalků [23]

Surové sbalky jsou sušeny např. v bubnové sušičce při teplotě 300-450 °C [26], dokud jejich obsah vlhkosti není do 0,1 %, a následně jsou prosetím rozděleny podle velikosti sbalků, které se poté vypalují v rotační peci [28].

Vysušené sbalky se umísťují do rotační pece, kde při teplotách 800-900 °C po dobu 10-30 min., v závislosti na druhu zpěňovací látky (uhličitan, glycerin), dochází k napěnění [28]. Při kterém se vytvářejí drobné póry, díky současné oxidaci částic uhlíku na CO₂. Následně dochází k několikanásobnému zvětšení objemu [29].



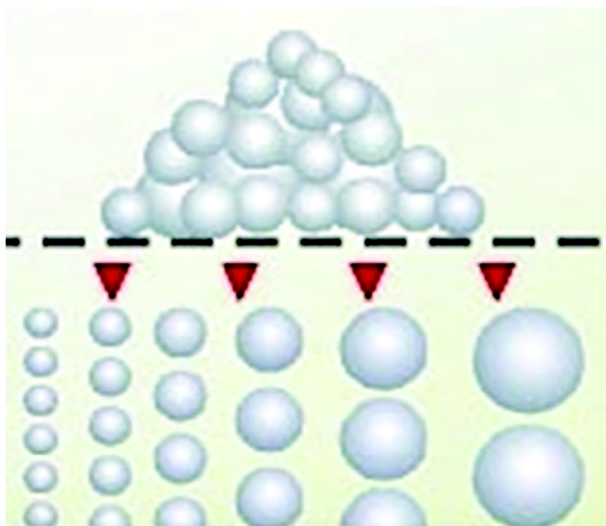
Obr. 7 Výpal v rotační peci [23]



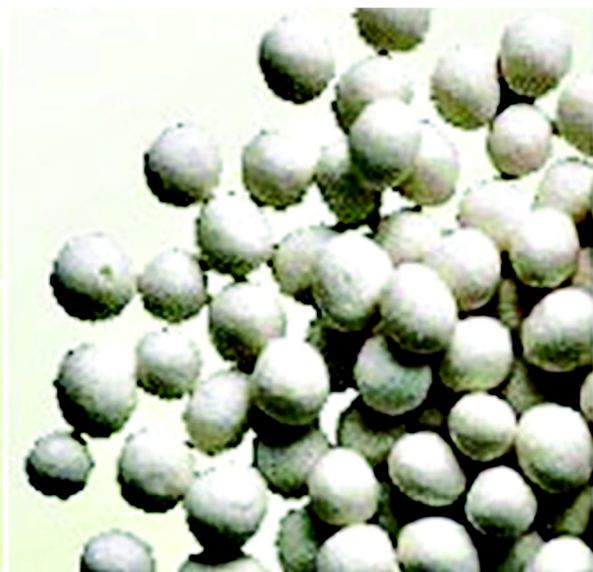
Obr. 8 Chlazení [23]

Chlazení po vypálení již napěněného vzorku, probíhá v potrubí, které je teleskopicky spojené s pecí. Během chlazení by měla rychlost otáčení potrubí být až o 10 % vyšší, než je rychlost otáčení pece. Při chlazení se následně stabilizuje teplota, aby byla zajištěna stálá kvalita a vlastnosti materiálu [26].

Zchlazený materiál se dále očišťuje od prachu a je tříděn podle velikosti frakce. Dále se provádí kontrola kvality (objemová hmotnost, pevnost v tlaku, součinitel tepelné vodivosti atd.), balení např. do pytlů a následná expedice.



Obr. 9 Třídění [23]



Obr. 10 Pěnové kamenivo [23]

2 Údržba a ochrana historických památek

Stavební památky nebo jejich části jsou staré mnohdy řadu století. Jsou složeny z materiálů s různým složením, které tvoří jeden komplikovaný celek. Pravidla určující přístup k opravám památkově chráněných objektů, se zaměřují především na zachování původních materiálů, na složení materiálů používaných k opravě nebo rekonstrukci a na technologii nanášení [9]. Musejí se hledat takové metody a prostředky ochrany nebo obnovy, které prodlouží životnost stavby s minimálním poškozením nebo odstraněním historického materiálu nebo konstrukce [1].

Při opravách historicky chráněných objektů by měly být upřednostňovány zejména takové technologie, aby nedošlo ke zničení informace o předchozím vývoji stavby. Omítanou fasádu je třeba ochránit vhodnými prostředky, nejenom kvůli stavebně technickému hledisku, ale také kvůli zachování dokladu o stavebním vývoji stavby, o postupech provádění prací a použitých materiálech. Malty a omítky používané u historických budov poskytují důležité informace o stavební technologii v daném historickém období a jsou stejně důležité jako historické dokumenty [30].

Před ošetřením fasád a omítek na historických budovách by měla předcházet komplexní příprava, na které se podílí projektanti, stavební specialisté, restaurátoři, technologové, přírodovědci a historikové. Veškerá činnost by měla být prováděna v koordinaci s odbornou památkovou péčí [31].

Omítky historických staveb jsou nejčastěji vícevrstvé systémy, jejichž jednotlivé vrstvy pocházejí z různých období. Používaný materiál, který je vhodný pro obnovu fasád, musí být technologicky kompatibilní s původním materiálem a složení musí být blízké původní omítkové maltě [9]. V současné době je k opravě fasád památkáři doporučována malta na bázi vzdušného vápna. Přídavkem pucolánů na bázi metakaolinu do vápenných malt je možné zlepšit mechanické vlastnosti, a také tepelně vlhkostní parametry malt. Malty patřící do skupiny vápeno-pucolánových materiálů mohou být použity jako jedna z možných alternativ pro účel náhrady nebo opravy již dožilých vápenných omítkových malt [32]. Mezi historické omítkové malty, které se dochovaly až do dnešní doby, byly nalezeny jako pojivo sádra, vápno, vápence a již zmíněné pucolány. Aby bylo možné zachovat co nejuvhodnější složení s původními materiály omítkových malt, není možné používat moderní pojiva na bázi portlandského cementu tam, kde nebyl již dříve používán. Vzhledem k tomu,

že portlandský cement se vyznačuje vysokými pevnostmi a také systémem kapilárních pórů o malém průměru dochází k vyššímu zavlhčení malty. Hlavní příčinou zavlhčení je nízká propustnost vodní páry a silná kapilární vazba kapalné vody [9].

Výroba vápenné malty, která má podobné vlastnosti jako vápenná malta vyráběná a aplikovaná před nástupem cementu, který je znám více jak 180 let, musí dodržovat jistá pravidla. Nutné je, dodržovat technologický postup správné přípravy, aplikace a ošetření vápenné malty, včetně nároků na vhodné kalendářní období. K výrobě vápenné malty se v dnešní době nejčastěji využívá vápenný hydrát v práškové formě, který je téměř čistý hydroxid vápenatý a není hydraulicky aktivní. Z rozborů historických malt bylo zjištěno, že pojivo starých historických malt obsahovaly také rentgenamorfní sloučeniny s různým poměrem vápníku, křemíku a hliníku [32].

Aby bylo zabráněno poškození a zničení hodnot na historických objektech, jsou na mezinárodní úrovni stanoveny základní zásady, ke kterým se náš stát zavázal a měly by být při péči o památkově chráněné a historické stavby plně respektovány. Tyto zásady jsou obecně uvedeny v „Úmluvě o ochraně architektonického dědictví Evropy“ z roku 1985 nebo v Mezinárodní chartě o zachování a restaurování památek a sídel, tzv. Benátská charta z roku 1964. Mezinárodně uznávaná je i zásada, že přijatelné jsou jen takové nové materiály, které lze opakovaně udržovat a obnovovat v souladu s péčí o originální omítky nebo zásahy a materiály odstranitelné. K soustavné péči o omítky jsou vybírány takové prostředky, které zásadně nemění jejich původní vlastnosti [31].

2.1 Analýza historických omítek a malt

Průzkum stavebních památek shromažďuje informace o stavu objektu a příčinách jeho poškození. Průzkumy jsou stavebně technologické, statické, geologické, hydrogeologické, fyzikálně chemické, restaurátorské a další. Informace, které jsou takto získané, slouží jako podklad pro zpracování projektové dokumentace opravy, rekonstrukce, renovace apod. Důležitou součástí průzkumu je analýza historických omítkových malt, pro které neexistuje žádný národní ani mezinárodní standard. Normové metody, které se používají u moderních malt, nejsou na historické materiály přenositelné a využívají se spíše ke srovnání [1].

Jsou dva hlavní důvody k analýze omítkových malt. První je stanovit složení malty (poměr mísení, druh pojiva, počet nanesených vrstev apod.).

Za druhé je popsat její současný stav (salinitu, vlhkost, pórovitost a hydrofobnost). Dalším úkolem analýzy je zjištění fyzikálních, mechanických a chemických vlastností [30]. Díky znalosti složení původní omítkové malty lze v případě renovace či rekonstrukce navrhnout novou omítku, která bude vhodná pro její doplnění nebo náhradu. Dále je možné ze stavu omítky usoudit příčiny poškození a doplnit poznatky restaurátorského či stavebního průzkumu [1].

Pro analýzu stavebního materiálu je nutné provést odběr vzorků. Vždy musí být zřejmé, pro jaký účel se vzorek odebírá. Musí být odebrán cíleně z vhodného místa a v odpovídajícím množství. Odběr musí být správně zdokumentován a vhodně zabalen k předání do laboratoře. U historicky významných objektů je nutné, aby byl odběr vzorku proveden co nejšetrněji a dle zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči". Odběr smí provést pouze restaurátor [1].

Pro rozbor historických omítek a malt se nejčastěji používají následující analytické metody:

- granulometrická analýza - stanovení zrnitosti plniva použitého v maltě,
- silikátová analýza - procentuální složení omítky v oxidické formě hmotnostními procenty obsahu jednotlivých stanovených prvků,
- mikroskopické vyšetření - druh anorganického pojiva a plniva, identifikace pigmentů a organických pojiv, mikrostrukturu omítky,
- EDS mikroanalýza - chemická analýza jednotlivých částí,
- stanovení vlhkosti a salinity - druh a stupeň zasolení a vlhkosti,
- porozimetrie - zjištění pórovitosti před a po konsolidaci,
- vodotěsnost a kapilární nasákavost - posouzení účinnosti hydrofobní úpravy stavebního materiálu,
- studium biologického napadení - zjišťování kontaminace a kolonizace omítky, stadia biologického napadení [1].

2.2 Zákon o státní památkové péči

Základním právním předpisem, který upravuje kulturní ochranu památek v České republice, je zákon č. 20/1987 Sb. „o státní památkové péči". Tento zákon v ustanovení § 1 deklaruje zájem státu na ochraně kulturních památek a zároveň

stanoví úkoly státu, které má pro účely ochrany kulturních památek plnit. Stát ochraňuje kulturní památky, jako důležitou součást kulturního dědictví národa, svědectví jeho dějin, významného činitele životního prostředí a nenahraditelné bohatství státu. Účelem zákona je vytvořit všestranné podmínky pro další prohlubování kulturně výchovné funkce státu, při péči o kulturní památky, o jejich zachování, zpřístupňování a vhodné využívání, aby se podílely na rozvoji kultury, umění, vědy a vzdělávání, formování tradic a vlastenectví, na estetické výchově pracujících a tím přispívaly k dalšímu rozvoji společnosti [33].

Za kulturní památku podle § 2 odst. 1 zákona „o státní památkové péči“ prohlašuje Ministerstvo kultury České republiky věci a soubory, které jsou významnými doklady historického vývoje, životního způsobu a prostředí společnosti od nejstarších dob do současnosti, jako projevy tvůrčích schopností a práce člověka z nejrůznějších oborů lidské činnosti [33].

Podle § 9 zákona „o státní památkové péči“ je vlastník kulturní památky povinen na vlastní náklady o památku pečovat, udržovat ji v dobrém stavu a chránit ji před poškozením a znehodnocením. V případě, že vlastník památky chce provést jakoukoli úpravu, je povinen vyžádat si stanovisko obecního úřadu s rozšířenou působností. Pokud se jedná o národní kulturní památku, vydává závazné stanovisko krajský úřad. V závazném stanovisku se vyjádří, zda jsou prováděné úpravy v zájmu státní památkové péče přípustné a stanoví se základní podmínky, za kterých budou práce připravovány a prováděny. Obnovu kulturních památek mohou provádět fyzické osoby podle § 14a, přičemž musí být respektována technická a výtvarná struktura originálu [33].

2.3 Odvlhčení omítek historických objektů

Voda proniká do omítek především prosakováním deště, kapilárním vztlínáním z podzákladí stavby, vnikáním kondenzační vody z povrchu spojeným s výskytem hygroskopických solí. Historické budovy byly nejčastěji chráněny proti vztlínající vlhkosti např. odvedením srážkové vody, jílovými izolacemi základů atd. Pokud izolace z důvodu dožití nebo poškození při přestavbách přestane plnit svou funkci, urychluje se tak destrukce omítek. Důležité je zmínit, že většina historických staveb izolaci vůbec neměla [34].

Při odvlhčení omítek u historických staveb se v první řadě využívá účinné odvětrávání spojené s provedením svislých a vodorovných izolací a dále provedení doplňkových opatření např. sanační omítky, drenážní systémy a bloky výkvětotočivých solí [34].

Trvalé působení vlhkosti na konstrukci způsobuje degradaci stavebních materiálů a jejich následnou destrukci, ale také ovlivňuje zdravotní stav uživatelů stavby. Ti jsou vystaveni působení vznikajících hub, plísní a mechů, které vznikají při rozdílných teplotních parametrech interiéru a exteriéru objektu. Vlhkost se do objektu dostává ve formě vzdušné vlhkosti, ale především jako zemní vlhkost. Zavlhlá stavební konstrukce také vykazuje jiné technické parametry, než je tomu u konstrukce, která je ve vyhovujících podmínkách [35].

Pokud je historický objekt zavlhlý, nejčastěji se tato skutečnost projeví přítomností výkvětů solí na omítce. Soli způsobující výkvěty jsou nejčastěji chloridy, dusičnany a sírany. Ty znehodnocují objekt esteticky, ale také mohou způsobovat úplnou degradaci omítky. Výkvěty se nejčastěji tvoří v soklových partiích nebo v místech s poruchami okapů a svodů dešťové vody. Při chybném provádění oprav, mohou vzniknout výkvěty i na nové fasádě [34]. Zdroje vzniku výkvětů mohou být různé, jak krátkodobé, tak dlouhodobé. Z těchto důvodů je nutné, předem provést důkladnou analýzu salinity v konstrukci, a v případě zjištění solí, nahradit tradiční omítku, u které by došlo po určitém čase k degradaci, speciálními sanačními systémy (vícevrstvé sanační omítky) [35].

Sanační omítky mají zcela zásadní význam při řešení problému se zavlhlým a zasoleným zdivem. Intenzivní větrání, mechanické metody (podřezávání) spojené s doplňováním izolací je u členitých často poškozených základových partií prakticky neproveditelné. Jen velmi omezeně je možné aplikovat infuzní clony a elektro-fyzikální metody jsou u historických objektů nákladné [34].

Dle ČSN P 73 0610 je cílem sanace vlhkého zdiva, dosažení výrazného a trvalého snížení obsahu vlhkosti v podzemním i nadzemním zdivu staveb i v souvislých konstrukcích, a tím vytvořit podmínky pro dosažení požadovaných tepelně izolačních vlastností v objektu i požadované vlhkosti vzduchu v interiéru se sanovanými zdmi a podlahami [36].

Sanace se nejčastěji provádí kombinací přímých metod, které brání šíření a vnikání vlhkosti do konstrukce a nepřímých hydroizolačních metod, které snižují

hydrofyzikální namáhání konstrukce. Dále se přidávají doplňková technická opatření v podobě komplexního sanačního systému [36].

- **Přímé metody sanace vlhkého zdiva:**

- vkládání hydroizolace do strojně nebo ručně proříznuté spáry,
- infuzní a tlakové napouštění polyuretanové, epoxidové aj. báze do zdiva,
- instalace aktivní elektroosmózy,
- vzduchoizolační systémy, např. větrané štoly, dutiny a mezery.

- **Nepřímé metody sanace vlhkého zdiva:**

- odvodnění půdy v okolí stavební konstrukce drenáží,
- úpravy okolního terénu objektu, odvod srážkové vody od paty zdi nad terénem,
- vytvoření hydroizolačních clon a přepážek v hornině kolem objektu,
- přirozené a nucené větrání prostor,
- jímání vlhkosti z interiéru pomocí kondenzačních sušících přístrojů,
- vysoušení povrchu interiéru proudem teplého suchého vzduchu.

- **Doplňkové metody sanace vlhkého zdiva:**

- metody přímé:
 - na povrchu nebo ve struktuře jsou použité vrstvy a povlaky z hydroizolačních materiálů,
 - povrchové úpravy pomocí vodoodpudivých nátěrů a impregnací.
- metody nepřímé:
 - systém sanační omítky,
 - provádění prevence v podobě nátěrů [36].

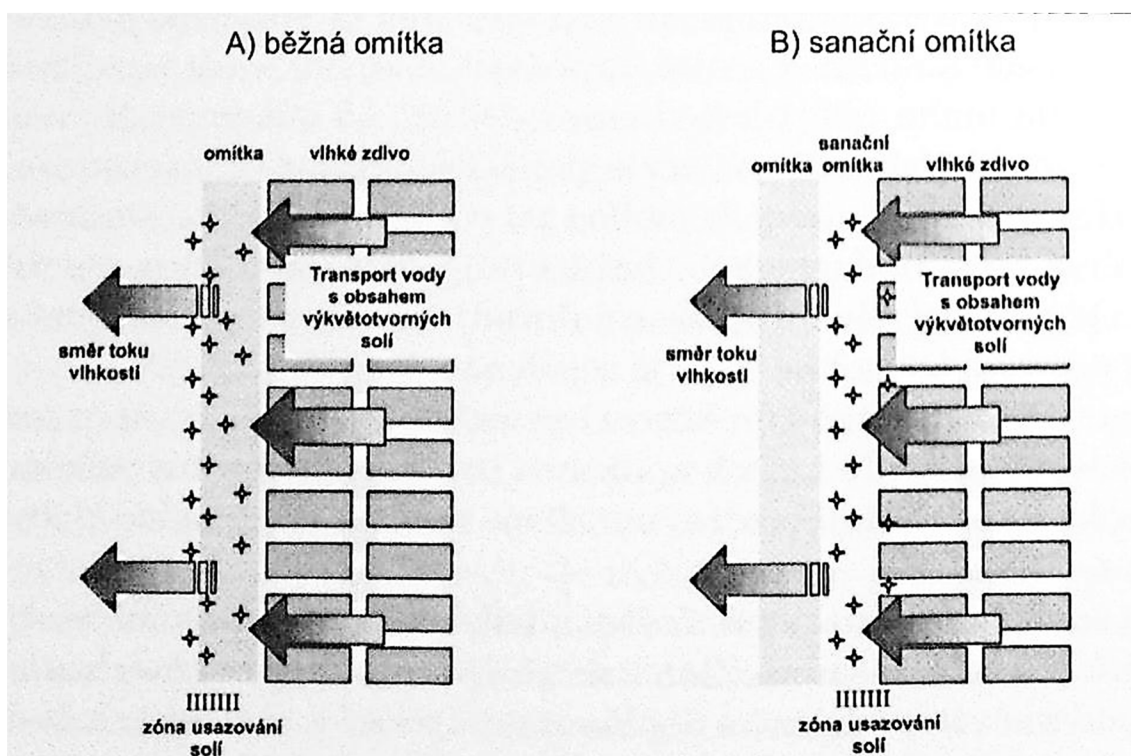
3 Sanační omítky

Při sanaci vlhkého zdiva je velmi obtížné vybrat pouze jeden způsob řešení, který bude vhodný pro všechny okolnosti. Žádná metoda sanace vlhkosti není univerzální, a proto je nutné metody kombinovat [37].

Sanační omítky se řadí mezi doplňkové metody sanace vlhkého a zasoleného zdiva. Tyto omítky využívají k omezení vztlínání zemní vlhkosti do zdiva, zvětšování poloměru pórů, a také zvětšování smáčecího úhlu. Vhodnou granulometrií a pěnidly lze připravit pórovitou omítku s vysokým obsahem pórů o velkém průměru. Díky tomu se přeruší spojitá síť jemných pórů, a tím se výrazně sníží výška vztlínání. V pórech také mohou krystalizovat soli bez nebezpečí destrukce omítky. V případě použití hydrofobizačních přísad, mají póry nesmáčivý povrch a voda do omítek neproniká vůbec nebo jen omezeně, a tím je povrch omítky suchý a bez výkvětů [1].

Sanační omítky neodstraňují vlhkost ze zdiva, ale zajišťují, aby byl povrch nepoškozený a dlouhodobě suchý. Nejčastěji se používají v případech, kdy není možné provést obnovu hydroizolace a u zdiva s různým stupněm zasolení. Sanační omítky je vhodné používat v kombinaci s obnovou hydroizolace (např. s podřezáváním, injektáží apod.), s provětrávanými vzduchovými systémy, drenážemi atd. Používají se na místech, kde je obtížné provést dodatečnou izolaci zdiva a omezit přísun vlhkosti do zdiva (např. podzemní suterénní prostory z kamene), dále v místech kde je kromě vlhkosti ve zdivu také velké množství solí a v místech smáčených odstříkující vodou [38].

Krystaly solí, které se běžně vyskytují ve vlhkém zdivu (nejčastěji chlorid sodný NaCl), jsou častou příčinou degradace porézních materiálů. Dochází k poškození, kdy tlak vznikajících krystalů solí je větší než mechanická pevnost materiálu. Tlak vyvozený krystalizací je závislý na velikosti pórů, ve kterých dochází ke krystalizaci. Jelikož se sůl přemísťuje v porézním materiálu, pouze pokud je rozpuštěna ve vodě. Během sušení jsou soli transportovány do přední části stěny, kde dochází ke krystalizaci a hromadění solí. Běžně dochází k odpařování v blízkosti povrchu stěny a dochází zde k největšímu riziku degradace. Přestože je sanační omítky považována za tzv. obětavou vrstvu, která se po určité době musí odstranit, je sledována její životnost [27].



Obr. 11 Schéma provedení vícevrstvé sanační omítky [34]

V České republice se problematikou sanace vlhkého zdiva zabývá norma ČSN P 73 0610 „Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva“, avšak jsou také respektovány směrnice „Wissenschaftlich - Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V.“, dále jen WTA. Za sanační omítkové systémy dle WTA jsou považovány pouze omítkové systémy, vyráběné ze suchých omítkových směsí, které splňují požadavky směrnice WTA 2-9-04/D. Sanační omítkové systémy, které nahrazuje směrnice WTA 2-2-91/D a 2-6-99/D. Omítky musí být vysoce porézní, propustné pro vodní páru a mít nízkou kapilární nasákavost. Jsou závislé především na homogenitě malty, které nelze přímo na staveništi dosáhnout. Proto se při použití přísad, díky kterým se vyrobí sanační omítky přímo na staveništi, již nejedná o suché omítkové směsi s označením jako sanační materiál dle WTA [39] [40].

3.1 Požadavky na sanační omítkové systémy dle WTA 2-9-04/D

Aby byla zajištěna dlouhodobá účinnost, musí být dodrženo optimální složení omítky. Závisí na druhu, tvaru a zrnitosti plniv, druhu pojiva, poměru mísení plniva a pojiva a na druhu a množství přísad a příměsí. Sanační omítky WTA musí rychle a dostatečně zatvrdnout a vyschnout, proto se používají především hydraulická pojiva.

Není příliš vhodné používat vzdušné vápno, vápenný hydrát a také latentně hydraulická pojiva či pucolány. Dále musí být dodrženy předepsané skladby a tloušťky jednotlivých vrstev, technologické přestávky a dostatečná doba (zpravidla 28 dní), na vytvrdnutí a vyschnutí. Sanační omítkový systém je účinný, pouze pokud je vlhkost kapilární a hygrokopická. Pokud voda působí hydrostatickým tlakem, sanační omítkový systém ji nemůže zabránit v pronikání. Dále se musí zajistit vhodné opatření, aby nedocházelo k poklesu teploty pod rosný bod a tím nedocházelo ke kondenzaci a provlhnutí omítky. K urychlenému transportu solí a jejich prostupu na povrch omítkového systému dochází, pokud není zajištěna relativní vlhkost okolního vzduchu nižší než 65 % [40].

Před zahájením provádění sanačního omítkového systému, se nejprve musí připravit podklad. Původní omítka se odstraní do výšky min. 0,8 m nad hranici poškození (viditelnou či stanovenou) a spáry ve zdivu se vyškrábou do hloubky 20 mm. Nakonec se zdivo mechanicky ošetří [40].

Sanační omítkový systém se skládá ze tří na sebe nanášených vrstev, přičemž každá vrstva plní své vlastnosti. Nejspodnější vrstva je podhoz, který zajišťuje adhezi k podkladu. Nejčastěji se nanáší celoplošně a poté musí splňovat požadavky, které jsou uvedeny v Tab. 4 [40].

Tab. 4 Požadavky na podhoz - WTA [38]

Hloubka průniku vody za 1 h	> 5 mm
Hloubka průniku vody za 24 h	= tloušťka zkušebního tělesa

Další vrstva je podkladní omítka WTA neboli vyrovnávací, slouží k vyrovnávání hrubých nerovností podkladu a k ukládání solí při vysoce zasoleném podkladu. Tloušťka této vrstvy je do 40 mm. V Tab. 5 jsou stanovené vlastnosti podkladní omítky dle DIN EN 998-1 a dle směrnice WTA 2-9-04/D Sanační omítkové systémy [40].

Tab. 5 Požadavky na podkladní omítku - WTA [38]

Stav	Vlastnosti	DIN EN 998-1	WTA 2-9-04/D
Čerstvá omítká	Konzistence [mm]	-	170±5
	Objem vzduchových pórů [%]	Dle výrobce	> 20
	Doba zpracovatelnosti [min]	> Dle výrobce	-
Zatvrdlá omítká	Objemová hmotnost ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Dle výrobce	-
	Hloubka vzlinutí vody h [mm]	-	> 5
	Faktor difuzního odporu prostupu vodní páry μ [-]	Dle výrobce	< 18
	Kapilární absorpce vody W_{24} [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]	-	> 1,0
	Pórovitost P [%]	-	> 45

Na podkladní omítku se nanáší vrstva sanační omítky WTA ve vrstvě cca 20 mm, která má vysokou pórovitost a hydrofobitu, díky které zabraňuje pronikání kapalně vody a solí na povrch omítky, který tak zůstane vizuálně suchý a bez poruch. Zároveň konstrukci neuzavře a umožní difúzi vodních par z konstrukce. Díky tomu nedochází ke zvyšování osmotických tlaků a vytlačování vlhkosti výše, jako při uzavření neprodyšnou vrstvou. Požadavky na sanační omítku dle WTA jsou uvedeny v Tab. 6 [38] [1].

Tab. 6 Požadavky na sanační omítky – WTA [38]

Stav	Vlastnosti	DIN EN 998-1	WTA 2-9-04/D
Čerstvá omítka	Konzistence [mm]	-	170±5
	Objem vzduchových pórů [%]	Dle výrobce	> 25
	Hmotnost čerstvé malty [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Dle výrobce	Dle výrobce
	Schopnost zadržovat vodu [%]	-	> 85
Zatvrdlá omítka	Objemová hmotnost ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Dle výrobce	< 1400
	Hloubka vzlinutí vody h [mm]	≤ 5	< 5
	Faktor difuzního odporu prostupu vodní páry μ [-]	≤ 15	< 12
	Pevnost v tlaku f_c [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	CSII	1,5–5,0
	Poměr pevností tlaku/ tahu za ohybu [-]	-	< 3
	Kapilární absorpce vody W_{24} [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]	-	> 0,3
	Kapilární absorpce vody W [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$]	$\geq 0,3$	-
	Pórovitost P [%]	-	> 40
Odolnost proti solím	-	odolává	

4 Tepelně izolační omítky

Tepelně izolační omítky se používají ke zlepšení tepelně technických parametrů obvodového pláště, jako možnost zateplení na budovách, kde by zateplovací systém působil rušivě. Mohou být také doplňkem zateplovacího systému, případně mohou být lokálně použity v oblastech, kde je nutné zlepšit tepelně izolační vlastnosti konstrukce (viz níže). Výhodou těchto omítek je, že zvyšují životnost obvodových stěn, u kterých zabraňují promrzání a omezují vliv teplotních změn, a také zvyšují tepelný odpor zdiva. Tyto omítky se dají použít jak v exteriérech, tak v interiéru a dají se provádět i dodatečně. Používají se např. k eliminaci tepelných mostů, které vznikají v okolí osazení okenního rámu [6].

Tepelně izolační omítky musí mít nízkou hodnotu součinitele tepelné vodivosti a také značnou paropropustnost. Musí splňovat podmínky snadného a rychlého nanášení a nevytvářet smršťovací trhliny.

Dle ČSN 72 2430-1 „Malty pro stavební účely Část 1: Společná ustanovení se rozlišují“ [41]:

- malty tepelněizolační $\lambda \leq 0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- malty vysoce tepelněizolační $\lambda \leq 0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- malty mimořádně tepelněizolační $\lambda \leq 0,14 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

K dosažení takto nízkých hodnot tepelné vodivosti je nutné, aby malty obsahovaly v dostatečné míře vzduchové póry. Toho lze obvykle docílit jednak pomocí provzdušňovacích a napěňovacích přísad a dále použitím lehčených plniv např. expandovaného perlitu, keramzitu, skleněnými dutými kuličkami apod. [41].

Mezi hlavní výhody tepelně izolačních malt patří to, že tvoří souvislý plášť bez výrazných tepelných mostů a snadno kopírují oblé tvary. Obvykle mají dobrou protipožární odolnost a vhodnou míru tepelné akumulace. Nevýhodou je naopak, nižší účinnost tepelněizolačních omítek, která je obvykle poloviční oproti dodatečným zateplovacím systémům na bázi pěnového polystyrenu nebo minerální plsti. Mezi další omezení patří tloušťka tepelně izolační omítky, která je omezena na maximálně 50 až 60 mm [41].

Tepelněizolační omítky je vhodné používat především na teplotně méně exponované části budov, dále pro izolaci zádveří a schodišť. Vyššího tepelného odporu zdiva lze dosáhnout, pokud se omítky použijí jak v exteriérové straně zdiva, tak na straně interiéru [41].

5 Tepelná ochrana budov

V zemích EU se spotřebuje cca 40 % energie na provoz budov a z toho 28 % se spotřebuje pouze na vytápění těchto objektů. Směrnice EP a RADY 2010/31/EP má za cíl snížit celkovou spotřebu energie při provozu budov o 20 %, zvýšení podílu výroby energie z obnovitelných zdrojů na 20 % a snížení emisí skleníkových plynů do roku 2020 alespoň o 20 % ve srovnání s hodnotami z roku 1990 podle ustanovení směrnice 406/2009/ES [42].

Legislativa v oblasti energetické náročnosti budov (dále ENB) vešla v ČR v platnost dne 1. 1. 2009, kdy do národní legislativy byla promítnuta směrnice 91/2002/ES (EPBD I). Od tohoto dne se vydávají průkazy ENB na nové budovy. V souladu s EPBD se v ČR zákonem č. 406/2000 Sb. předepisuje certifikace budov metodou hodnocení ENB. Další směrnice 2010/31/EU (EPBD II) požaduje energetickou certifikaci budov a zavádí nové požadavky, jak na nové budovy, tak i při změnách budov. Také zavádí nové pojmy v oblasti ENB např. společný obecný rámec metody výpočtu celkové ENB, uplatnění minimálních nákladově optimálních požadavků na energetickou náročnost nových a stávajících budov, energetickou certifikaci budov, pravidelnou inspekci otopných soustav a klimatizačních systémů v budovách a dále zavedení nezávislých systémů kontrol certifikátů energetické náročnosti a inspekčních zpráv. Dle směrnice 2010/31/EC musí být certifikáty energetické náročnosti vydány pro nové budovy a budovy často navštěvované veřejností. Certifikát obsahuje doporučení ke snížení ENB, které je optimální nebo efektivní vzhledem k vynaloženým nákladům. Mezi dokumenty energetického hodnocení patří průkaz energetické náročnosti budovy, energetický audit budovy a energetický posudek, což je soubor činností, jejichž výsledkem je písemná zpráva obsahující informace o posouzení plnění předem stanovených technických, ekologických a ekonomických parametrů určených zadavatelem energetického posudku včetně výsledků a vyhodnocení [42].

Aby bylo možné splnit výše zmíněné požadavky, musí se provést určitá opatření. Základem snížení energetické náročnosti budov jsou stavební úpravy, které jsou označovány jako zateplování objektu, odborně nazývané jako tepelná ochrana budov. Ta je jedním ze základních zdrojů možného snižování emisí [43].

Stavebně tepelná technika se zabývá tepelnou ochranou budov před nepříznivými účinky vnějšího prostředí v zimním a letním období, kdy se musí objekt

vytápět nebo klimatizovat a spotřeba energie je závislá na tepelné ochraně objektu [44].

Obor tepelná ochrana budov se zabývá šířením tepla a přenosem látky ve stavebních konstrukcích a prostorách budov. Dále se zabývá metodami navrhování a dimenzování stavebních konstrukcí a budov za pomoci požadovaných tepelně technických vlastností a kritérií zabezpečuje tepelnou pohodu uživatele, požadovaný teplotní a vlhkostní stav konstrukce a prevence tepelně technických poruch konstrukcí a budov [44].

Dle sbírky zákonů č. 268/2009 „vyhlášky o technických požadavcích na stavbu“ podle § 16 „Úspora energie a tepelná ochrana“ musí být budovy navrženy a provedeny tak, aby spotřeba energie na jejich vytápění, větrání nebo klimatizaci byla co nejnižší. Energetická náročnost budovy je ovlivněna tvarem, dispozičním řešením, orientací, velikostí výplňových otvorů, použitými materiály, výrobky a systémy technického zařízení budov. Při návrhu stavby je nutné respektovat klimatické podmínky dané lokality. Budovy s požadovaným stavem vnitřního prostředí musí být navrženy a provedeny tak, aby byly dlouhodobě zaručeny požadavky na jejich tepelnou ochranu. Ty musí splňovat tepelnou pohodu uživatelů, požadované tepelně technické vlastnosti konstrukcí a budov a jejich nízkou energetickou náročnost [45]. Zákon 318/2012 Sb. - novela zákona 406/2000 Sb. „o hospodaření energií“ stanovuje dle § 7 „Snižování energetické náročnosti budov“, kdy v případě změny na dokončené budově jsou stavebník nebo vlastník budovy povinni, plnit požadavky na energetickou náročnost budovy a stavebník je povinen, při podání žádosti o stavební povolení doložit průkazem energetické náročnosti budovy. Průkaz je vydán při splnění požadavků na energetickou náročnost budovy, při posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie a dále při stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy. Dále musí být vnitřní tepelné zařízení objektu vybaveno přístroji, regulujícími a registrujícími dodávku tepelné energie. A také se řídit pravidly pro vytápění, chlazení a dodávku teplé vody. Požadavky na energetickou náročnost budovy nemusí být splněny, pokud se však jedná o budovy, které jsou kulturní památkou nebo se nacházejí v památkové zóně nebo památkové rezervaci (dle zákona č. 20/1987 Sb. „o státní památkové péči, ve znění pozdějších předpisů“) a dále, pokud by s ohledem na zájmy státní památkové péče splnění některých požadavků na energetickou náročnost těchto budov, výrazně změnilo jejich charakter nebo vzhled. Tyto

skutečnosti se však musí doložit závazným stanoviskem orgánu státní památkové péče [46].

Aby bylo možné zajistit úspory energie stavebního objektu, provádí se energetický audit. Jde o soubor činností, jejichž výsledkem jsou informace o způsobech a úrovni využívání energie v budovách a dále také návrh opatření, která je potřeba realizovat pro dosažení energetických úspor. Energetický audit obsahuje hodnocení současné úrovně energetického hospodářství budov, celkovou výši dosažitelných úspor energie, návrh vybrané varianty doporučené k realizaci energetických úspor včetně ekonomického zdůvodnění a závěrečný posudek energetického auditora [42].

Vyhláška č. 148/2007 Sb. „o energetické náročnosti budov“ zpracovává směrnice EP a RADY 2002/91/ES a stanoví požadavky na ENB, porovnávací ukazatele a výpočtovou metodu stanovení ENB. Tato vyhláška dále stanovuje obsah průkazu ENB a způsob jeho zpracování. ENB se stanovuje výpočtem celkové roční dodané energie v GJ, která je potřebná na vytápění, klimatizaci, chlazení, přípravu teplé vody a osvětlení. Aby bylo možné vzájemně porovnat ENB stejného typu, stanovuje se měrná roční spotřeba energie budovy, vyjádřená poměrem celkové roční dodané energie na jednotku celkové podlahové plochy budovy v kWh·m⁻². Splnění porovnávacích ukazatelů se ověřuje a hodnotí pomocí výpočtů a měření dle ČSN 73 0540 „Tepelná ochrana budov“ [47].

Zpracování průkazu energetické náročnosti (dále jen „průkaz“) je povinen dle § 7a zajistit vlastník nebo stavitel při větších změnách na budově. Průkaz je výsledkem hodnocení celkové energetické náročnosti budovy. Hodnotí stavební řešení, a také souhrnou bilanci všech základních dodávaných energií při provozu budovy podle vyhlášky č. 148/2007 Sb. Jedná se o součet dílčích potřeb energií na vytápění, větrání, chlazení, klimatizaci, přípravu teplé vody a osvětlení. Průkaz musí obsahovat referenční hodnoty a kritéria. To umožňuje spotřebitelům porovnání a posouzení energetické náročnosti budovy, a také grafické znázornění, jejichž náležitosti popisuje vyhláška 148/2007 Sb. Dále musí být průkaz doplněn doporučeními na snížení energetické náročnosti, které jsou efektivní vzhledem k vynaloženým nákladům. Průkaz je platný po dobu 10 let od jeho vyhotovení [46].

Dle ČSN 73 0540 „Tepelná ochrana budov“, jsou stanoveny tepelně technické požadavky pro navrhování a ověřování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání. Požadavky zajišťují zejména splnění úspory energie a

tepelnou ochranu budov a také zajišťují ochranu zdraví a životního prostředí. Pro budovy památkově chráněné nebo stávající budovy uvnitř památkových rezervací platí norma přiměřená možnostem, ale nesmí docházet k poruchám a vadám při jejich užívání [48].

Dle normy ČSN 73 0540-2 „Tepelná ochrana budov- Část 2: Požadavky“, jsou stanoveny podmínky [48]:

- šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy,
 - nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce,
 - součinitel prostupu tepla,
 - průměrný součinitel prostupu tepla,
 - lineární a bodový činitel prostupu tepla,
 - pokles dotykové teploty podlahy,
- šíření vlhkosti konstrukcí,
 - zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce,
 - roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce,
- šíření vzduchu konstrukcí a budovou,
 - průvzdušnost,
 - větrání místností,
- tepelná stabilita místností,
 - pokles výsledné teploty v místnosti v zimním období,
 - tepelná stabilita místnosti v letním období.

Při provozu objektu je velmi důležité, dosahovat co největších energetických úspor, a tím chránit životní prostředí. Vztah mezi snižováním produkce CO₂ a energeticky efektivním návrhem tepelně technických vlastností objektu je velmi význačný [44].

Pro památkově chráněné budovy nebo stávající budovy uvnitř památkových rezervací je přiměřeně snížena platnost této normy, vzhledem k potřebě chránit kulturní dědictví [49].

B. Praktická část

1 Cíl práce

Diplomová práce je věnována vývoji lehkých tepelně izolačních omítek na bázi lehkého kameniva a vápenného hydrátu, které budou vykazovat velmi dobré tepelně izolační vlastnosti a budou využívány ve stavebním průmyslu při zateplování a sanaci vlhkosti především u historických objektů.

Cílem práce je vývoj omítek s optimálním poměrem tepelně izolačních a mechanických vlastností. Při vývoji těchto materiálů je snahou uplatnit alternativní latentně hydraulická pojiva, jako je vysokopecní struska, aktivovaný elektrárenský popílek či metakaolin. Z dosažených výsledků sledovaných parametrů jsou vyvozeny závěry a provedeno srovnání vlastností nově vyvinutých materiálů s tepelně izolačními a sanačními omítkami běžně dostupnými na stavebním trhu v České republice. Diplomová práce je řešena ve spolupráci s firmou Satsys Technology s.r.o.

2 Metodika práce

Praktická část byla rozčleněná do několika následujících etap:

- průzkum trhu,
- analýza vstupních surovin,
- návrh složení zkušebních záměsí,
- provedení zkušebních těles,
- provedení laboratorních zkoušek a měření,
- vyhodnocení měření a diskuze výsledků.

Na použitém lehkém kamenivu bylo před započatím výroby zkušebních vzorků provedeno stanovení zrnitosti kameniva dle ČSN EN 1015-1.

Při přípravě zkušebních vzorků byly jednotlivé složky dávkovány postupně. V první fázi byly smíchány suché složky a následně byla přidána první dávka záměsové vody, která odpovídala 90 % předpokládaného množství záměsové vody a následovalo míchání. Po odležení min. 180 s. bylo provedeno stanovení konzistence a byla přidána druhá dávka vody, která byla volena s ohledem na požadovanou konzistenci (rozlité 140 mm) a záměs byla opět zamíchána.

Na výsledné záměsi byly stanoveny vlastnosti v čerstvém stavu. Jednalo se o:

- stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty dle ČSN EN 1015-6,
- stanovení konzistence čerstvé malty dle ČSN EN 1015-3,
- stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě dle ČSN EN 1015-7.

Poté byla vyrobena následující zkušební tělesa:

- 4 x trojforma (kvádry o rozměrech 40 x 40 x 160 mm),
- 3 x forma (deska 300 x 300 x 50 mm).

Zatvrdlé vzorky byly po odformování, uloženy v laboratorním prostředí při teplotě 21 ± 2 °C a relativní vlhkosti 45 ± 5 %. Na zkušebních vzorcích bylo v pravidelných intervalech 14 a 28 dnů provedeno stanovení vybraných fyzikálních a mechanických vlastností. Na zkušebních vzorcích v zatvrdlém stavu byly provedeny následující zkoušky a měření:

- stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty dle ČSN EN 1015-10,
- stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku dle ČSN EN 1015-11,

- stanovení tepelné vodivosti λ metodou stacionární desky dle ISO 83 01 a ČSN 72 7012-3, metodou topného drátu dle ČSN EN ISO 8894-1,
- stanovení koeficientu kapilární absorpce v zatvrdlé maltě dle ČSN EN 1015-18.

3 Průzkum trhu

V rámci praktické části diplomové práce byly vybrány omítkové směsi od různých výrobců, kteří nabízejí tepelně izolační a sanační omítkové směsi na trhu v České republice. Na základě dostupných informací byly vybrány nejdůležitější fyzikálně-mechanické vlastnosti.

Tab. 7 Fyzikálně-mechanické vlastnosti tepelně izolačních omítek nabízených na trhu ČR [50] [51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58] [59]

Obchodní označení omítky	Objemová hmotnost ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	Pevnost v tlaku f_c [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	Kapilární absorpce vody c [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{0,5}$]	Faktor difúzního odporu μ [-]	Přidržnost [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]
Cemix Supertherm TO extra 077	300-400	0,1	0,4-CSI	0,4-W1	12	0,1
Cemix Supertherm TO 057	450-550	0,2	1,5-CSII	0,4-W1	15	0,1
KVK 0691 K	1050	0,13	0,4-CSI	0,4-W1	15	0,18
KVK 0690	1050	0,13	0,4-CSI	0,4-W1	10	0,18
Baumit ThermoPutz	430	0,1	1,5-CSII	W0	15	0,08
Weber Terralit	580	0,125	1,5-CSII	W1	15	0,2
KM Beta TO 502	600-800	0,12	1,5-CSII	0,4-W1	15	0,2
Daxner	300-350	0,081	0,4-CSI	x	5,5	0,04
SATSYS ThermoUM Xtra	340	0,078	1,6-CSI	W1	8	0,35
SATSYS ThermoUM	380	0,080	1,6-CS II	W1	10	0,35
Maxit therm 74 M	700	0,1	< 1,7-CSII	W1	20	0,08
Sakret THP	700	0,13	CSII	W0	20	0,08
Salith Thermo Comfort	420	0,09	0,4-CSI	0,208-W1	7	0,35
Hasit Wärmedämmputz 850	240-300	0,07	CSI	W1	15	0,1
Hasit Wärmedämmputz 852	450-550	0,12	CSI	W1	15	0,1

Tepelně izolační omítky, které jsou nabízeny na českém trhu, mají objemovou hmotnost v zatvrdlém stavu v rozmezí od 240-1050 kg·m⁻³, pevnosti v tlaku se pohybují v rozmezí tříd CSI a CSII. Součinitel tepelné vodivosti λ je v rozmezí tříd T1 a T2.

Tab. 8 Fyzikálně-mechanické vlastnosti tepelně izolačních omítek nabízených na trhu ČR [51] [57] [50] [52] [53] [59] [60] [61] [62]

Obchodní označení omítky	Objemová hmotnost ρ [kg·m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Pevnost v tlaku f_c [N·mm ⁻²]	Kapilární absorpce vody c [kg·m ⁻² ·min ^{0,5}]	Faktor difúzního odporu μ [-]	Přidržitost [N·mm ⁻²]	Pórovitost [%]
KVK O210 K	1200	0,42	1,5-CSII	> 0,3 W1	12	0,18	40
SATSYS Thermosan	1400	0,090	1,6-CSI	0,208 W1	12	0,51	40
Sakret SAP	1000	x	1,5-CSII	≥ 0,3 W1	15	0,2	40
Ceresit CR 62	890	0,18	CSII	≥ 0,3 W1	15	0,3	40
Ceresit CR 61	1300	0,47	CSIII	W0	13	0,3	45
Knauf Kbelosan J	1200	0,47	CS II	> 0,3 W1	12	0,2	40
Premix Z-SAN 20	1350	x	1,1-CSI	> 0,3 W1	12	0,4	40
Cemix SO WTA 024	1100-1400	0,41	1,5-CSII	> 0,3 W1	12	0,2	40
Cemix SO 054	1000-1200	0,33	1,5-CSII	> 0,3 W1	12	0,2	40
Baumit SanovaPutz W	1150	0,4	2,5-CS II	≥ 0,3 W1	12	0,15	40
Maxit San Grund	1250	0,54	< 5,0- CS II	W1	18	0,08	40
Weber.san sanační	1250	0,3	CSII	W0	12	0,25	40
Weber.san super	1100	0,36	CSII	W2	12	0,3	40
Hasit Sanier Wandputz 210	1100-1300	0,47	3,5-CSII	> 0,3 W1	12	0,3	40
Hasit SanierPutz 208	1200-1400	0,39	3,5-CS II	> 0,3 W1	18	0,3	45

Někteří výrobci neudávali přesné hodnoty fyzikálně-mechanických vlastností, ale pouze zatřídění do kategorií dle norem. Někteří výrobci uvádějí pouze hodnoty odpovídající daným kategoriím, nikoliv přesné hodnoty. V tomto případě byly na straně bezpečnosti voleny nižší hodnoty.

U sanačních omítek nabízených na našem trhu se hodnoty objemové hmotnosti v zatvrdlém stavu pohybují v rozmezí hodnot $890-1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, Součinitel tepelné vodivosti λ je v rozmezí hodnot $0,09-0,54 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, pevnosti v tlaku se pohybují v rozmezí tříd CSI a CSII, stejně jako u tepelně izolačních omítek. U sanačních omítek je navíc udávána pórovitost, která je velmi důležitá a pohybuje cca kolem 40 %. Jako pojiva u sanačních i tepelně izolačních omítek je nejčastěji použitý cement a vápenný hydrát. Jako lehčené plnivo se nejčastěji používá expandovaný perlit.

Vzhledem ke zjištěným vlastnostem omítek na Českém trhu, by měly mít nově vyvíjené materiály lepší tepelně izolační a mechanické vlastnosti s přihlédnutím na využití v oblasti památkové péče a s ohledem na normy ČSN EN 998-1 a WTA 2-9-04/D.

4 Popis provedených zkoušek

Zkoušky byly provedeny v souladu se zkušebními postupy dle: ČSN EN 1015-1, ČSN EN 1015-3, ČSN EN 1015-6, ČSN EN 1015-7, ČSN EN 1015-10, ČSN EN 1015-11, ČSN EN 1015-18, ČSN EN 1015-19, ČSN 72 5010, ISO 83 01 a ČSN 72 7012-3, ČSN EN ISO 8894-1.

4.1 Zrnitost kameniva

Stanovení zrnitosti kameniva se provádí dle ČSN EN 1015-1 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 1: Stanovení zrnitosti (sítovým rozborem)“.

Podstata zkoušky:

Na podložní misku se položí sada zkušebních sít, které mají zvětšující se rozměry ok. Zkušební vzorek se umístí do horního síta a následně se síty pohybuje, dokud nedochází ke změně hmotnosti zbytků na každém síte a zbytky se zváží [63].

Zkušební síta mají velikost ok: 8,00; 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,125; 0,063 mm [63].

Postup zkoušení:

Vysušený vzorek se umístí na sadu sít a prosévání se provádí, dokud propad každým sítem při nepřerušném prosévání po dobu 1 minuty není větší než 0,2 % hmotnosti vzorku. Materiál nesmí být okem síta protlačován silou [63].

4.2 Konzistence čerstvé malty

Stanovení konzistence čerstvé malty se provádí dle ČSN EN 1015-3 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím strásacího stolku)“.

Podstata zkoušky:

Hodnota rozlití se určuje změřením průměru rozlitého zkušebního vzorku čerstvé omítky, který je umístěný na předepsané desce strásacího stolku pomocí předepsaného kovového kužele po předepsaném počtu svislých pádů. Deska stolku se zvedá a následně padá volným pádem z předepsané výšky [64].

Postup zkoušení:

Deska i vnitřní povrch kovového kužele se musí před každou zkouškou očistit vlhkou látkou a osušit. Následně se kovový kužel umístí do středu desky střešovacího stolku a ve dvou vrstvách se naplní čerstvou maltou. Každá vrstva se lehce zhutní 10 údery dusadlem. Rovnoměrně naplněný kužel se musí přitlačovat k desce a přebývající malta se musí pomocí špachtle odstranit. Deska se opět očistí a osuší a po 15 s se kužel rovnoměrně pomalu zvedne. Malta na střešacím stolku se 15 nárazy s konstantní frekvencí zdvihu cca 1 s rozlije. Měří se průměr koláče ve dvou na sebe kolmých směrech. Výsledek se udává s přesností na 1 mm [64].



Obr. 12 Stanovení konzistence čerstvé malty

4.3 Obsah vzduchu v čerstvé maltě

Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě se provádí dle ČSN EN 1015-7 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě“.

Podstata zkoušky:

Malta se umístí do předepsané měřicí nádoby. Nad povrch vzorku se umístí voda a tlakovým vzduchem se působí na vzduch rozptýlený v pórech malty. Hladina vody poklesne a určuje objem vzduchu, který je vytlačený z malty [65].

Postup zkoušení:

Měřicí nádoba se celá naplní zkušební maltou ve čtyřech stejných vrstvách a každá vrstva se zhutní 10 údery dusadlem. Vnější část nádoby se očistí a svorkami se připevní víko. Uzavře se vyrovnávací ventil. Ventilem A se naplní nádoba vodou tak, aby byla voda nad maltou. Ventil B zůstává otevřený, dokud se nevytlačí veškerý vzduch (vytékající voda je bez vzduchových bublin). Do vzduchové komory se natlačí vzduch a oba ventily se uzavřou. Následně se otevře vyrovnávací ventil mezi vzduchovou komorou a nádobou se vzorkem. Z kalibrovaného tlakoměru se odečte obsah vzduchu s přesností 0,1 % [65].



Obr. 13 Měření obsahu vzduchu v čerstvé maltě

4.4 Objemová hmotnost čerstvé malty

Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty se provádí dle ČSN EN 1015-6 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty”.

Podstata zkoušky:

Objemové hmotnosti čerstvé malty se stanovují jako poměr její hmotnosti a objemu nádoby, do které je malta uložena a zhutněna předepsaným způsobem [66].

Postup zkoušení:

Prázdná měřicí nádoba se nejprve zváží. Poté se vloží malta do poloviny nádoby, která se následně zvedne do výšky 30 mm a pustí volným pádem.

Toto se 10krát opakuje a poté se naplní nádoba celá, postup zhutnění se opakuje. Část přebytečné malty se odstraní špachtlí a nádoba se očistí. Nádoba s maltou se zváží s přesností na 1 g [66].

Objemové hmotnost čerstvé omítky ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V_v}$$

ρ ...objemová hmotnost omítky [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

m_1 ...hmotnost měřicí nádoby [g]

m_2 ...hmotnost měřicí nádoby naplněné omítkou [g]

V_v ...objem měřicí nádoby [l]

Výsledek se zaokrouhlí na $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

4.5 Objemová hmotnost zatvrdlé malty

Stanovení objemové hmotnosti zatvrdlé malty se provádí dle ČSN EN 1015-10 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty”.

Podstata zkoušky:

Objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty se stanovují jako poměr hmotnosti ve vysušeném stavu a objemu, který vzorek zaujímá po ponoření do vody [67].

Postup zkoušení:

Zkušební vzorek se vysuší v sušárně při teplotě $105\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Objemová hmotnost suché zatvrdlé omítky ρ_v [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

$$\rho_v = \frac{m_{s,dry}}{V_s}$$

ρ_v ... objemová hmotnost suché zatvrdlé omítky [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

$m_{s,dry}$... hmotnost zkušební vzorku vysušeného v sušárně [kg]

V_s ... objem zkušební vzorku [m^3]

Výsledek se zaokrouhlí na $10 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

4.6 Pevnost v tahu za ohybu a tlaku

Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a tlaku se provádí dle ČSN EN 1015-11 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku“.

Podstata zkoušky:

Pevnost zatvrdlé malty v tahu za ohybu se stanovuje třibodovým zatěžováním zkušební trámečku do porušení. Pevnost v tlaku je zkoušena ze dvou částí, které zbyly z pevnosti v tahu za ohybu.

4.6.1 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Postup zkoušení:

Zkušební vzorek je trámeček o rozměru 160 x 40 x 40 mm. Zhotoví se tři tělesa, která se zkouší po 28 dnech od výroby. Očištěný vzorek se uloží na dva ocelové podpěrné válce s délkou cca 45 mm a průměrem ($10\pm 0,5$) mm, které jsou od sebe vzdálené $100,0\pm 0,5$ mm. Třetí ocelový válec byl uprostřed mezi oběma válcovanými podpěrami. Zkušební vzorek se umístí na podpěry kolmo na směr zhuštění a rovnoměrně se zatěžuje rychlostí $10 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$ až $50 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, aby k porušení došlo za 30 s až 90 s.

Stanovení pevnosti v tahu za ohybu [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

$$f = 1,5 \cdot \frac{Fl}{bd^2}$$

f ... pevnost v tahu za ohybu [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

F ... maximální zatížení, které působí na zkušební těleso [N]

l ... vzdálenost mezi osami podpěrných válců [mm]

b ... šířka zkušební tělesa [mm]

d... výška zkušební tělesa [mm]

Výsledek se zaokrouhlí na $0,05 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ u každého zkušební tělesa. Průměr hodnot se zaokrouhlí na $0,1 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$.

4.6.2 Stanovení pevnosti v tlaku

Postup zkoušení:

Vzorek se zkouší po 28 dnech od výroby. Zkušební vzorek se vloží do lisu, aby přesahoval o $16\pm 0,1$ mm hranu tlačných desek, nebo uložených destiček. Zkušební vzorek se umístí na destičky kolmo na směr zhutnění a rovnoměrně se zatěžuje rychlostí $50 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$ až $500 \text{ N}\cdot\text{s}^{-1}$, aby došlo k porušení za 30 až 90 s.

Stanovení pevnosti v tlaku [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

$$f_c = \frac{F_c}{A}$$

f_c ... pevnost v tlaku [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]

F_c ... maximální dosažené zatížení [N]

A... plocha tlačných desek [mm^2]

Výsledek se zaokrouhlí na $0,05 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ u každého zkušební tělesa. Průměr hodnot se zaokrouhlí na $0,1 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$.

4.7 Součinitel tepelné vodivosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti λ se provádí dle ISO 83 01 a ČSN 72 7012-3 „Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky - Část 3: Metoda měřidla tepelného toku“. Druhá metoda Stanovení součinitele tepelné vodivosti λ se provádí dle ČSN EN ISO 8894-1 „Žáruvzdorné materiály – Stanovení tepelné vodivosti - Část 1: Metoda topného drátu (křížové uspořádání a uspořádání s odporovým teploměrem)“.

4.7.1 Metoda měřidla tepelného toku

Podstata zkoušky:

Ve zkušebním vzorku (dále zk.) je třeba navodit ustálený teplotní stav a na základě průměrných hodnot elektrického příkonu topného elementu měrné desky, účinné plochy topné desky, teploty vztažené plochy teplého povrchu zk. vzorku, teploty vztažené plochy chladného povrchu zk. vzorku a tloušťky zk. vzorku, lze výpočtem stanovit hodnotu součinitele tepelné vodivosti zk. vzorku. U metody měřidla tepelného toku je hodnota součinitele tepelné vodivosti vyjádřena z hustoty [10].

Postup zkoušení:

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsou stanoveny pro střední teplotu 10 °C stacionární metodou desky. Je použit přístroj Lambda 2300, Holometrix Micromet Inc., USA. Zkušební vzorky jsou desky o rozměrech 300 x 300 x 40 mm, které jsou před zkouškou zbrušeny tak, aby byl dokonalý kontakt vrchní i spodní části desky. Následně jsou desky vysušeny při 65 °C a poté i při teplotě 105 °C [10].

Hustota tepelného toku q_d [10].

$$q_d = U \cdot k_m$$

U...průměrná hodnota napětí na obou měřidlech hustoty tepelného toku [V]

k_m ...kalibrační konstanta [$W \cdot m^{-2}$]

Součinitel tepelné vodivosti λ_{sam} [10]

$$\lambda_{sam} = \frac{U \cdot k_m \cdot d_m}{\theta_{hd} - \theta_{cd}}$$

λ_{sam} ... hodnota součinitele tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

d_m ...průměrná hodnota tloušťky zkušební vzorku [m]

θ_{hd} ... výpočtová hodnota povrchové teploty teplé strany zkušební vzorku [°C]

θ_{cd} ... výpočtová hodnota povrchové teploty chladné strany zkušební vzorku [°C].

4.7.2 Metoda topného drátu

Jedná se o metodu nepřímou, neboť měřicí soustava je složena ze dvou ohraničených poloprostorů. Jedná se o zkušební sondu definovaných vlastností, ve které je umístěn topný drát a měřicí termočlánek a zkušební vzorek. Měření se provádí na zk. vzorcích o rozměrech 160 x 40 x 40 mm. Měření je prováděno na měřícím přístroji Shotherm japonské firmy Shova Denco. Vlastnosti zkušební sondy jsou při všech měřeních konstantní, proto lze tyto přístroje kalibrovat dvěma referenčními materiály, u kterých je známá hodnota tepelné vodivosti λ_1 a λ_2 [10].

$$b = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{x_2 - x_1}$$

$$a = \lambda_1 - b \cdot \lambda_2$$

λ_1 a λ_2 ...známá hodnota součinitele tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]

x_2 a x_1 ...okamžitá rychlost regulárního ohřevu

$$x = \frac{\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)}{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1}$$

Hodnota součinitele tepelné vodivosti λ zk. materiálu se určí pomocí kalibračních konstant dle vztahu [10]:

$$\lambda = a + b \cdot x$$

4.8 Koeficient kapilární absorpce

Stanovení koeficientu kapilární absorpce se provádí v souladu s ČSN EN 1015-18 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě“.

Podstata zkoušky:

Koeficient kapilární absorpce vody se stanovuje na trámečcích za stanovených podmínek při atmosférickém tlaku. Po vysušení do ustálené hmotnosti se jedna plocha zk. vzorku ponoří do vody s hloubkou 5 až 10 mm na stanovenou dobu a stanovuje se zvyšování hmotnosti zk. vzorku [68].

Postup zkoušení:

Zkušební vzorky se umístí do misky s vodou o výšce hladiny 5 až 10 mm, lomovou plochou dolů. Mezi dno a zk. vzorky se umístí čtyři podložky a výška hladiny vody se udržuje po celou dobu zkoušky. Zk. vzorky se vkládají do vody v šikmé poloze, aby byly odstraněny vzduchové bubliny a zaručil se tak dokonalý kontakt povrchu vody s povrchem lomové plochy zk. vzorku. Pokud se jedná o jiné než sanační malty, vzorky se vyjmou po 10 a 90 min. a následně se zvaží. V případě sanační malty se z misky vyjmou až po 24 hod. a zvaží se. Ihned poté se každé těleso podélně rozlomí a s přesností na 1 mm se změří výška nasáklé vody [68].

Koeficient kapilární absorpce se vypočítá ze vztahu [68]:

Pro jiné než sanační malty [68]:

$$C = 0,1 * (M_{90} - M_{10})$$

C...koeficientu kapilární absorpce vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$]

M_{10} ...hmotnost nasáklého zkušebního tělesa po 10 minutách [g]

M_{90} ...hmotnost nasáklého zkušebního tělesa po 90 minutách [g]

Pro sanační malty [68]:

$$C = 0,625 * (M_{24} - M_0)$$

C... koeficientu kapilární absorpce vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$]

M_0 ... hmotnost vysušeného zkušební tělesa [g]

M_{24} ... hmotnost nasáklého zkušební tělesa po 24 hodinách [g]

Výška nasáklé vody se uvádí v mm [68].

5 Návrh vstupních surovin

Na základě provedeného výzkumu trhu bylo zjištěno, že výrobci prodávající SMS, používají jako pojivo především cement a vápenný hydrát. V případě plniv se nejvíce uplatňují expandovaný perlit a expandovaný polystyren. Vzhledem k tomu, že vyvíjená omítková malta se bude aplikovat především na historicky cenné objekty, nejsou tyto materiály k tomuto použití vhodné. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2. „Údržba a ochrana historických památek“, nová omítka by se měla svým složením a materiály podobat, co nejvíce té původní.

Receptura vyvíjené omítky vycházela z receptury omítky ThermoUM firmy Satsys Technology, která je složena z cementu, vápenného hydrátu, lehkého kameniva a modifikačních přísad. V rámci diplomové práce byla snaha modifikovat recepturu výše uvedené omítky s ohledem na:

- zlepšení tepelně izolačních vlastností, se zachováním pevnosti v tlaku $f_c \geq 0,4 \text{ N.mm}^{-2}$ (třída pevnosti v tlaku - CSI dle ČSN EN 998-1)
- zlepšení poměru tepelně izolačních a mechanických vlastností,
- provedení náhrady cementu jinými alternativními pojivy, která budou vhodná pro výrobu tepelně izolační a sanační omítky určené na objekty památkové péče.

Vzhledem ke snížení ceny nově vyvíjené omítky byl cement bílý 52,5 R nahrazen cementem 42,5 R, a také alternativními latentně hydraulickými pojivy, které mají nižší pořizovací cenu. Přestože je cena metakaolinu vyšší než cena cementu, byl vybrán, jako náhrada za cement na základě předchozích zkušeností (na základě dřívějších výzkumných prací provedených na VUT v Brně [39]), kdy bylo zjištěno, že použití metakaolinu, jako náhrady za cement, zlepšuje poměr tepelně izolačních a mechanických vlastností.

Jedná se o aktivovaný elektrárenský popílek, metakaolin a vysokopecní jemně mletou strusku. Dále byl použit vápenný hydrát a vápenec. Jako plnivo do tepelně izolačních omítek by mělo mít lehké kamenivo především nízkou objemovou hmotností a také nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti. V případě použití na historických objektech, by kamenivo mělo být pouze na přírodní bázi. Z tohoto důvodu bylo zvoleno kamenivo na bázi odpadního skla.

Jedná se o granulát z expandovaného skla, které je vyráběno z recyklovaného skla. Upravené a rozdrcené sklo se jemně rozemele, zamíchá a zhutní. Dále se

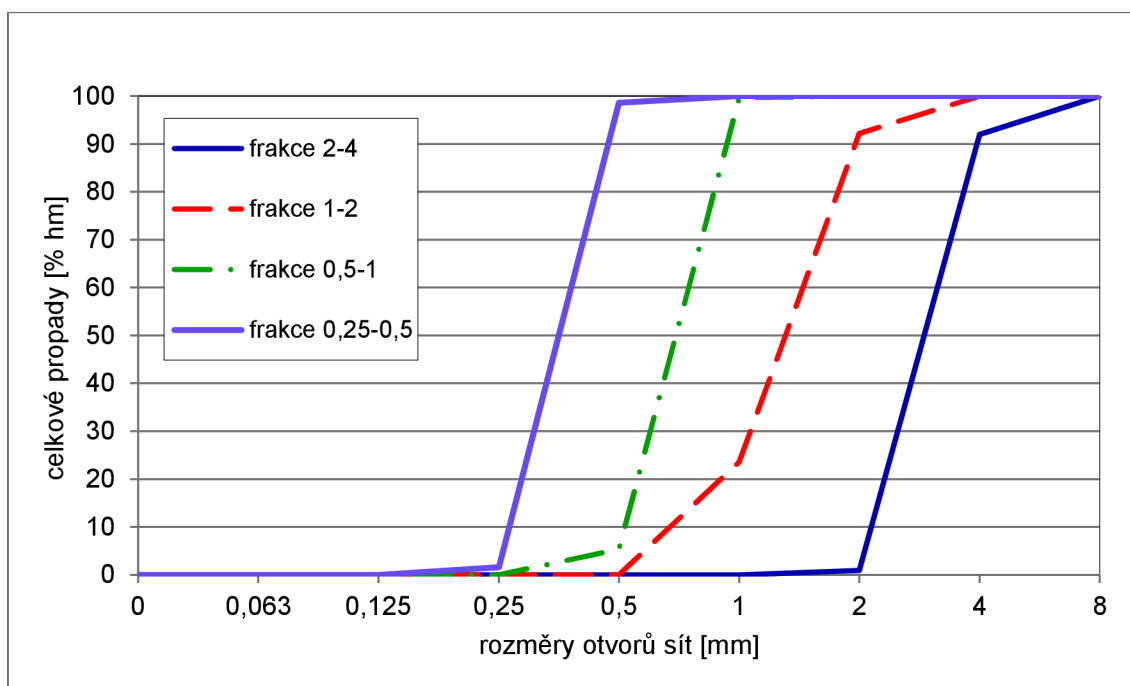
spéká a expanduje v peci při teplotách 750-900 °C. Výsledný produkt je ekologický a vyroben z minerálních surovin. Obchodní název tohoto kameniva je Liapor a je na našem trhu nabízeno v několika frakcích. Zrno je oválné a uzavřené s pevností v tlaku průměrně 3 N·mm⁻². Součinitel tepelné vodivosti λ má hodnotu 0,07 W·m⁻¹·K⁻¹. Chemické složení kameniva je cca 71 % SiO₂; 13 % Na₂O; 8 % CaO. Kamenivo také obsahuje Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O. Třída hořlavosti u tohoto materiálu je A1. Materiál je odolný proti kyselinám, louhům a organickým rozpouštědlům. Odolný je proti mrazu a tvarově stálý až do 750 °C [69].



Obr. 14 Ukázka frakcí kameniva Liaver [69]

K výrobě tepelně izolační omítky byly použity kameniva Liaver o velikosti frakcí 2–4; 1–2; 0,5–1; 0,25–0,5 mm s rozdílným zastoupením frakcí u daných záměsí.

Kamenivo bylo dodáno od výrobce Liaver GmbH & Co KG. V rámci diplomové práce byly provedeny síťové rozbory, viz Graf 1.



Graf 1 Síťový rozbor expandovaného skla Liaver

6 Zkušební receptury

Pro nalezení nejvhodnějšího složení omítkové směsi, bylo navrženo celkem 13 zkušebních receptur. Tyto receptury měly rozdílný druh pojiv a rozdílné dávkování frakcí kameniva Liaver. Nejvhodnější receptura měla nejlepší poměr tepelně izolačních a mechanických vlastností a současně měla funkci sanace zavlhlých historických objektů.

- lehké kamenivo: Liaver, Liaver GmbH & Co KG frakce: 2-4; 1-2; 0,5-1; 0,25-0,5 mm,
- vápenný hydrát: DL 80-S, Dolvap, s.r.o.,
- cement: CEM I 42,5 R Mokrá, Českomoravský cement, a.s.,
- metakaolin: Mefisto K05, České lupkové závody a.s.,
- vysokopeční jemně mletá granulovaná struska: Kotouč Štramberk, spol. s r.o.,
- aktivovaný elektrárenský popílek: Dastit Technology s.r.o.,
- vápenec mletý: druh 7/V, Carmeuse Czech Republic s.r.o.,
- lehké kamenivo: Expandovaný perlit EP-150, Perlit, spol. s r.o.
- chemie: (methylceluloza, polymerní disperze a provzdušňovací přísada) přísady dodané firmou Satsys Technology,
- voda: z vodovodního řádu.

Pro experimentální část byly namíchány zkušební receptury s různým množstvím složek tak, aby splňovaly požadavky na stanovení konzistence čerstvé malty dle ČSN EN 1015-3 a hodnota rozlití byla 140 mm. U každé receptury bylo voleno množství záměsové vody individuálně, aby bylo dosaženo požadované konzistence.

Bylo navrženo celkem 13 receptur zkušebních záměsí, které se od sebe lišily množstvím a druhem pojiva a také rozdílnými dávkami frakcí kameniva. U všech receptur bylo zvoleno konstantní množství chemie.

Popis provedených zkušebních záměsí

Zkušební záměsí vycházely ze složení referenční receptury. U devíti záměsí bylo použito shodné množství chemie, vápenného hydrátu a pojiva, jako u referenční receptury. Měnilo se množství jednotlivých frakcí lehkého kameniva Liaver, vápence a vody. U tří záměsí byl použit expandovaný perlit. Cement byl u šesti záměsí nahrazen alternativním pojivem: jemně mletá struska, aktivovaný

elektrárenský popílek a metakaolin. U tří záměsí byla zvýšena dávka vápenného hydrátu a snížena dávka alternativního pojiva. Změny oproti referenční receptuře jsou popsány níže:

R1-R... referenční receptura,

R2-RE... expandovaný perlit,

R3-F... upravená křivka zrnitosti dle Fullera,

R4-E... upravená křivka zrnitosti dle Empa I,

R5-EI... upravená křivka zrnitosti dle Empa I + lehké kamenivo Liaver frakce 2-4 mm,

R6-M... cementové pojivo nahrazeno metakaolinem,

R7-AEP... cementové pojivo nahrazeno aktivovaným elektrárenským popílkem,

R8-RPE... Liaver frakce 0,25-0,5 mm je nahrazena expandovaným perlitem,

R9-FPE... upravená křivka zrnitosti dle Fullera + expandovaný perlit,

R10-JMS... cementové pojivo nahrazeno jemně mletou struskou,

R11-M1... zvýšená dávka vápenného hydrátu, snížená dávka metakaolinu,

R12-JMS1... zvýšená dávka vápenného hydrátu, snížená dávka vysokopecní jemně mleté strusky,

R13-AEP1... zvýšená dávka vápenného hydrátu, snížená dávka aktivovaného elektrárenského popílku

Přesné množství použitých složek u jednotlivých zkušební záměsí je popsáno v Tab. 9.

Tab. 9 Přehled jednotlivých složek zkušebních záměsí

Receptura	R1-R	R2-PE	R3-F	R4-E	R5-E1	R6-M	R7-AEP	R8-RPE	R9-FPE	R10-JMS	R11-M1	R12-JMS1	R13-AEP1
Liaver 0,25-0,5	298,3	292,4	1090,4	1145,2	651,1	298,3	298,3		1075,2	298,3	298,3	298,3	298,3
Liaver 0,5-1	2088,1	2046,5	839,0	826,8	476,9	2088,1	2088,1	2088,1	827,4	2088,1	2088,1	2088,1	2088,1
Liaver 1-2	3420,5	3352,4	3142,8	4804,9	2569,7	3420,5	3420,5	3420,5	3098,9	3420,5	3420,5	3420,5	3420,5
Liaver 2-4					3170,0								
Perlit 0,315-2,5		139,4						298,3	99,4				
Vápenný hydrát	287,9	287,9	287,9	287,9	287,9	287,9	287,9	287,9	287,9	287,9	685,40	685,40	685,40
Vápenec	1193,2	1169,4	1927,8	223,2	132,1	1193,2	1193,2	1193,2	1900,0	1193,2	1193,2	1193,2	1193,2
CEM I 42,5 R	1392,7	1392,7	1392,7	1392,7	1392,7			1392,7	1392,7				
JMS										1392,7		995,20	
Metakaolin						1392,7					995,20		
EI. Popílek							1392,7						995,20
Chemie	173,4	173,4	173,4	173,4	173,4	173,4	173,4	173,4	173,4	173,4	173,4	173,4	173,4
Voda	4620	4160	3500	4500	4200	5950	4200	3300	3200	4120	5700	4350	4650

7 Výsledky měření

Na zkušebních vzorcích bylo provedeno stanovení vlastností v čerstvém a zatvrdlém stavu viz kapitola 4 „Popis provedených zkoušek“. Měření bylo provedeno u každé zkušební záměsi v čerstvém stavu, po 14 a po 28 dnech.

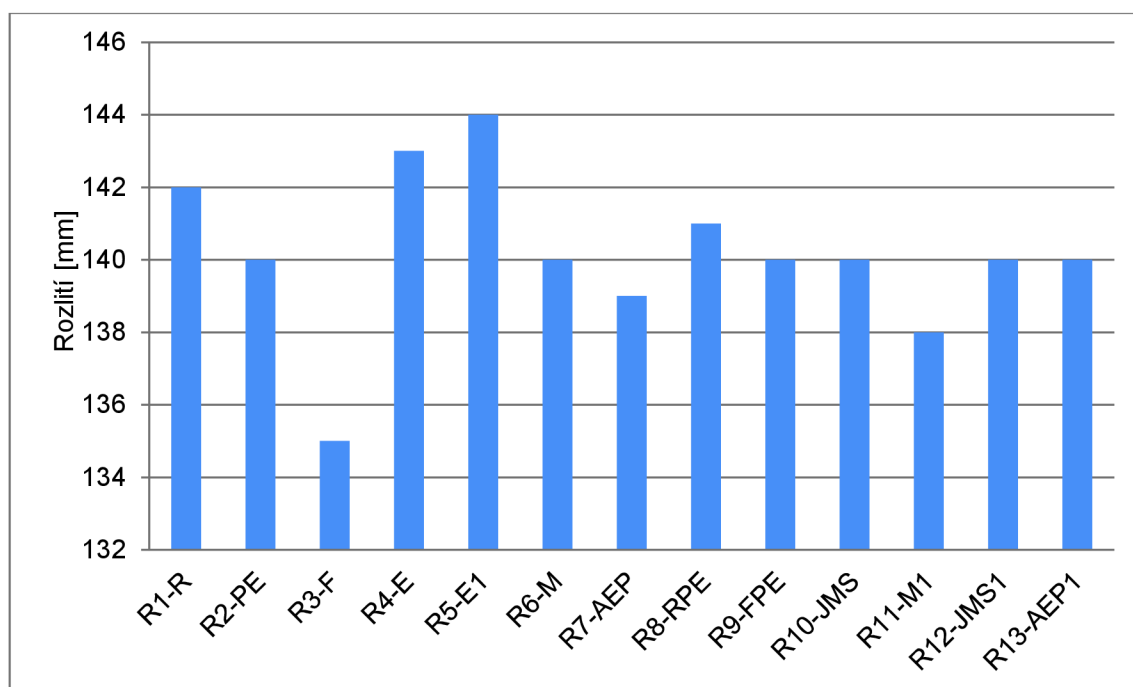
7.1 Stanovení vlastností zkušebních vzorků v čerstvém stavu

Na zkušebních záměsích v čerstvém stavu bylo provedeno stanovení konzistence dle ČSN EN 1015-3 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)“.

Záměsová voda byla dávkovaná individuálně u každé receptury se snahou dosáhnout konzistence/rozlití 140 mm, proto se zkouška rozlití prováděla během míchání, dokud nebylo této hodnoty dosaženo.

Tab. 10 Přehled naměřených hodnot rozlití u jednotlivých zkušebních záměsí

Receptura	R1-R	R2-PE	R3-F	R4-E	R5-E1	R6-M	R7-AEP	R8-RPE	R9-FPE	R10-JMS	R11-M1	R12-JMS1	R13-AEP1
Rozlití [mm]	142	140	135	143	144	140	139	141	140	140	138	140	140



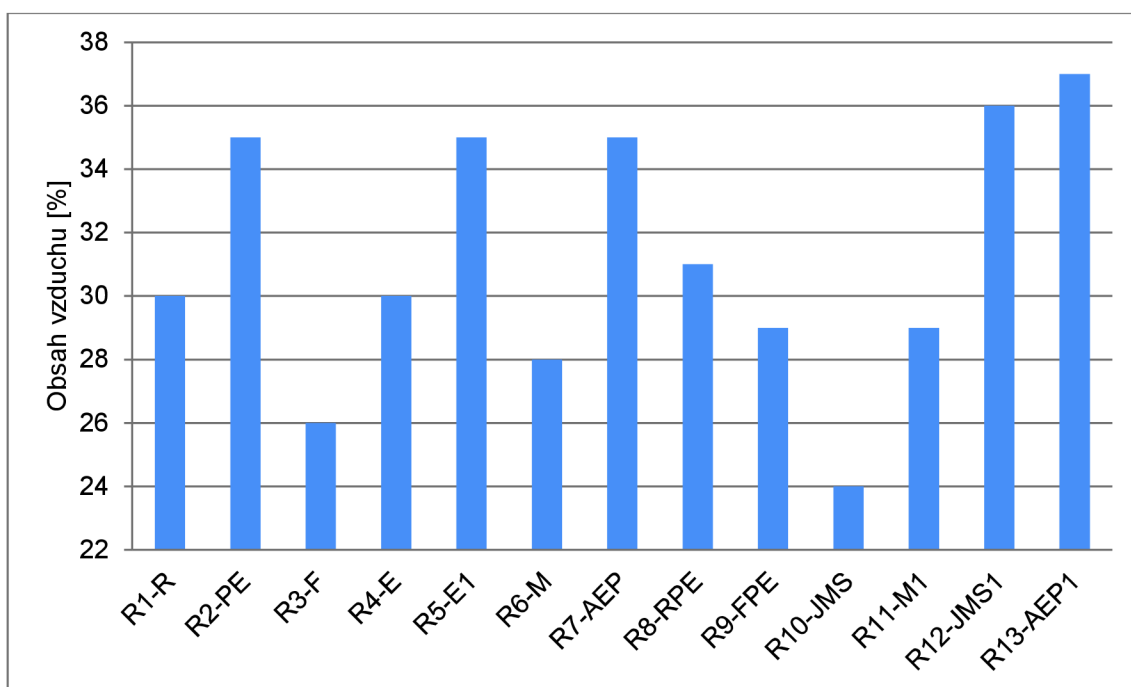
Graf 2 Přehled naměřených hodnot rozliti u jednotlivých zkušebních záměsí

Hodnota rozliti čerstvé malty se pohybovala u všech zkušebních záměsí mezi 135 a 144 mm. U referenční receptury byla hodnota rozliti 142 mm. Největší hodnotu rozliti měla receptura R5-E1 a to 144 mm a nejmenší hodnota rozliti byla naměřena 135 mm a to u receptury R3-F .

Dále bylo provedeno stanovení obsahu vzduchu dle ČSN EN 1015-7 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě“.

Tab. 11 Přehled naměřených hodnot obsahu vzduchu u jednotlivých zkušebních záměsí

Receptura	R1-R	R2-PE	R3-F	R4-E	R5-E1	R6-M	R7-AEP	R8-RPE	R9-FPE	R10-JMS	R11-M1	R12-JMS1	R13-AEP1
Obsah vzduchu [%]	30	35	26	30	35	28	35	31	29	24	29	36	37



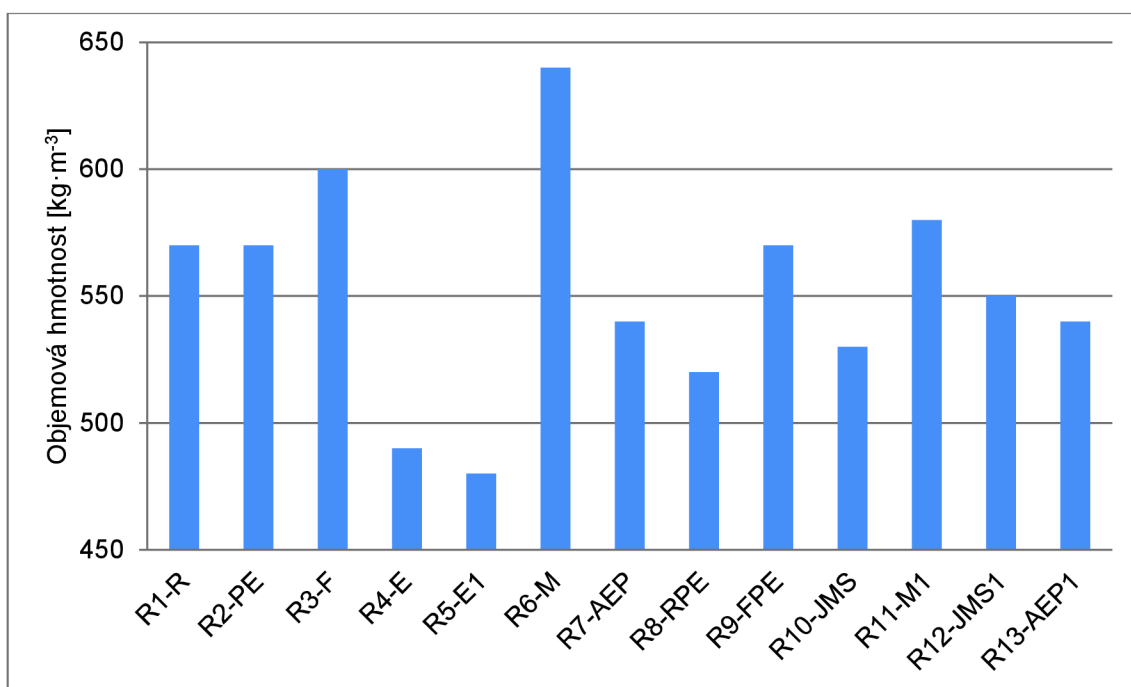
Graf 3 Přehled naměřených hodnot obsahu vzduchu u jednotlivých zkušebních záměsí

U referenční receptury byl obsah vzduchu naměřen 30 %. Nejvyšší obsah vzduchu byl naměřen u zkušební receptury R13-AEP1, kde byla naměřena hodnota 37 %. Nejnižší hodnota obsahu vzduchu byla zjištěna u receptury R10-JMS a to 24 %.

Poslední provedenou zkouškou v čerstvém stavu bylo stanovení objemové hmotnosti dle ČSN EN 1015-6 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty“.

Tab. 12 Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních záměsí

Receptura	R1-R	R2-PE	R3-F	R4-E	R5-E1	R6-M	R7-AEP	R8-RPE	R9-FPE	R10-JMS	R11-M1	R12-JMS1	R13-AEP1
Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	570	570	600	490	480	640	540	520	570	530	580	550	540



Graf 4 Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních záměsí

Nejnižší objemová hmotnost (OH) byla u receptur R4-E a R5-E1, které měly OH 480 a 490 kg·m⁻³. Referenční receptura R1-R měla OH 570 kg·m⁻³. Tyto dvě záměsí obsahovaly velmi malé množství vápence oproti ostatním recepturám. Nejvyšší OH měla receptura R6-M a to 640 kg·m⁻³, která jako pojivo obsahovala metakaolin.

Z naměřených výsledků lze určit, že množství záměšové vody je u každé zkušební receptury odpovídající, aby byla dosažena konzistentní hodnota rozlití 140 mm. U referenční receptury bylo potřeba pro dosažení stanovené konzistence dodat 4620 ml vody. Největší množství záměšové vody (cca 6000 ml) bylo potřeba dodat u receptur, kde byl cement nahrazen metakaolinem. Je to dáno velkými měrnými povrchem metakaolinu (cca 15000 m²·kg⁻¹). Nejmenší množství záměšové vody (3200 a 3500 ml) bylo přidáno u receptur, kde byla křivka kameniva upravena dle Fullera a zároveň obsahovaly větší množství lehkého kameniva Liaveru frakce 0,25-0,5 (1090,40 g) a vápence (1927,8 g), oproti ostatním zkušebním recepturám.

Hodnota obsahu vzduchu v čerstvém stavu byla u referenční receptury naměřena 30 %. Největší obsah vzduchu byl naměřen 37 % u receptury R13-AEP1, kde byl cement nahrazen aktivovaným elektrérenským popílkem. U této receptury bylo použito větší množství vápenného hydrátu (685,40 g) a menší množství pojiva (995,20 g). Zastoupení kameniva i vody bylo u této receptury stejné, jako u receptury

referenční. Nižší obsah vzduchu (< 30 %) byl naměřen u receptur, kde je křivka kameniva upravena dle Fullera a také kde je cement nahrazen metakaolinem či jemně mletou struskou. V případě receptury R10-JMS byl naměřen obsah vzduchu 24 %.

Objemová hmotnost v čerstvém stavu byla u referenční receptury rovna $570 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Největší hodnoty OH dosahovala receptura R6-M a to $640 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato receptura obsahovala největší množství záměsové vody (5950 ml). Nejnižších hodnot bylo dosaženo u receptur R4-E ($490 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a R5-E1 ($480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), které měly upravenou křivku zrnitosti kameniva podle Empa I. Receptura R5-E1 obsahovala jako jediná velké množství lehkého kameniva Liaver frakce 2-4 mm (3170,0 g). Receptury, které využívaly jako pojivo vysokopecní jemně mletou strusku a aktivní elektrárenský popílek, měly nižší hodnotu OH, než receptura referenční.

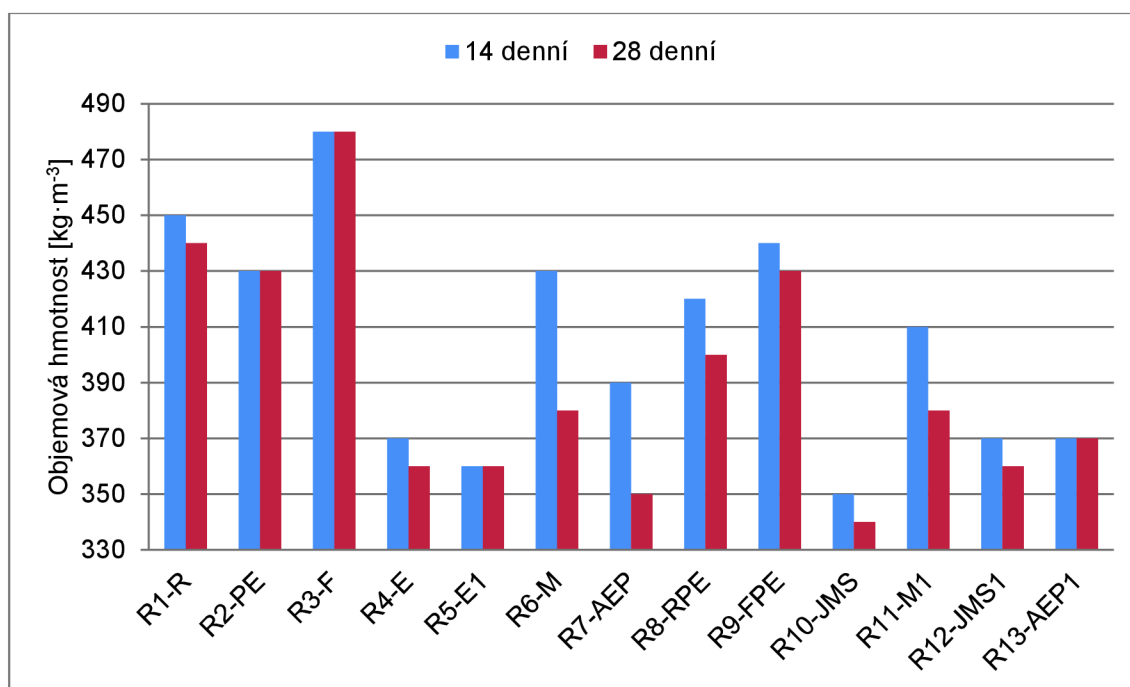
Z naměřených hodnot v čerstvém stavu lze konstatovat, že náhrada hydraulického pojiva cementu za latentně hydraulická pojiva vysokopecní jemně mletou strusku a aktivovaný elektrárenský popílek snížila OH zkušebních receptur a zvýšila hodnotu obsahu vzduchu.

7.2 Stanovení vlastností v zatvrdlém stavu

Na zkušebních záměsích v zatvrdlém stavu byla provedena zkouška dle ČSN EN 1015-10 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty“. Hodnoty byly stanoveny na zkušebních vzorcích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm, které měly stáří 14 a 28 dnů.

Tab. 13 Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních záměsích

Receptura	R1-R	R2-PE	R3-F	R4-E	R5-E1	R6-M	R7-AEP	R8-RPE	R9-FPE	R10-JMS	R11-M1	R12-JMS1	R13-AEP1
Objemová hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]													
14 denní	450	430	480	370	360	430	390	420	440	350	410	370	370
28 denní	440	430	480	360	360	380	350	400	430	340	380	360	370



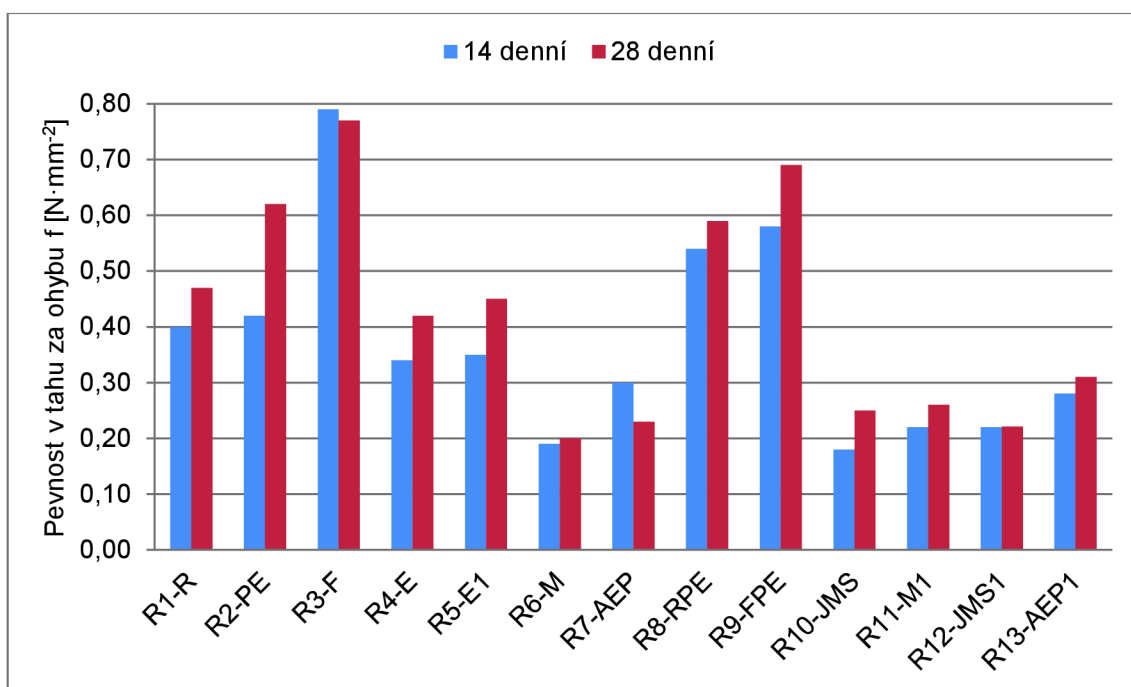
Graf 5 Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních záměsí

Hodnota OH se u zkušebních záměsí po 14 a 28 dnech lišila maximálně o cca 12 % a to u receptury R6-M, která obsahovala metakaolin a největší množství záměsové vody. Tato receptura měla také nejvyšší OH v čerstvém stavu. Nejnižší OH byla naměřena u receptury R10-JMS a to $340 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Naopak nejvyšší OH měla receptura R3-F, která měla objemovou hmotnost po 14 i 28 dnech shodnou $480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Referenční receptura měla OH $450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ po 14 a $440 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ po 28 dnech.

Dále byla provedena zkouška stanovení pevnosti v tahu za ohybu po 14 a 28 dnech na zkušebních vzorcích o rozměrech $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ dle ČSN EN 1015-11 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku“.

Tab. 14 Přehled naměřených hodnot pevnosti v tahu za ohybu u jednotlivých zkušebních záměsí

Receptura	R1-R	R2-PE	R3-F	R4-E	R5-E1	R6-M	R7-AEP	R8-RPE	R9-FPE	R10-JMS	R11-M1	R12-JMS1	R13-AEP1
Pevnost v tahu za ohybu [N·mm ⁻²]													
14 denní	0,40	0,42	0,79	0,34	0,35	0,19	0,30	0,54	0,58	0,18	0,22	0,22	0,28
28 denní	0,47	0,62	0,77	0,42	0,45	0,20	0,23	0,59	0,69	0,25	0,26	0,22	0,31



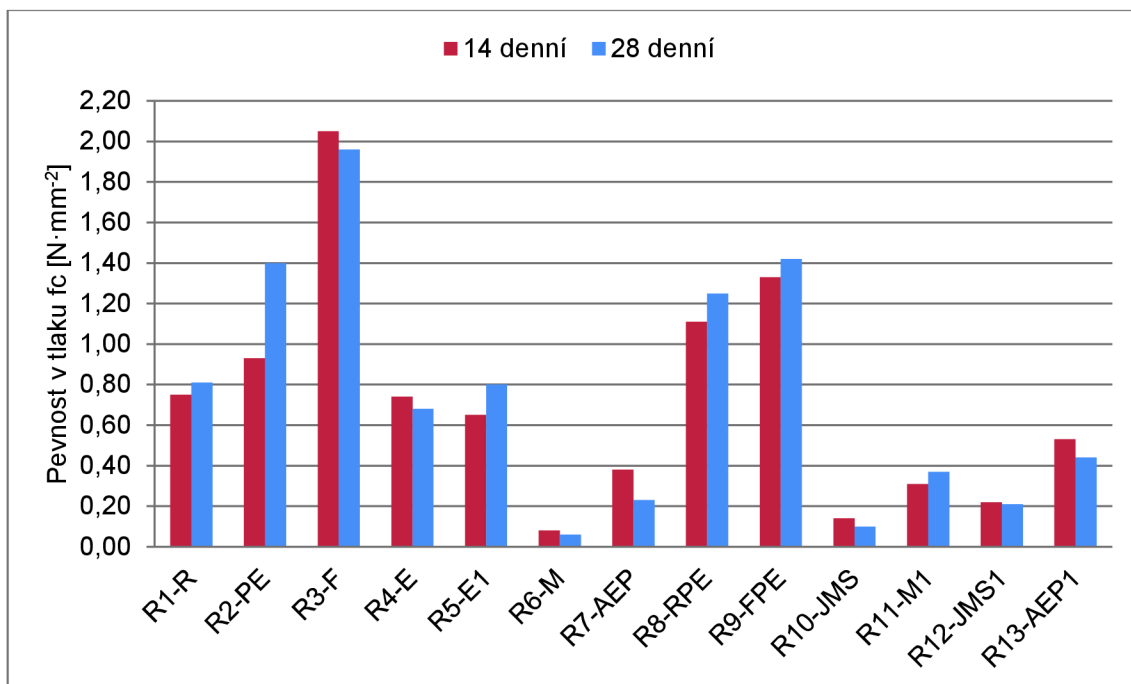
Graf 6 Přehled naměřených hodnot pevnosti v tahu za ohybu u jednotlivých zkušebních záměsí

Nejvyšší pevnost v tahu za ohybu měla receptura R3-F a to $0,79 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ po 14 a $0,77 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ po 28 dnech. Nejnižší pevnost v tahu za ohybu měla receptura R10-JMS po 14 dnech a to $0,18 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ a po 28 dnech receptura R6-M a to $0,20 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Receptura R1-R měla pevnost v tahu za ohybu po 14 dnech $0,40 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ a $0,47 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ po 28 dnech.

Po provedení zkoušky pevnosti v tahu za ohybu byla na dvou polovinách zkušebního trámce provedena zkouška pevnosti v tlaku dle ČSN EN 1015-11 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku“.

Tab. 15 Přehled naměřených hodnot pevnosti v tlaku u jednotlivých zkušebních záměsí

Receptura	R1-R	R2-PE	R3-F	R4-E	R5-E1	R6-M	R7-AEP	R8-RPE	R9-FPE	R10-JMS	R11-M1	R12-JMS1	R13-AEP1
Pevnost v tlaku [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]													
14 denní	0,75	0,93	2,05	0,74	0,65	0,08	0,38	1,11	1,33	0,14	0,31	0,22	0,53
28 denní	0,81	1,40	1,96	0,68	0,80	0,06	0,23	1,25	1,42	0,10	0,37	0,21	0,44



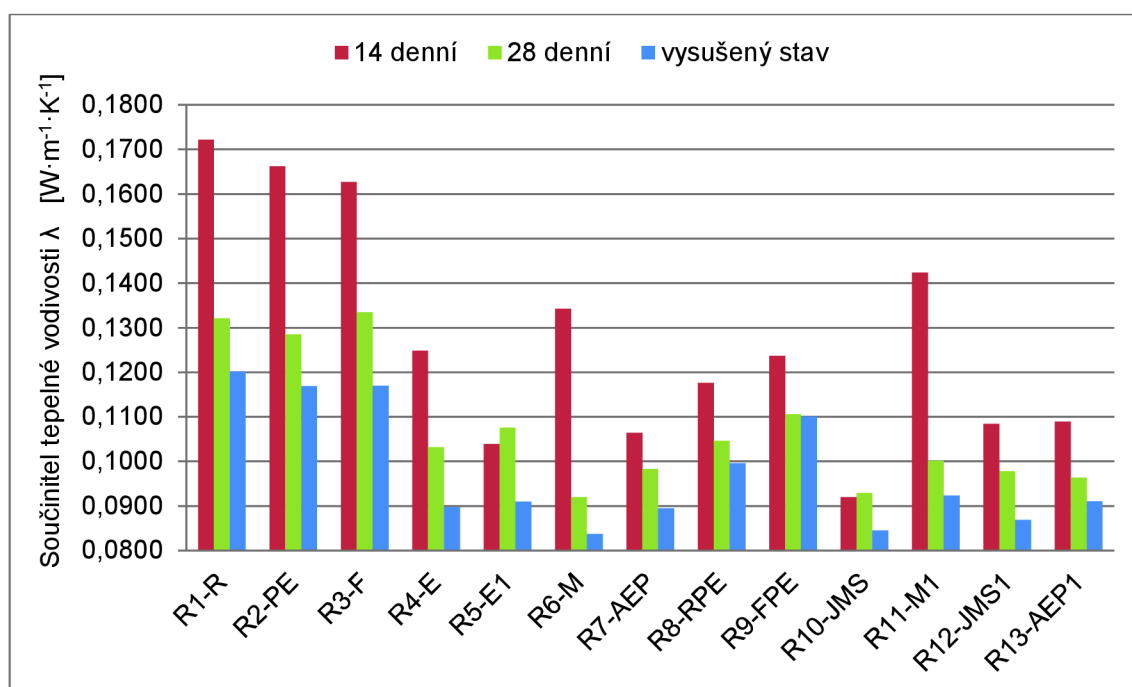
Graf 7 Přehled naměřených hodnot pevnosti v tlaku u jednotlivých zkušebních záměsí

Referenční receptura měla pevnost v tlaku $0,75 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ po 14 a $0,81 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ po 28 dnech. Nejvyšší pevnost v tlaku měla opět zkušební receptura R3-F. U této receptury byla pevnost v tlaku po 14 dnech rovna $2,05 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ a 28 dnech $1,96 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Nejnižší pevnost v tlaku byla rovna $0,08 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ po 14 dnech a $0,06 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ po 28 dnech u receptury R6-M.

Dále byla provedena zkouška stanovení součinitele tepelné vodivosti (STV) λ dle ISO 83 01 a ČSN 72 7012-3 „Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku“. Tato zkouška byla provedena na vysušených vzorcích o rozměrech $300 \times 300 \times 40$ mm. Druhá metoda Stanovení STV λ se provádí dle ČSN EN ISO 8894-1 „Žárovzdorné materiály – Stanovení tepelné vodivosti - Část 1: Metoda topného drátu (křížové uspořádání a uspořádání s odporovým teploměrem)“. Touto metodou byly zkoušeny vzorky po 14 a 28 dnech o rozměrech $40 \times 40 \times 160$ mm.

Tab. 16 Přehled naměřených hodnot součinitele tepelné vodivosti u jednotlivých zkušebních záměsích

Receptura	R1-R	R2-PE	R3-F	R4-E	R5-E1	R6-M	R7-AEP	R8-RPE	R9-FPE	R10-JMS	R11-M1	R12-JMS1	R13-AEP1
Souč. tep. vod. $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$													
14 denní	0,1722	0,1662	0,1627	0,1249	0,1039	0,1343	0,1064	0,1176	0,1237	0,0920	0,1424	0,1084	0,1089
28 denní	0,1321	0,1285	0,1335	0,1032	0,1076	0,0920	0,0983	0,1046	0,1106	0,0929	0,1002	0,0978	0,0964
Vysušený stav	0,1202	0,1169	0,1170	0,0898	0,0910	0,0837	0,0895	0,0996	0,1101	0,0845	0,0924	0,0869	0,0910

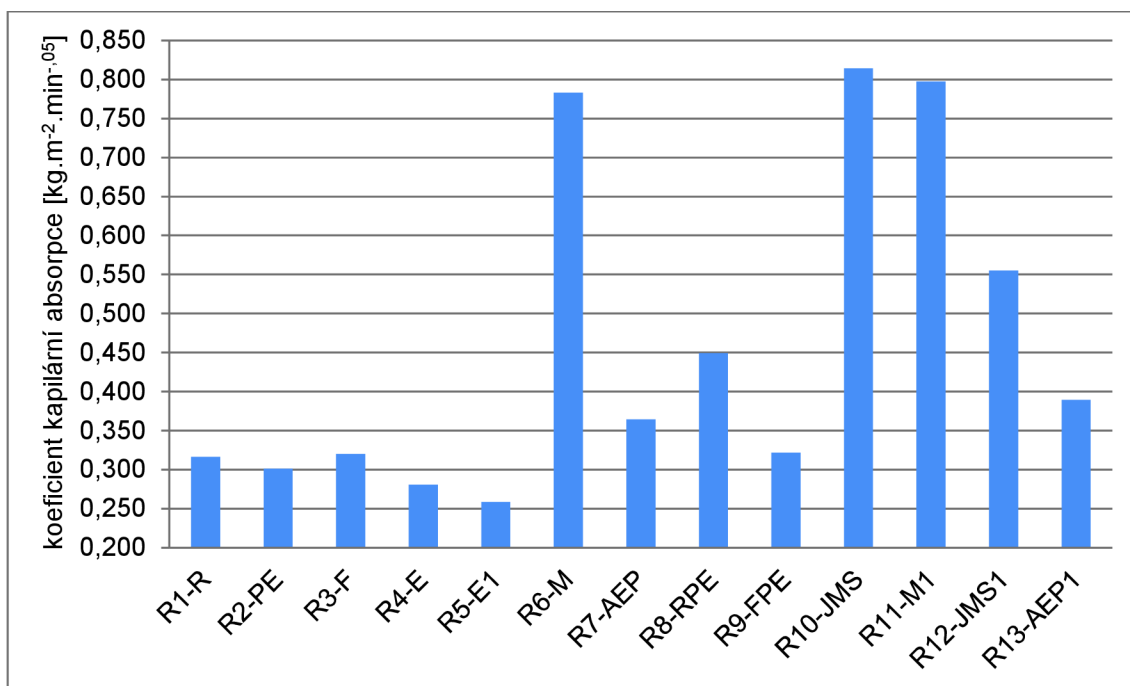
**Graf 8** Přehled naměřených hodnot součinitele tepelné vodivosti u jednotlivých zkušebních záměsích

Hodnota STV u referenční receptury R1-R byla po 14 dnech rovna $0,1722 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ (nejvyšší hodnota), po 28 dnech $0,1321 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ a ve vysušeném stavu $0,1202 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ (nejvyšší hodnota). Nejvyšší hodnota STV po 28 dnech měla receptura R3-F a byla rovna $0,1335 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Nejnižší hodnota STV po 14 dnech byla rovna $0,0920 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ u receptury R10-JMS. Receptura R6-M měla nejnižší hodnotu STV po 28 dnech a to $0,0920 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Tato receptura měla také nejnižší hodnotu STV ve vysušeném stavu, která byla rovna $0,0837 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$.

Poslední byla provedena zkouška stanovení koeficientu kapilární absorpce vody dle ČSN EN 1015-18 „Zkušební metody malt pro zdivo - Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě. Byly zjišťovány hodnoty pro sanační malty a jiné, než sanační malty”.

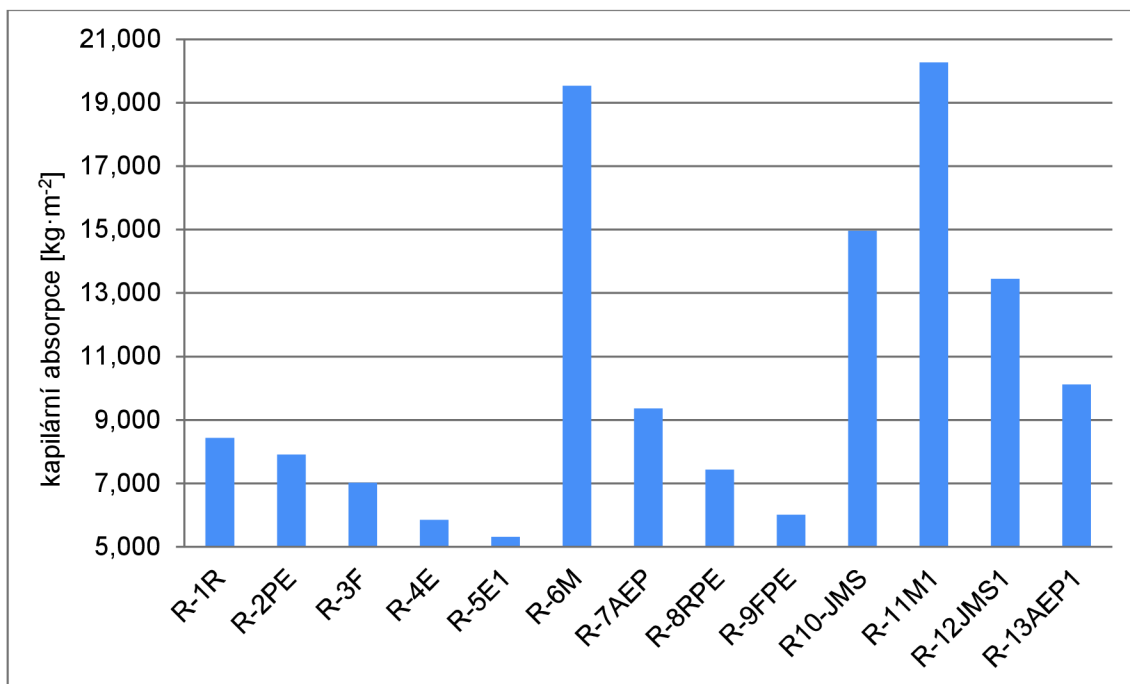
Tab. 17 Přehled naměřených hodnot koeficientu kapilární absorpce u jednotlivých zkušebních záměsí

Receptura	R1-R	R2-PE	R3-F	R4-E	R5-E1	R6-M	R7-AEP	R8-RPE	R9-FPE	R10-JMS	R11-M1	R12-JMS1	R13-AEP1
Koef. kap. absorpce													
Jiné [kg·m ⁻² ·min ^{-0,5}]	0,32	0,30	0,32	0,28	0,26	0,78	0,37	0,45	0,32	0,81	0,79	0,56	0,39
Sanační [kg·m ⁻²]	8,45	7,90	7,00	5,85	5,30	19,50	9,40	7,45	6,00	14,95	20,30	13,45	10,10



Graf 9 Přehled naměřených hodnot koeficientu kapilární absorpce u jednotlivých zkušebních záměsí dle výpočtu pro jiné než sanační omítky

Koeficient kapilární absorpce (KKA) pro jiné než sanační omítky byl u referenční receptury 0,32 kg·m⁻²·min^{-0,5}. U receptury R5-E1 byl KKA roven 0,26 kg·m⁻²·min^{-0,5}, což byla nejnižší hodnota. Naopak nejvyšší hodnota KKA byla rovna 0,81 kg·m⁻²·min^{-0,5} u receptury R10-JMS.



Graf 10 Přehled naměřených hodnot koeficientu kapilární absorpce u jednotlivých zkušebních záměsích dle výpočtu pro sanační omítky

Nejvyšší hodnotu KKA pro sanační omítky měla zkušební receptura R11-M1 a to 20,30 kg·m⁻². Receptura R1-R měla KKA roven 8,45 kg·m⁻². Nejnižších hodnot dosahoval v případě receptury R5-E1 a to 5,30 kg·m⁻² pro sanační omítky.

Z naměřených výsledků v zatvrdlém stavu lze určit, že hodnoty objemové hmotnosti se u zkušebních záměsích po 14 a 28 dnech lišily maximálně o cca 12 % a to u receptury R6-M (430; 380 kg·m⁻³), která obsahovala metakaolin a největší množství záměsově vody. Tato receptura měla také nejvyšší objemovou hmotnost v čerstvém stavu (640 kg·m⁻³) a po 28 dnech tato hodnota klesla o cca 41 %. U ostatních receptur byly hodnoty objemové hmotnosti po 14 a 28 dnech shodné anebo nižší o cca 7 %. U referenční receptury byla hodnota objemové hmotnosti po 28 dnech rovna 440 kg·m⁻³. Receptury obsahující pojivo na bázi druhotných surovin a metakaolinu měly velmi nízké hodnoty objemové hmotnosti (340-380 kg·m⁻³). Nejnižší objemová hmotnost byla u receptury R10-JMS (340 kg·m⁻³), která měla stejné zastoupení složek jako referenční receptura, ale cement zde byl nahrazen vysokopecní jemně mletou strusku. Naopak největší objemová hmotnost byla u receptury R3-F (480 kg·m⁻³), která měla upravenou křivku zrnitosti dle Fullera a obsahovala velké množství jemné frakce lehkého kameniva (1090,40 g) a vápence (1927,8 g).

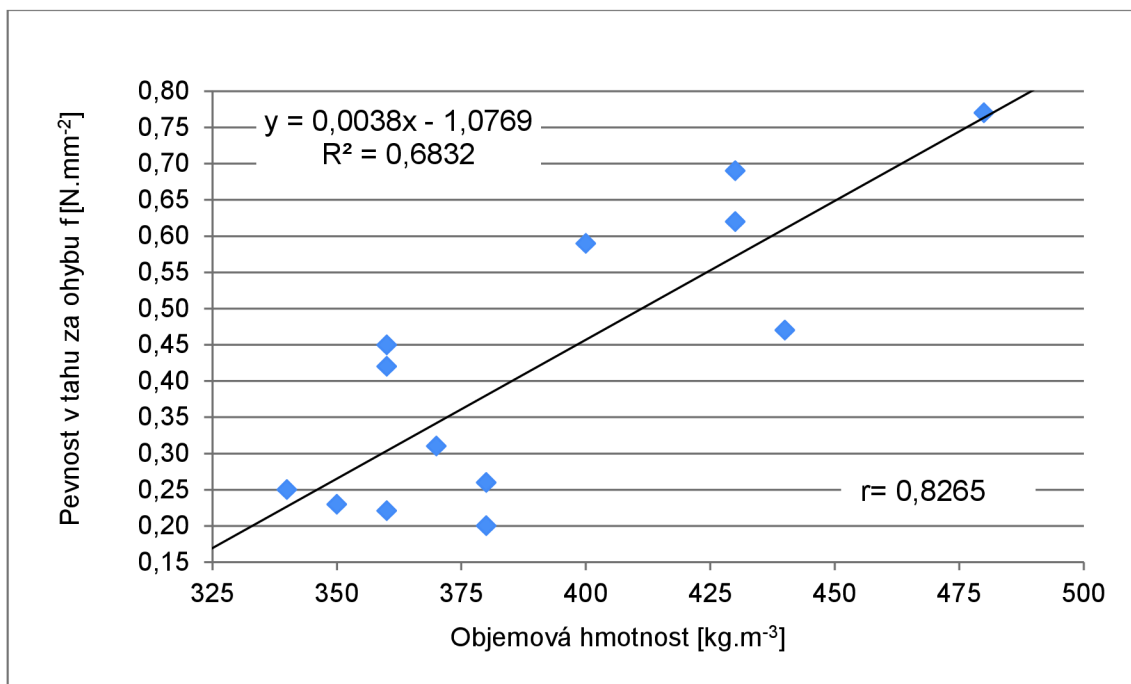
Pevnost v tahu za ohybu byla u referenční receptury rovna po 14 dnech $0,40 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ a po 28 dnech $0,47 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Nejvyšší hodnoty byly po 14 i 28 dnech u receptury R3-F, kdy byly hodnoty rovny $0,79$ a $0,77 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Lze konstatovat, že množství jemných podílů má pozitivní vliv na velikost pevnosti v tahu za ohybu, ale také na velikost objemové hmotnosti zatvrdlé směsi, která se s větším množstvím jemných podílů také zvyšovala. Nejnižší pevnost v tahu za ohybu byla po 14 dnech u zkušební receptury R10-JMS ($0,18 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$) a po 28 dnech byla nejnižší hodnota u receptury R6-M ($0,20 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). Receptury kde byly použity alternativní pojiva místo cementu, měly nižší pevnosti v tahu za ohybu ve srovnání s referenční recepturou R1-R a to v průměru o 49 % po 28 dnech. U záměsi R7-AEP je použitý aktivovaný elektrárenský popílek namísto cementu a pevnost v tahu za ohybu byla po 14 dnech vyšší, než po 28 dnech a to $0,30; 0,23 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$.

Referenční receptura měla po 14 dnech pevnost v tlaku $0,75 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ a po 28 dnech byla tato hodnota $0,81 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Nejvyšší pevnost v tlaku po 14 a 28 dnech měla opět receptura R3-F ($2,05; 1,96 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). U receptury R9-FPE, která měla stejné složení jako receptura R3-F, ale navíc obsahovala malé množství expandovaného perlitu (99,4 g), byla nižší pevnost v tlaku ($1,56 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$) po 28 dnech. Naopak dávka expandovaného perlitu (139,4 g) zlepšila pevnost v tlaku u receptury R2-PE ($1,40 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$), která kromě perlitu měla stejné složení, jako referenční receptura. Receptury, u kterých bylo cementové pojivo nahrazeno alternativními pojivy, měly nižší pevnosti v tlaku. U těchto receptur byly naměřeny po 14 dnech vyšší pevnosti, než po 28 dnech. Výjimkou byla receptura R11-M1, která obsahovala větší množství vápenného hydrátu a menší množství pojiva metakaolin. Nejnižší pevnosti byly naměřeny u receptury R6-M a to po 14 i 28 dnech ($0,08; 0,06 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). U receptur využívající alternativní pojiva se ukázalo, že významný podíl na velikosti pevnosti v tlaku má především množství vápenného hydrátu. Receptury, kde bylo množství vápenného hydrátu zvýšeno z původních 287,9 g na 685,4 g, měly téměř dvojnásobné hodnoty pevností v tlaku po 28 dnech, přestože množství pojiva se snížilo z původních 1392,7 g na 995,2 g (např. R7-AEP před $0,23 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, po $0,44 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). V případě receptur, které používaly pojivo metakaolin, byly naměřeny největší rozdíly. Receptura R11-M1 ($0,37 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$) obsahující větší množství vápenného hydrátu, měla pevnost v tlaku vyšší o $31 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ v porovnání s recepturou R6-M ($0,06 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$) po 28 dnech.

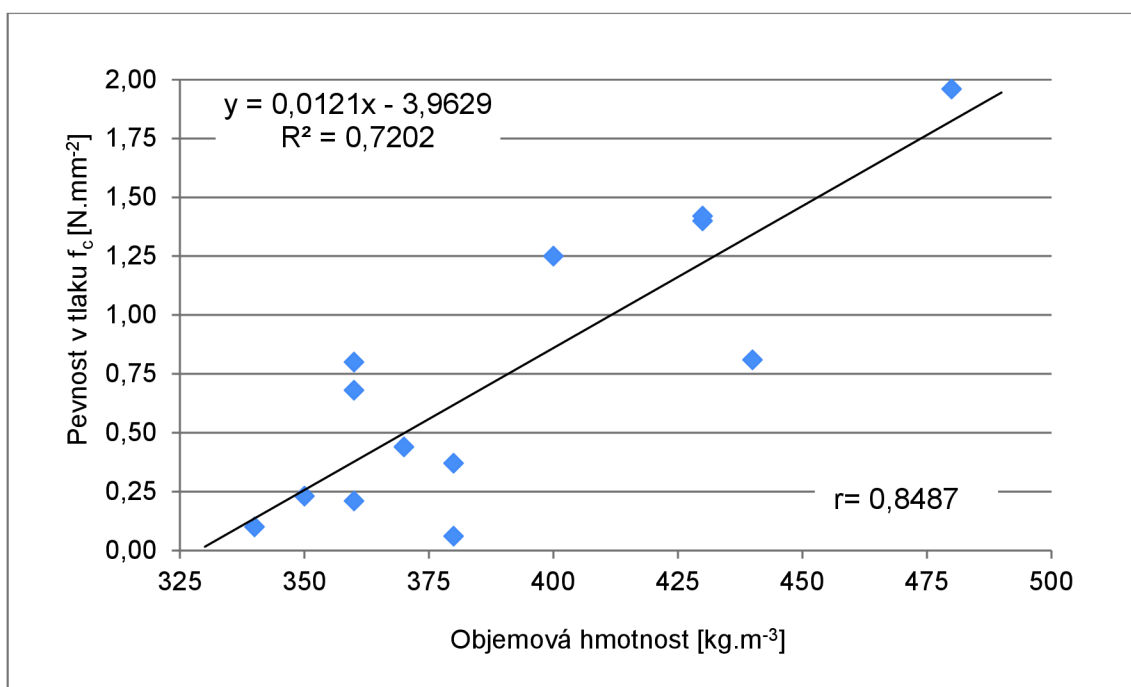
Součinitel tepelné vodivosti ve vysušeném stavu byl u referenční receptury naměřen $0,1202 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, což byla nejvyšší hodnota z měřených receptur. Přidání expandovaného perlitu k referenční receptuře, ani změna křivky zrnitosti kameniva dle Fullera nepřinesla žádné výrazné snížení této hodnoty. Pozitivně se projevila změna křivky zrnitosti dle Empa I u receptur R4-E a R5-E1, která navíc obsahovala lehké kamenivo Liaver o velikosti frakce 2-4 mm. Nízké hodnoty součinitel tepelné vodivosti byly naměřeny u receptur využívající alternativní pojiva, přičemž nejnižší hodnotu měla receptura R6-M ($0,0837 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) obsahující metakaolin. Množství vápenného hydrátu neovlivňovalo hodnotu součinitel tepelné vodivosti u žádné zkušební receptury.

Poslední prováděná zkouška byla stanovení koeficientu kapilární absorpce. Byla stanovena hodnota podle výpočtu pro jiné než sanační omítky a pro sanační omítky. U referenční receptury byla vypočítána hodnota pro jiné než sanační omítky $0,317 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$ a v případě sanačních omítek $8,45 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Nejnižší hodnota byla u receptury R5-E1 ($0,259 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$ a $5,30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Tato receptura měla upravenou křivku kameniva podle Empa I a navíc obsahovala lehké kamenivo Liaver o frakci 2-4 mm. Největších hodnot koeficientu kapilární absorpce dosahovaly pro jiné než sanační omítky receptury R10-JMS ($0,814 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$) a R11-M1 ($20,30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) pro sanační omítky. Receptury s alternativními pojivy dosahovaly vyšších hodnot koeficientu kapilární absorpce než receptury obsahující cement. Především se jednalo o receptury s jemně mletou struskou a metakaolinem.

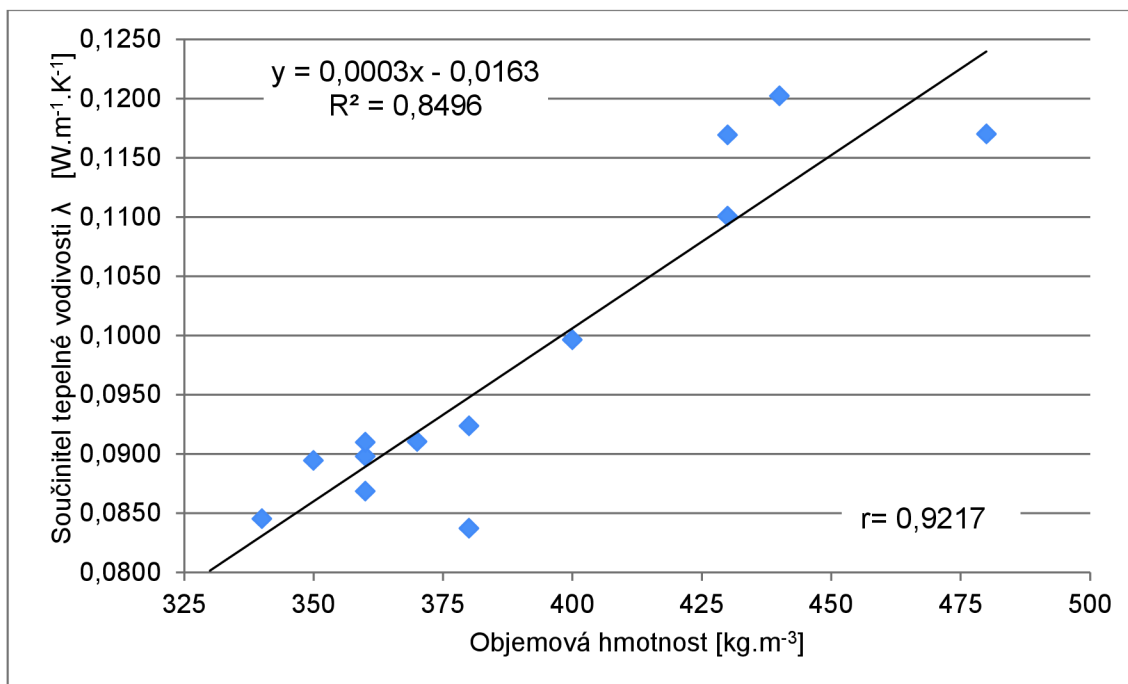
Při zjišťování závislostí dvou rozdílných fyzikálně-mechanických veličin byl použit korelační koeficient r pro měření síly lineární závislosti. Velikost korelačního koeficientu se má pohybovat od -1 do 1. Hodnoty ± 1 nabývá tehdy, pokud všechny body leží na přímce a hodnota 0 je, pokud veličiny nejsou závislé. Pro zjištění závislosti hodnot fyzikálně-mechanických veličin byl použit koeficient determinace (spolehlivost spojnice trendu R^2) [70].



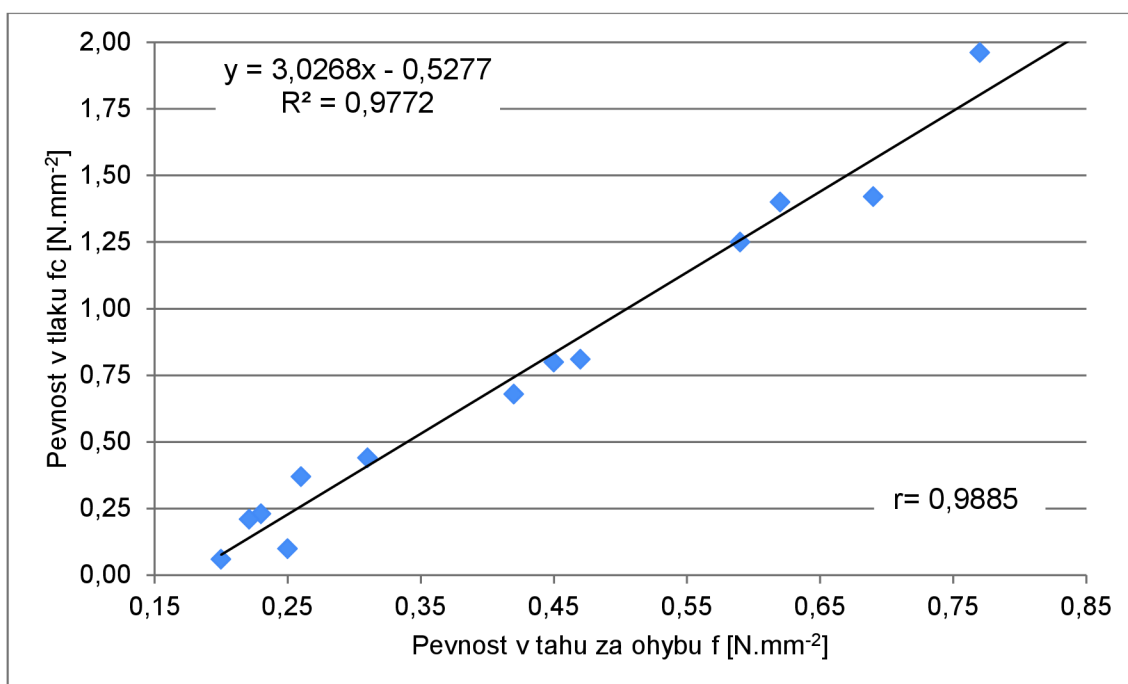
Graf 11 Závislost pevnosti v tahu za ohybu na objemové hmotnosti



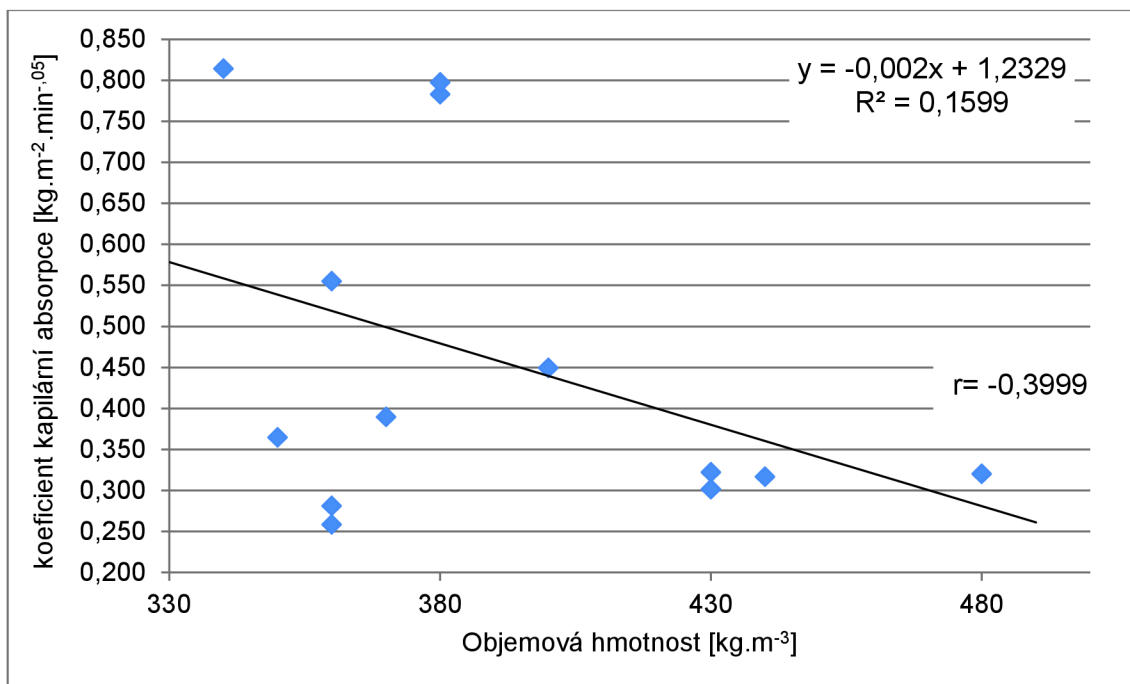
Graf 12 Závislost pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti



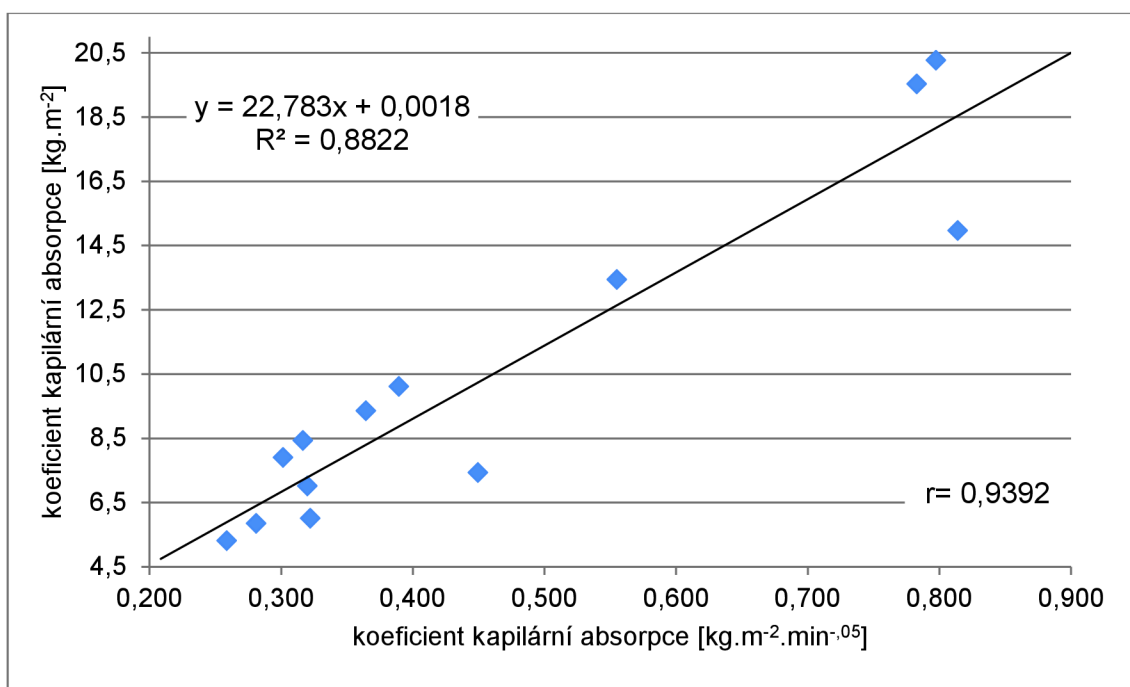
Graf 13 Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti



Graf 14 Závislost pevnosti v tlaku na pevnosti v tahu za ohybu



Graf 15 Závislost koeficientu kapilární absorpce na objemové hmotnosti



Graf 16 Závislost koeficientu kapilární absorpce sanační omítka na koeficientu kapilární absorpce jiné než sanační omítce

Podle grafického vyjádření a hodnot koeficientu korelace a determinace lze konstatovat, že pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku a součinitel tepelné vodivosti jsou lineárně závislé na objemové hmotnosti, viz Graf 11, Graf 12, Graf 13. Koeficient korelace je u daných veličin cca 8,856. Podle Graf 15 a vyjádření hodnot

koeficientu korelace a determinace, není prokázána závislost mezi objemovou hmotností a koeficientem kapilární nasákavosti. Zde je koeficient korelace -0,3999. V případě pevnosti v tahu za ohybu a tlaku byla prokázána lineární závislost a koeficient korelace byl roven 0,9885. Totéž platí pro koeficient kapilární absorpce pro jiné než sanační omítky c [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$] a sanační omítky c [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$] koeficient korelace byl roven 0,9392.

Výpočet optimální receptury

Pro vyhodnocení naměřených hodnot byly zvoleny váhy kritérií na základě požadavků pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku, přičemž hlavní důraz byl kladen na tepelné vlastnosti.

Tab. 18 Daná kritéria a jejich váha

Kritérium	Váha kritéria f_i
1. pevnost v tahu za ohybu [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	0,2
2. pevnost v tlaku [$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$]	0,3
3. součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	0,5

Výpočtové vzorce:

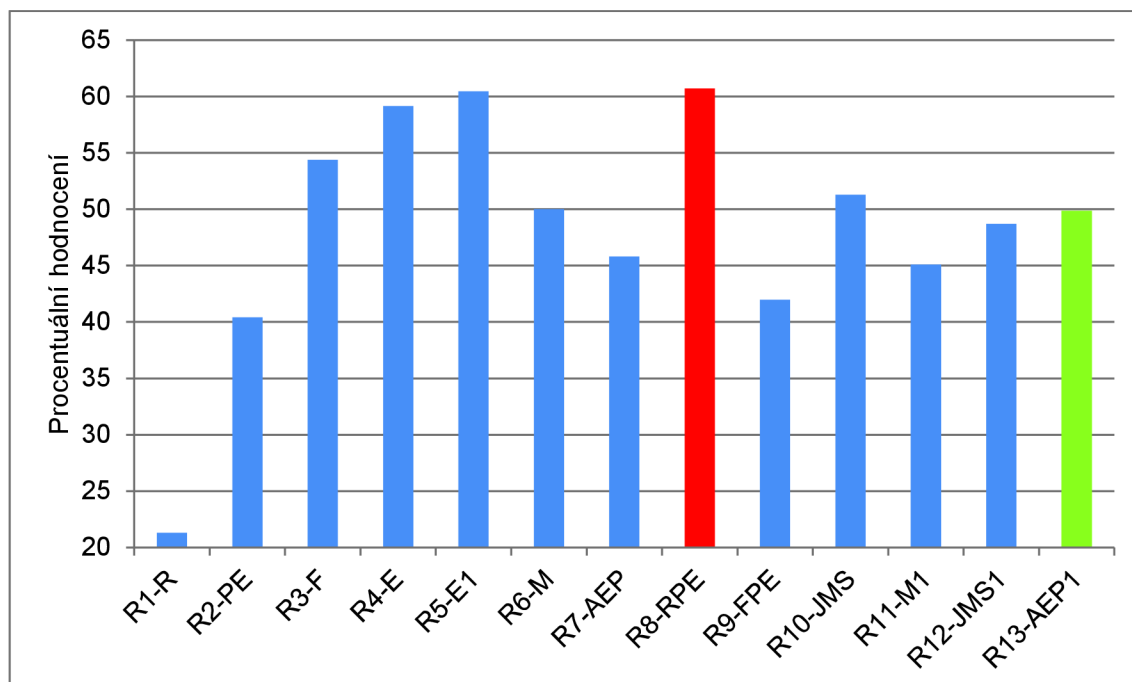
$$C_{ij} = f_i \cdot b_{ij} \cdot 100 [\%]$$

$$MIN b_{ij} = \frac{\max a_{ij} - a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}}$$

$$MAX b_{ij} = \frac{a_{ij} - \min a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}}$$

Tab. 19 Přehled vypočítaných procentuálních hodnocení C_{ij}

Kritérium	b_{ij}			ΣC_{ij}
	1.	2.	3.	
R1-R	0,474	0,395	0,000	21,316
R2-PE	0,737	0,705	0,090	40,415
R3-F	1,000	1,000	0,088	54,384
R4-E	0,386	0,326	0,833	59,153
R5-E1	0,439	0,389	0,800	60,456
R6-M	0,000	0,000	1,000	50,000
R7-AEP	0,053	0,089	0,841	45,792
R8-RPE	0,684	0,626	0,564	60,693
R9-FPE	0,333	0,716	0,277	41,976
R10-JMS	0,088	0,021	0,999	51,290
R11-M1	0,105	0,163	0,989	45,082
R12-JMS1	0,035	0,079	0,912	48,687
R13-AEP1	0,193	0,200	0,800	49,860

Graf 17 Přehled vypočítaných procentuálních hodnocení C_{ij}

Dle provedeného optimalizačního výpočtu a podle zadaných kritérií byla jako receptura s nejlepším poměrem tepelně izolačních a mechanických vlastností vybrána zkušební receptura R8-RPE. Tato zkušební receptura vychází ze složení referenční receptury, ale je zde nahrazeno lehké kamenivo Liaver o frakci 0,25-0,5 mm expandovaným perlitem.

U receptury R8-RPE byly zjištěny následující fyzikálně-mechanické vlastnosti v zatvrdlém stavu:

- objemová hmotnost... $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
- pevnost v tahu za ohybu... $0,59 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,
- pevnost v tlaku... $1,25 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,
- součinitel tepelné vodivosti... $0,0996 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
- koeficient kapilární absorpce ... $0,450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$.

Tepelně izolační omítky, které jsou nabízeny na českém trhu, mají objemovou hmotnost v zatvrdlém stavu v rozmezí od $240\text{-}1050 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, pevnosti v tlaku se pohybují v rozmezí $0,4\text{-}1,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ tř. CSI a CSII. Součinitel tepelné vodivosti λ je v rozmezí $0,07\text{-}0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ tř. T1 a T2. U sanačních omítek nabízených na našem trhu se hodnoty objemové hmotnosti v zatvrdlém stavu pohybují v rozmezí hodnot $890\text{-}1400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pevnosti v tlaku se pohybují v rozmezí hodnot $1,1\text{-}5,0 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ tř. CSI a CSII. Součinitel tepelné vodivosti λ je v rozmezí hodnot $0,09\text{-}0,54 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Vzhledem k naměřeným fyzikálně-mechanickým hodnotám je omítka s recepturou R8-RPE konkurence schopná s tepelně izolačními a také sanačními omítkami nabízenými na Českém trhu. Kvůli obsahu cementového pojiva, však tato receptura není vhodná pro použití na historických objektech.

Jako možná alternativa, vzhledem ke splnění požadavků památkové péče a konkurence schopnosti, by mohla být použita zkušební receptura R13-AEP1. Tato receptura používá jako pojivo aktivovaný elektrérenský popílek.

U receptury R13-AEP1 byly naměřeny následující fyzikálně-mechanické hodnoty v zatvrdlém stavu:

- objemová hmotnost... $370 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
- pevnost v tahu za ohybu... $0,31 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,
- pevnost v tlaku... $0,44 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,
- součinitel tepelné vodivosti... $0,0910 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
- koeficient kapilární absorpce ... $0,390 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$.

8 Závěr

Cílem práce byl vývoj omítek s optimálním poměrem tepelně izolačních a mechanických vlastností. Při vývoji těchto materiálů byly použity alternativní latentně hydraulická pojiva, jako je jemně mletá vysokopecní struska, aktivovaný elektrárenský popílek a metakaolin.

V rámci teoretické části práce byla provedena rešerše omítek a požadavků na omítky dané technickými normami v České republice. Práce se zabývala obecným složením omítek, včetně využití druhotných surovin v suchých omítkových směsích a vlastnostmi tepelně izolačních a sanačních omítek. Dále byla popsána údržba a ochrana historických stavebních objektů a také tepelná ochrana budov dle platných právních předpisů ČR.

V rámci teorie byl proveden v praktické části průzkum trhu České republiky v oblasti tepelně izolačních a sanačních omítek. Dále byl proveden návrh vstupních surovin a provedeno celkem 13 zkušebních záměsí, které se od sebe lišily množstvím a druhem použitého lehkého kameniva a druhem a množstvím pojiva (cement, jemně mletá vysokopecní struska, aktivovaný elektrárenský popílek, metakaolin), množství chemie bylo u všech záměsí konstantní.

Na základě provedených měření na zkušebních záměsích a vzorcích byly stanoveny jejich fyzikální a reologické vlastnosti v čerstvém stavu viz Tab. 20 a fyzikálně-mechanických vlastností v zatvrdlém stavu viz Tab. 21.

Následně byla vybrána zkušební receptura s nejlepším poměrem tepelně izolačních a mechanických vlastností a byla porovnána s tepelně izolačními a sanačními omítkami, které jsou dostupné na českém trhu.

Tab. 20 Stanovení fyzikálních a reologických vlastností zkušebních záměsí v čerstvém stavu

Receptura	Rozlítí [mm]	Obsah vzduchu [%]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
R1-R	142	30	570
R2-PE	140	35	570
R3-F	135	26	600
R4-E	143	30	490
R5-E1	144	35	480
R6-M	140	28	640
R7-AEP	139	35	540
R8-RPE	141	31	520
R9-FPE	140	29	570
R10-JMS	140	24	530
R11-M1	138	29	580
R12-JMS1	140	36	550
R13-AEP1	140	37	540

Z naměřených výsledků lze určit, že množství záměsové vody je u každé zkušební receptury odpovídající. Bylo dosaženo konzistentního rozlítí 140 mm. U referenční receptury bylo potřeba pro dosažení stanovené konzistence dodat 4620 ml vody. Největší množství záměsové vody bylo potřeba dodat u receptur, kde byl cement nahrazen metakaolinem. Nejmenší množství záměsové vody bylo přidáno u receptur, kde byla křivka kameniva upravena dle Fullera a obsahovaly větší množství lehkého kameniva Liaveru frakce 0,25-0,5 a vápence, oproti ostatním zkušebním recepturám.

Hodnota obsahu vzduchu v čerstvém stavu byla u referenční receptury naměřena 30 %. Nejvyšší obsah vzduchu byl naměřen u receptury R13-AEP1 (37 %), kde byl cement nahrazen aktivovaným elektrárenským popílkem. U této receptury bylo použito větší množství vápenného hydrátu a menší množství pojiva. Zastoupení kameniva i vody bylo u této receptury stejné, jako u receptury referenční. Nižší obsah vzduchu byl naměřen u receptur, kde byla křivka kameniva upravena dle Fullera (R3-F - 26 %, R9-FPE - 29 %) a kde byl cement nahrazen metakaolinem (R6-

M - 28 %, R11-M1 - 29 %). Nejnižší obsah vzduchu byl naměřen u receptury s jemně mletou vysokopecní struskou R10-JMS (24 %).

Objemová hmotnost v čerstvém stavu byla u referenční receptury rovna $570 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Největší hodnotu OH dosahovala receptura R6-M ($640 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), která obsahovala největší množství záměsové vody. Nejnižší hodnota byla naměřena u receptury R5-E1 ($480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), která měla upravenou křivku zrnitosti kameniva podle Empa I a obsahovala jako jediná velké množství lehkého kameniva Liaver frakce 2-4 mm. Receptury, které využívaly jako pojivo jemně mletou vysokopecní strusku (R10-JMS - $530 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, R12- JMS1 - $550 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a aktivovaný elektrárenský popílek (R7-AEP - $540 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, R13- AEP1 - $540 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), měly nižší hodnotu OH, než receptura referenční.

Z naměřených hodnot v čerstvém stavu lze konstatovat, že náhrada hydraulického pojiva cementu za latentně hydraulická pojiva jemně mletou vysokopecní strusku a aktivovaný elektrárenský popílek, snížila objemovou hmotnost zkušebních receptur a zvýšila hodnotu obsahu vzduchu.

V zatvrdlém stavu byla u referenční receptury hodnota OH rovna $440 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Receptury obsahující pojiva na bázi druhotných surovin a metakaolinu měly velmi nízké hodnoty objemové hmotnosti, přičemž nejnižší hodnota byla u receptury R10-JMS ($340 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), která měla stejné váhové zastoupení složek jako referenční receptura. Cementové pojivo zde bylo nahrazeno jemně mletou vysokopecní struskou. Naopak největší OH byla u receptury R3-F ($480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), která měla upravenou křivku zrnitosti dle Fullera a obsahovala velké množství jemné frakce lehkého kameniva Liaver a vápence.

Pevnost v tahu za ohybu byla u referenční receptury rovna $0,47 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Nejvyšší hodnota byla u receptury R3-F ($0,77 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). Lze konstatovat, že množství jemných podílů má pozitivní vliv na velikost pevností v tahu za ohybu, ale také na velikost objemové hmotnosti zatvrdlé směsi. Ta se s větším množstvím jemných podílů také zvyšovala. Nejnižší pevnost v tahu za ohybu byla naměřena u receptury R6-M ($0,20 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). Receptury kde byly použity alternativní pojiva místo cementu, měly nižší pevnosti v tahu za ohybu ve srovnání s referenční recepturou a to v průměru o 49 %.

Referenční receptura měla pevnost v tlaku $0,81 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Nejvyšší pevnost v tlaku měla opět receptura R3-F ($1,96 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). U receptury R9-FPE, která měla stejné složení jako receptura R3-F, ale navíc obsahovala malé množství expandovaného perlitu, byla naměřena nižší pevnost v tlaku ($1,42 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). Naopak dávka expandovaného perlitu zlepšila pevnost v tlaku u receptury R2-PE ($1,40 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). Tato receptura je referenční, ale navíc obsahuje expandovaný perlit. Receptury, u kterých bylo cementové pojivo nahrazeno alternativními pojivy, měly nižší pevnost v tlaku, přičemž nejnižší pevnost v tlaku byla naměřena u receptury R6-M ($0,06 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). U receptur využívajících alternativní pojiva bylo prokázáno, že významný podíl na velikosti pevnosti v tlaku má především množství vápenného hydrátu. Receptury kde bylo množství vápenného hydrátu zvýšeno, měly téměř dvojnásobné hodnoty pevnosti v tlaku.

Součinitel tepelné vodivosti ve vysušeném stavu byl u referenční receptury naměřen $0,1202 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, což byla nejvyšší hodnota z měřených receptur. Přidání expandovaného perlitu k referenční receptuře ani změna křivky zrnitosti kameniva dle Fullera nepřinesla žádné výrazné snížení této hodnoty. Pozitivně se projevila změna křivky zrnitosti dle Empa I u receptur R4-E ($0,0898 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) a R5-E1 ($0,0910 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Nízké hodnoty součinitele tepelné vodivosti byly naměřeny u receptur využívající alternativní pojiva, přičemž nejnižší hodnotu měla receptura R6-M ($0,0837 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) obsahující metakaolin. Množství vápenného hydrátu neovlivňovalo hodnotu součinitele tepelné vodivosti u žádné zkušební receptury.

Poslední prováděná zkouška byla stanovení koeficientu kapilární absorpce. Byla stanovena hodnota podle výpočtu pro jiné než sanační omítky a pro sanační omítky. U referenční receptury byla vypočítána hodnota pro jiné než sanační omítky $0,317 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$ a v případě sanačních omítek $8,45 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Nejnižší hodnota byla vypočítána u receptury R5-E1 ($0,259 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$, $5,30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Tato receptura měla upravenou křivku kameniva podle Empa I a navíc obsahovala lehké kamenivo Liaver o frakci 2-4 mm. Největších hodnot koeficientu kapilární absorpce dosahovaly pro jiné než sanační omítky receptury R10-JMS ($0,814 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0,5}$) a R11-M1 ($20,30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) pro sanační omítky. Receptury s alternativními pojivy dosahovaly vyšších hodnot koeficientu kapilární absorpce. Jednalo se především o receptury s jemně mletou struskou a metakaolinem.

Tab. 21 Stanovení fyzikálně-mechanických vlastností zkušebních záměsí v zatvrdlém stavu

Receptura	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]		Pevnost v tahu za ohybu [N·mm ⁻²]		Pevnost v tlaku [N·mm ⁻²]		Součinitel tepelné vodivosti [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]			Koeficient kapilární absorpce	
	14	28	14	28	14	28	14	28	vysuš.	[kg·m ⁻² · min ^{-0,5}]	[kg·m ⁻²]
R1-R	450	440	0,40	0,47	0,75	0,81	0,1722	0,1321	0,1202	0,317	8,45
R2-PE	430	430	0,42	0,62	0,93	1,40	0,1662	0,1285	0,1169	0,302	7,90
R3-F	480	480	0,79	0,77	2,05	1,96	0,1627	0,1335	0,1170	0,320	7,00
R4-E	370	360	0,34	0,42	0,74	0,68	0,1249	0,1032	0,0898	0,281	5,85
R5-E1	360	360	0,35	0,45	0,65	0,80	0,1039	0,1076	0,0910	0,259	5,30
R6-M	430	380	0,19	0,20	0,08	0,06	0,1343	0,0920	0,0837	0,783	19,50
R7-AEP	390	350	0,30	0,23	0,38	0,23	0,1064	0,0983	0,0895	0,365	9,40
R8-RPE	420	400	0,54	0,59	1,11	1,25	0,1176	0,1046	0,0996	0,450	7,40
R9-FPE	440	430	0,58	0,69	1,33	1,42	0,1237	0,1106	0,1101	0,322	6,00
R10-JMS	350	340	0,18	0,25	0,14	0,10	0,0920	0,0929	0,0845	0,814	14,95
R11-M1	410	380	0,22	0,26	0,31	0,37	0,1424	0,1002	0,0924	0,798	20,30
R12-JMS1	370	360	0,22	0,22	0,22	0,21	0,1084	0,0978	0,0869	0,555	13,45
R13-AEP1	370	370	0,28	0,31	0,53	0,44	0,1089	0,0964	0,0910	0,390	10,10

Receptury s alternativními latentně hydraulickými pojivy dosahovaly nízkých hodnot součinitele tepelné vodivosti, ale zjištěné mechanické vlastnosti (pevností v tlaku a tahu za ohybu) byly u těchto receptur velmi nízké ve srovnání s recepturami, které obsahovaly jako pojivo cement.

U zkušebních receptur byla prokázána vysoká korelace mezi objemovou hmotností a mechanickými vlastnostmi viz Graf 11 a Graf 12. Vysoká korelace byla také prokázána mezi objemovou hmotností a tepelně izolačními vlastnostmi viz Graf 13.

Dle optimalizačního výpočtu a podle zadaných kritérií byla jako receptura s nejlepším poměrem tepelně izolačních a mechanických vlastností vybrána zkušební receptura R8-RPE. Tato receptura je vzhledem k provedenému průzkumu trhu a naměřeným fyzikálně-mechanickým vlastnostem konkurence schopná s tepelně izolačními a sanačními omítkami nabízenými na Českém trhu.

Vzhledem k záměru využívání nově vyvíjených omítek pro zateplování a sanaci historických objektů, není receptura R8-RPE s obsahem cementového pojiva vhodná. Jako možná alternativa se jeví receptura R13-AEP1, kde je cementové pojivo nahrazeno aktivovaným elektrárenským popílkem.

Citovaná literatura

1. **KOTLÍK, P., a další, a další.** Stavební materiály historických objektů. *Praha : VŠCHT Praha, 2007. 80-7080-347-9.*
2. ČSN EN 998-1, Specifikace malt pro zdivo- Část 1: Malty pro vnitřní a vnější omítky. *Praha : Český normalizační institut, 2003.*
3. *www.svsoms.cz. [Online] Svaz výrobců suchých omítkových a maltových směsí ČR. [Citace: 27. 11 2012.] <http://www.svsoms.cz/pages/otazky.php>.*
4. **BLÁHA, M.** Omítky. *Praha : Grada, 2004. 80-247-0898-1.*
5. **ADÁMEK, J., a další, a další.** Stavební materiály. *Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 1996. 80-214-0631-3.*
6. **FRIDRICOVÁ, M., DVOŘÁK, K. a FRIDRICH, R.** Omítky. *Brno : Era group spol. s.r.o., 2004. 80-7366-004-0.*
7. **HELA, R.** Technologie Betonu. *Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2005.*
8. Metakaolin 2007. *Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2007. 978-80-214-3339-7.*
9. METAKAOLIN 2010. *Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2010. 978-80-214-4064-7.*
10. **ZACH, J.** Speciální izolace. *[dokument] Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2006.*
11. **VÁCLAVÍK, V.** *<http://www.casopisstavebnictvi.cz>. [Online] 9 2010. [Citace: 15. 12 2012.] http://www.casopisstavebnictvi.cz/plnivo-na-bazi-polyuretanove-peny-do-izolacnich-malt-a-lehkych-betonu_N3774.*
12. **DROCHYTKA, R a MATULOVÁ, P.,** Lehké stavební látky. *Brno : Vysoké učení technické, 2006.*
13. Zákon č.185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů.
14. **PAVLÍKOVÁ, M. a KEPPERT, M.** Chemie stavebních materiálů. *Praha : České vysoké učení technické, 2009. 978-80-01-04237-3.*
15. **ROUSEKOVÁ, I. a KOLEKTIV.** Stavebné materiály . *Bratislava : Jaga group, 2001. 8088905214.*

16. Příručka technologa- Beton-suroviny, výroba, vlastnosti . *místo neznámé* : Českomoravský cement, 2010.
17. **ROVNANÍKOVÁ, P. a ROVNANÍK, P.** Stavební chemie. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2005. 80-7204-409-5.
18. www.splrecycling.com. [Online] SPL Recycling a.s., 2008. [Citace: 22. 10 2012.] http://www.splrecycling.com/recyklace_skla_a_jeji_vyznam.html.
19. **SCHILL, F.** Pěnové sklo (výroba a použití). Praha : Státní nakladatelství technické literatury , 1962. 04-829-62.
20. <http://www.saitax.ru/>. [Online] Saitax, 2011. [Citace: 5. 12 2012.] <http://www.saitax.ru/p/p32/>.
21. **BYDŽOVSKÝ, J., a další, a další.** BJ56- Vybrané statě z technologie stavebních hmot. [Studijní text pro cvičení] Brno : autor neznámý, 2011.
22. **KOBZÁŇ, M.** <http://www.ekokom.cz>. [Online] EKO-KOM, a.s. [Citace: 30. 11 2012.] http://www.ekokom.cz/uploads/attachments/Klienti/Ekomunikace/EKOKOMunikace_04-07.pdf.
23. <http://biotechhungaria.hu>. [Online] Biotech Hungária Kereskedelmi és Szolgáltató Kft, 2011. [Citace: 30. 11 2012.] <http://biotechhungaria.hu/products/poraver-en/production-en>.
24. <http://www.ecoconcept.sk>. [Online] Eco Concept, 2011. [Citace: 22. 10 2012.] <http://www.ecoconcept.sk/penove-sklo/zakladna-charakteristika/>.
25. <http://www.penove-sklo.eu>. [Online] RECIFA a. s., 2010. [Citace: 30. 11 2012.] <http://www.penove-sklo.eu/sklenena-moucka-019/>.
26. **VALENTOVICH, V., BORISOVICH, S. a SERGEJEVICH, S.** GRANULATED FOAM GLASS PRODUCTION SYSTEM. IB2009/055995 30. 12 2009.
27. Decay of Roman and repair mortars in mosaics from Italica, Spain. **PUERTAS, F., a další, a další.** Madrid : the Science of the Total Environment, 1993.
28. **DENNERT, H.-V.** Process for Preparing Foamed Glass Granulate - United States Patent Application 20080156038. 817731 BROWDY A Neimark, PLLC; 624 Ninth Street, NW, 3. 7 2008.

29. <http://www.foamglas.cz>. [Online] Pittsburgh Corning Europe S.A. / N.V. [Citace: 22. 10 2012.] <http://www.foamglas.cz>.
30. A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach. **ARIOGLU, N. a ACUN, S.** Istanbul: Building and Environment, 2005.
31. **Michoinová, D.** Příprava vápenných malt v péči o stavební památky. Praha: IC ČKAIT, s.r.o., 2006. 80-86769-81-X.
32. **SLÍŽKOVÁ, Z.** Charakteristika malt modifikovaných metakaolinem aplikovaných na historických objektech. [dokument] Brno: Fakulta stavební VUT v Brně, 2009. 978-80-214-3843-9.
33. Zákon o státní památkové péči č.20/1987 Sb.
34. **HOŠEK, J. a LOSOS, L.** Historické omítky - Průzkum, sanace, typologie. Praha: Grada Publishing a.s., 2007. 978-80-247-1395-3.
35. **PEŘINKOVÁ, M.** Výzkum dlouhodobé účinnosti sanačních omítek na historických objektech. Ostrava: Vysoká škola báňská- Technická univerzita Ostrava, 2008. 978-80-248-1818-4.
36. ČSN P 73 0610, Hydroizolace staveb- Sanace vlhkého zdiva- Základní ustanovení. Praha: Český normalizační institut, 2000.
37. **KOLÍSKO, J., BALÍK, L. a KLEČKA, T.** <http://www.asb-portal.cz>. asb-portal. [Online] 27. 11 2009. [Citace: 5. 11 2012.] <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyrobky/omitky/sanacni-omitky-1584.html>.
38. **VLČEK, M., a další, a další.** Sanace vlhkého zdiva. místo neznámé: Česká stavební společnost, 2000. 80-02-01367-0.
39. **RAJCHOT, V.** Studium možností využití lehkých tepelně izolačních omítek pro zateplení historických budov. Brno: Vysoké učení technické, 2011.
40. WTA - směrnice 2-9-04/D Sanační omítkové systémy. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky- WTA CZ, 2008.
41. **SVOBODA, L. a KOLEKTIV.** Stavební hmoty. Bratislava: Jaga group s.r.o., 2004. str. 471. 80-8076-007-1.
42. Revize zákona o úsporách energií a navazujících dokumentů. **ŠAFRÁNEK, J.** Praha: CSI a.s., 2012.

43. **ŠÁLA, J.** <http://www.stavebnictvi3000.cz>. [Online] 5 2008. [Citace: 5. 12 2012.]
44. **CHMÚRNÝ, I.** Tepelná ochrana budov. Bratislava : Jaga group, 2003. 80-88905-27-3.
45. Sbírka zákonů, Vyhláška č. 268 o technických požadavcích na stavbu. Praha : Tiskárny Ministerstva vnitra, p.o., 2009. 1211-1244.
46. Sbírka zákonů 2012, Zákon č.318, kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů. Praha : Tiskárna Ministerstva vnitra, p.o., 2012. 1211-1244.
47. Sbírka zákonů 2007, Vyhláška č.148 o energetické náročnosti budov. Praha : Tiskárna Ministerstva vnitra, p.o., 2007. 1211-1244.
48. ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov- Požadavky. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologie a státní zkušebnictví, 2011. 89012.
49. **ŠÁLA, J., a další, a další.** Tepelná ochrana budov- komentář k ČSN 73 0540 . praha : autor neznámý, 2007.
50. <http://www.cemix.cz/>. [Online] LB Cemix, s.r.o, 2013. [Citace: 1. 1 2013.] <http://www.cemix.cz/produkty/36-TEPELNEIZOLACNI-MATERIALY-SUPER THERM/61-Tepelneizolacni-materialy-Supertherm/60-Supertherm-TO-EXTRA>.
51. <http://www.kvk.cz>. [Online] Krkonošské vápenky Kunčice, a.s., 2013. [Citace: 1. 1 2013.] <http://www.kvk.cz/produkty-0691-kvk-thermoizolacni-jednovrstva-omitka-detail-86>.
52. <http://www.baumit.cz>. [Online] BAUMIT, spol. s r.o., 3 2009. [Citace: 15. 10 2012.] http://www.baumit.cz/upload/pimdandam/pdb/PDBL_ThermoPutz.pdf.
53. <http://www.weber-terranova.cz>. [Online] Saint-Gobain Contruction Products CZ a.s., 2012. [Citace: 15. 10 2012.] <http://www.weber-terranova.cz/vnejsi-fasady-a-omitky/radce-weber/vyrobky/tenkovrstve-pastovite-omitky/terralit.html>.
54. <http://www.kmb-profimix.cz/>. [Online] KM Beta a.s., 2012. [Citace: 15. 10 2012.] http://www.kmb-profimix.cz/izolacni_malty_omitky.html?pol=TO_502.
55. <http://www.daxner.cz/>. [Online] D & DAXNER TECHNOLOGY s.r.o. [Citace: 15. 10 2012.] <http://www.daxner.cz/nase-vyrobky/daxner-tepelne-izolacni-polyuretanove-omitky/technicky-list-2>.

56. <http://www.thermoshield.sk>. [Online] PEPO SK, s.r.o., 7 2011. [Citace: 15. 10 2012.] http://www.thermoshield.sk/omietka/technicke-listy/CZ_ThermoUM_Xtra_TL.pdf.
57. <http://www.sakret.cz>. [Online] SAKRET CZ k.s, 4 2011. [Citace: 15. 10 2012.] http://www.sakret.cz/docs/tech_listy/THP%20D_.pdf.
58. <http://www.vapenka-vitosov.cz>. [Online] VÁPENKA VITOŠOV s.r.o., 3 2011. [Citace: 15. 10 2012.] <http://www.vapenka-vitosov.cz/tl/sthc.pdf>.
59. <http://www.hasit.cz>. [Online] HASIT Šumavské vápenice a omítkárny s.r.o. , 2008. [Citace: 15. 10 2012.] <http://www.hasit.cz/Detail-WDVS.724.0.html?product=7544&cHash=59c42f589d>.
60. <http://www.knauf.cz/>. [Online] Knauf Praha spol. s r.o., 1 2011. [Citace: 15. 10 2012.] http://www.knauf.cz/wpimages/other/doc5/PM_210_TL_Kbelosan_J.pdf.
61. <http://www.premix.cz/>. [Online] Premix s.r.o., 2009. [Citace: 15. 10 2012.] <http://www.premix.cz/produkty/z-san-20-v.html>.
62. <http://www.frankenmaxit.cz>. [Online] Franken Maxit s.r.o., 2012. [Citace: 15. 10 2012.] <http://www.frankenmaxit.cz/cz/vyrobky/omitky-a-barvy/sanacni-omitky/maxit-san-grund-sanacni-jadrova-omitka-wta/286>.
63. ČSN EN 1015 Zkušební metody malt pro zdivo- Část 1: Stanovení zrnitosti (sítovým rozborem). Praha : Český normalizační institut, 1999.
64. ČSN EN 1015 Zkušební metody malt pro zdivo- Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku). Praha : Český normalizační institut, 1999.
65. ČSN EN 1015-7 Zkušební metody malt pro zdivo- Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě. Praha : Český normalizační institut, 1999.
66. ČSN EN 1015 Zkušební metody malt pro zdivo- Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty. Praha : Český normalizační institut, 1999.
67. ČSN EN 1015-10 Zkušební metody malt pro zdivo- Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty. Praha : Český normalizační institut, 2007.
68. ČSN EN 1015-18 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 18: Stanovení koeficientu kapilární. Praha : Český normalizační institut, 2003.

69. <http://www.liaver.com/>. [Online] Liaver GmbH & Co KG, 2011. [Citace: 19. 12 2012.] <http://www.liaver.com/index.php?id=32>.

70. **SNEDECOR, G., W.** <http://ucebnice.euromise.cz/>. [Online] [Citace: 12. 11 2012.] <http://ucebnice.euromise.cz/index.php?conn=0§ion=biostat1&node=13>.

Seznam tabulek

Tab. 1 Třídění podle vlastností zatvrdlé malty [2].....	13
Tab. 2 Obsah minerálů v metakaolinu Mefisto K05 Nové Strašecí [8].....	20
Tab. 3 Orientační rozsahy vybraných vlastností pěnového kameniva [20].....	27
Tab. 4 Požadavky na podhoz - WTA [38].....	40
Tab. 5 Požadavky na podkladní omítku - WTA [38]	41
Tab. 6 Požadavky na sanační omítky – WTA [38].....	42
Tab. 7 Fyzikálně-mechanické vlastnosti tepelně izolačních omítek nabízených na trhu ČR [50] [51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58] [59].....	51
Tab. 8 Fyzikálně-mechanické vlastnosti tepelně izolačních omítek nabízených na trhu ČR [51] [57] [50] [52] [53] [59] [60] [61] [62].....	52
Tab. 9 Přehled jednotlivých složek zkušebních záměsí	67
Tab. 10 Přehled naměřených hodnot rozlití u jednotlivých zkušebních záměsí	68
Tab. 11 Přehled naměřených hodnot obsahu vzduchu u jednotlivých zkušebních záměsí.....	69
Tab. 12 Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních záměsí.....	70
Tab. 13 Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních záměsí.....	72
Tab. 14 Přehled naměřených hodnot pevnosti v tahu za ohybu u jednotlivých zkušebních záměsí.....	73
Tab. 15 Přehled naměřených hodnot pevnosti v tlaku u jednotlivých zkušebních záměsí.....	74
Tab. 16 Přehled naměřených hodnot součinitele tepelné vodivosti u jednotlivých zkušebních záměsí.....	76
Tab. 17 Přehled naměřených hodnot koeficientu kapilární absorpce u jednotlivých zkušebních záměsí.....	77
Tab. 18 Daná kritéria a jejich váha	84

Tab. 19 Přehled vypočítaných procentuálních hodnocení C_{ij}	85
Tab. 20 Stanovení fyzikálních a reologických vlastností zkušebních záměsí v čerstvém stavu	88
Tab. 21 Stanovení fyzikálně-mechanických vlastností zkušebních záměsí v zatvrdlém stavu.....	91

Seznam obrázků

Obr. 1 Recyklace skla [23]	21
Obr. 2 Mletí skleněného střepeu [23]	21
Obr. 3 Skleněná moučka [23]	22
Obr. 4 Míchání složek [23].....	22
Obr. 5 Sbalkování [23]	22
Obr. 6 Sušení sbalků [23].....	22
Obr. 7 Výpal v rotační peci [23]	23
Obr. 8 Chlazení [23]	23
Obr. 9 Třídění [23]	24
Obr. 10 Pěnové kamenivo [23]	24
Obr. 11 Schéma provedení vícevrstvé sanační omítky [34]	32
Obr. 12 Stanovení konzistence čerstvé malty	48
Obr. 13 Měření obsahu vzduchu v čerstvé maltě.....	49
Obr. 14 Ukázka frakcí kameniva Liaver [69].....	57

Seznam grafů

Graf 1 Sítový rozbor expandovaného skla Liaver.....	64
Graf 2 Přehled naměřených hodnot rozlití u jednotlivých zkušebních záměsí.....	69
Graf 3 Přehled naměřených hodnota obsahu vzduchu u jednotlivých zkušebních záměsí.....	70
Graf 4 Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních záměsí.....	71
Graf 5 Přehled naměřených hodnot objemové hmotnosti u jednotlivých zkušebních záměsí.....	73
Graf 6 Přehled naměřených hodnot pevnosti v tahu za ohybu u jednotlivých zkušebních záměsí.....	74

Graf 7 Přehled naměřených hodnot pevnosti v tlaku u jednotlivých zkušebních záměsí.....	75
Graf 8 Přehled naměřených hodnot součinitele tepelné vodivosti u jednotlivých zkušebních záměsí.....	76
Graf 9 Přehled naměřených hodnot koeficientu kapilární absorpce u jednotlivých zkušebních záměsí dle výpočtu pro jiné než sanační omítky	77
Graf 10 Přehled naměřených hodnot koeficientu kapilární absorpce u jednotlivých zkušebních záměsí dle výpočtu pro sanační omítky	78
Graf 11 Závislost pevnosti v tahu za ohybu na objemové hmotnosti.....	81
Graf 12 Závislost pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti.....	81
Graf 13 Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti.....	82
Graf 14 Závislost pevnosti v tlaku na pevnosti v tahu za ohybu	82
Graf 15 Závislost koeficientu kapilární absorpce na objemové hmotnosti.....	83
Graf 16 Závislost koeficientu kapilární absorpce sanační omítky na koeficientu kapilární absorpce jiné než sanační omítky	83
Graf 17 Přehled vypočítaných procentuálních hodnocení Cij.....	85

Seznam použitých zkratk a symbolů

např.	například
atd.	a tak dále
aj.	a jiné
tř.	třída
min.	minimálně
max.	maximálně
apod.	a podobně
tzv.	takzvaný
zk.	zkušební
SMS	suché maltové směsi
HV	hydraulické vápno
OH	objemová hmotnost
KKA	koeficient kapilární absorpce
ENB	energetická náročnost budovy