

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

MOŽNOSTI VYUŽITÍ KAMENIVA NA BÁZI ODPADNÍ SKLENĚNÉ MOUČKY V NOVODOBÝCH STAVEBNÍCH MATERIÁLECH

POSSIBILITIES OF UTILIZATION OF AGGREGATE BASED ON GLASS POWDER IN NEW
BUILDING MATERIALS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Novák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2018



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

Student	Bc. Jakub Novák
Název	Možnosti využití kameniva na bázi odpadní skleněné moučky v novodobých stavebních materiálech
Vedoucí práce	doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

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

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

PODKLADY A LITERATURA

- [1] HALAHYJA, M.; CHMÚRNY, I.; STERNOVÁ, Z. Stavebná tepelná technika: tepelná ochrana budov. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 1998. 253 s. ISBN 80-88905-04-4.
- [2] ŠTASTNÍK, S., ZACH, J. Zkoušení izolačních materiálů. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 95 s. ISBN 80-214-2253-X
- [3] Vaverka, J.; Chybík, J., Mrlík, F. Stavební fyzika 2, stavební tepelná technika. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. 420 s. ISBN 80-214-1649-1.
- [4] Kießl, K. Kapillarer und dampfförmiger Feuchtetransport in mehrschichtigen Bauteilen. Rechnerische Erfassung und bauphysikalische Anwendung. Dissertation Essen 1983.
- [5] Künzle, H. M. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. PhD Thesis. Stuttgart: Fraunhofer Institute of Building Physics, 1995.
- [6] Směrnice WTA; 2-9-04/D Sanační omítkové systémy. 1. Vyd. Blansko, 2008. 17 s. ISBN 978-80-02-02103-2.
- [7] Vaněk, L. Vývoj pokročilých tepelně izolačních omítek s možností uplatnění jako sanační omítky dle WTA, Diplomová práce, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2014.
- [7] Rajchot, V. Vývoj tepelně izolačních a sanačních omítek pro památkovou péči, Diplomová práce, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2013.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce se bude věnovat možnostem vývoje lehkých izolačních materiálů z kameniva na bázi odpadní skleněné moučky. Bude se jednat především o tepelně izolační omítky a lehké stavební hmoty, které je možné využít při zateplování nových i starších budov. Při vývoji těchto omítek budou také využity alternativní přídavky na přírodní bázi, jako jsou například přírodní vlákna. V rámci diplomové práce bude provedena v úvodu rozsáhlá literární rešerše, na jejímž základu budou navrženy receptury vyvíjených lehkých stavebních hmot. Na základě těchto receptur bude provedena výroba zkušebních těles a bude provedeno stanovení klíčových parametrů (tepelně technické, reologické, mechanické vlastnosti, apod.). Pozornost bude věnována především vlastnostem významným z pohledu transferu tepla a vlhkosti (tepelně izolační vlastnosti v závislosti na vlhkosti, difúzní vlastnosti, apod.). Závěrem práce bude provedeno celkové vyhodnocení a posouzení konkurenceschopnosti navržených materiálů na stavebním trhu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se věnuje využití odpadní skleněné moučky jako kamenivo v tepelně-izolačních omítkách pro pórobeton. V teoretické části je prvotně rozebrána problematika tepelné ochrany budov. Byla popsána výroba a vlastnosti kameniva z pěnového skla. Následně byla provedena rešerše složení a vlastností omítek. Dále jsou specifikovány tepelně-izolační omítky a bylo navrženo jejich využití při zateplování stavebních konstrukcí.

V praktické části byly navrženy vhodné receptury ve formě suchých omítkových a maltových směsí (SOMS). Z nich byly připraveny zkušební vzorky, na kterých byly měřeny fyzikální a mechanické vlastnosti. Ty se poté porovnaly s požadavky, stanovenými normami a technickými předpisy. Pro přiblížení chování omítek na reálných stavbách byla vybudována zeď z pórobetonu, na kterou byly jednotlivé receptury aplikovány. Sledovalo se, jak se s omítkou pracuje a jak drží na zdivu. V průběhu zrání byl pozorován vývoj trhlin. Tyto aspekty zahrnoval optimalizační výpočet, který určil optimální recepturu. Všechny navržené receptury lze použít jako tepelně-izolační omítky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pěnové sklo, tepelně-izolační omítka, sanační omítka, tepelná ochrana budov, součinitel tepelné vodivosti, objemová hmotnost, pórobeton, vlhkost.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the use of waste glass powder as an aggregate in thermal insulation plasters for AAC. In the theoretical part, the problem of thermal protection of buildings is discussed first. The production and properties of foamed glass are described. Then the research of plasters, their composition and properties was made. Thermal-insulating plasters are specified and their use has been proposed for thermal insulation of building structures.

In the practical part, suitable formulations have been proposed in the form of dry plaster and mortar mixtures (SOMS). Test samples were prepared from them. The physical and mechanical properties were measured. These were compared with the requirements set by standards and technical regulations. To get closer to the behavior of plasters on real buildings an AAC wall was built. The individual recipes were applied on it. It was monitored working with plaster and how it held on the masonry. During ripening crack development was observed. Optimization calculation included these aspects and it determined the optimal recipe. All designed recipes can be used as a thermal-insulating plasters.

KEYWORDS

Foam glass, thermal-insulating plaster, sanatitaion plaster, thermal protection of buildings, coefficient of thermal conductivity, density, autoclaved aerated concrete, moisture.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jakub Novák *Možnosti využití kameniva na bázi odpadní skleněné moučky v novodobých stavebních materiálech*. Brno, 2017. 104 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. 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. 01. 2018

Bc. Jakub Novák
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D. za vstřícnost, poskytnuté rady a dohled nad vypracováváním diplomové práce. Dík také patří všem, kteří mi poskytli odborné informace a rady. V neposlední řadě jsem vděčný své partnerce, která tvořila důstojné prostředí po celé mé studium.

OBSAH

ÚVOD	11
A. TEORETICKÁ ČÁST.....	12
1. TEPELNÁ OCHRANA BUDOV	12
1.1 Udržitelný rozvoj.....	14
2. PĚNOVÉ SKLO.....	17
2.1 Normy pro pórovité kamenivo	18
2.2 Vlastnosti pěnového skla.....	19
2.3 Výroba pěnového skla na granulačním talíři	20
2.3.1 Výrobci granulovaného pěnového skla	21
3. OMÍTKY.....	21
3.1 Normy pro omítky	21
3.2 Všeobecné rozdělení omítek.....	22
3.2.1 Dle záměru výroby.....	22
3.2.2 Dle způsobu přípravy	22
3.2.3 Dle použití	22
3.2.4 Dle funkce	23
3.2.5 Dle objemové hmotnosti	24
3.2.6 Dle pevnosti v tlaku, kapilární absorpce vody a tepelné vodivosti.....	25
3.3 Rozdělení omítek dle pojiva	25
3.3.1 Vápenné omítky	25
3.3.2 Cementové omítky.....	26
3.3.3 Sádrové omítky.....	26
3.3.4 Akrylátové omítky	26
3.3.5 Silikonové omítky	26
3.4 Alternativní pojiva.....	26
3.4.1 Popílek	26
3.4.2 Metakaolin	27
3.4.3 Jemně mletá struska.....	27
3.5 Plniva	27
3.5.1 Písek.....	27

3.5.2	Jemně mletý vápenec	28
3.6	Přísady a příměsi	28
4.	APLIKACE OMÍTEK.....	29
4.1	Obecně závazné podmínky	29
4.2	Zrání omítek	29
4.1	Postup omítání při styku dvou různých materiálů	29
5.	PORUCHY OMÍTEK.....	30
5.1	Trhlinky v omítkách	30
5.1.1	Hlavní typy trhlin	31
5.2	Výkvěty	34
6.	DEGRADACE OMÍTEK	35
6.1	Fyzikální degradace	35
6.2	Chemická degradace.....	35
6.3	Vliv teploty na degradaci	35
6.4	Degradace atmosférickými vlivy.....	36
6.5	Biologická degradace	36
7.	VLHKOST	36
7.1	Zdroje vlhkosti.....	37
7.2	Transport vlhkosti.....	38
8.	TEPELNĚ-IZOLAČNÍ OMÍTKY	39
8.1	Přímo lehčené omítky	39
8.1.1	Pěnotvorné přísady	40
8.1.2	Plynotvorné přísady.....	40
8.2	Nepřímo lehčené omítky	41
8.2.1	Anorganická lehká plniva	41
8.3	Suché omítkové a maltové směsi (SOMS)	43
8.4	Použití tepelně-izolačních omítek	43
8.4.1	Povrchová úprava tepelně-izolačního pórobetonového zdiva.....	43
8.4.2	Energetická sanace	44
8.4.3	Eliminace tepelných mostů.....	45
8.4.4	Omítky v koupelnách.....	46
8.4.5	Sanační omítky	46

8.4.6 Omítání komínu	48
8.5 Požadavky na výsledné vlastnosti TI omítky.....	49
B. PRAKTICKÁ ČÁST	51
1. CÍL PRÁCE.....	51
2. METODIKA	52
3. NÁVRH VSTUPNÍCH SUROVIN.....	53
4. ZKUŠEBNÍ RECEPTURY	54
5. LABORATORNÍ ZKOUŠKY.....	57
5.1 Zkoušky v čerstvém stavu.....	57
5.2 Zkoušky v zatvrdlém stavu	60
6. VYHODNOCENÍ LABORATORNÍCH ZKOUŠEK	67
6.1 Vyhodnocení zkoušek na čerstvé maltě	67
6.2 Vyhodnocení zkoušek na zatvrdlé maltě.....	70
7. PRAKTICKÁ APLIKACE OMÍTEK NA ZDIVO	79
7.1 Metodika hodnocení omítek.....	80
7.2 Definice klíčových parametrů	80
7.3 Vyhodnocení praktických zkoušek	81
8. STANOVENÍ OPTIMÁLNÍ RECEPTURY	88
C. REKAPITULACE VÝSLEDKŮ.....	90
D. ZÁVĚR	94
E. SEZNAM ZDROJŮ	96
F. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	101
G. SEZNAM GRAFŮ	102
H. SEZNAM TABULEK	103
I. POUŽITÉ ZKRATKY	104

ÚVOD

Vzhledem k tomu, že poslední vývoj ve stavebnictví vede k výstavbě energeticky úsporných domů, tak jsou kladeny čím dál větší nároky na provedení jednotlivých detailů budov a eliminace úniku tepla. Důležitou funkci plní povrchové úpravy, nejčastěji to jsou omítky. Výrobci se také snaží využívat alternativní suroviny, zejména pojiva a plniva.

Funkce omítek v ochraně stavebních prvků, jako je zvyšování odolnosti proti povětrnostním vlivům, byla známa i v historii. Musí být splněna funkční, estetická, ekonomická a izolační kritéria. Současné receptury využívají nejrůznější pojiva, ale nejčastěji obsahují běžný či bílý cement a vápno. Nedílnou součástí jsou přísady, příměsi a nejrůznější typy plniva. Současným trendem jsou suché omítkové a maltové směsi (SOMS), které se smíchají s vodou těsně před aplikací na stavbě.

Aby omítka plnila kromě estetické funkce i funkci tepelné izolace, je potřeba použít lehké plnivo. Pro tuto diplomovou práci bylo zvoleno kamenivo z recyklované skleněné moučky ve formě sbalkovaných kuliček (frakce 0-2 mm). Důležité je dosáhnout velmi nízké objemové hmotnosti (pod 1000 kg/m^3), aby součinitel tepelné vodivosti (λ) byl co nejnižší. Zároveň však musí omítka vykazovat dostatečnou přídržnost k podkladu a mít dostatečné pevnosti. Další vlastností omítky je její kompatibilita s podkladem. Modul pružnosti omítky by měl korespondovat s modulem pružnosti podkladu, aby nedocházelo k praskání a vzniku trhlin. Pro eliminaci této vady se do omítky přidávají různá chemická aditiva nebo se v kritických místech omítka vyztužuje.

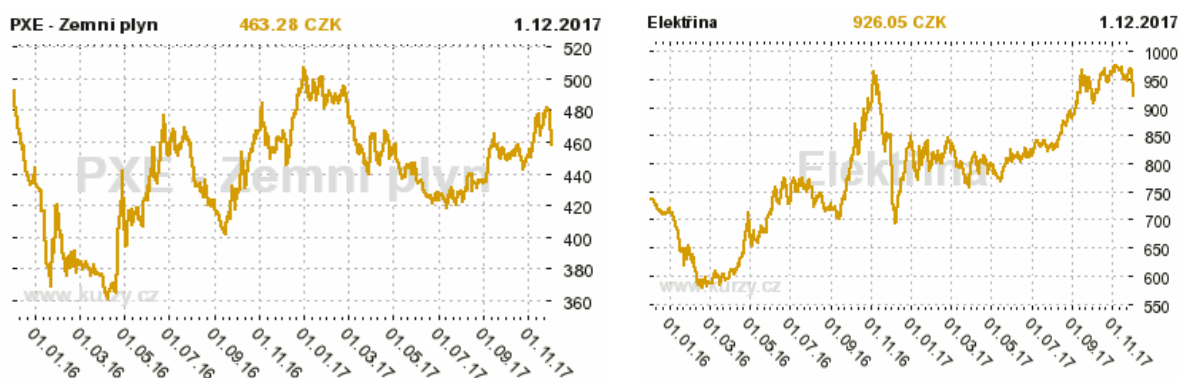
Mnoho zděných budov je postaveno z pórobetonových tvárnic. Ty samy o sobě mají výborné tepelně-izolační vlastnosti, avšak z výroby obsahují značné množství vlhkosti. Ta se sice z konstrukce dostane samovolně, ale až v delším časovém horizontu a až po vyzdění hrubé stavby. Odchod vlhkosti z pórobetonu s sebou nese objemové změny. Proto povrchová úprava, která je aplikována na pórobeton, musí umožňovat tzv. dýchání zdiva. Měla by zamezit tomu, aby se voda dostala do konstrukce z exteriéru. A v neposlední řadě by měla být soudržná, aby se netvořily trhliny, které by znehodnocovaly celou konstrukci.

A. TEORETICKÁ ČÁST

1. TEPELNÁ OCHRANA BUDOV

Nejdůležitějším parametrem pro bydlení je komfort a zdravé vnitřní mikroklima budov. Pro jejich dosažení je potřeba dodávat energii. Ceny energií stále rostou, a proto je snahou snižovat co nejvíce spotřebu. Týká se to již dříve postavených budov, ale i novostaveb. Starší objekty jsou postaveny z materiálů, které mají špatné tepelně-izolační (dále TI) vlastnosti, jsou mnohdy postaveny nekvalitně nebo nejsou zateplené. V kritických místech často dochází ke kondenzaci vodní páry a tvoří se zde plísně.

Pokud zlepšíme izolační vlastnosti celé budovy či pouze jednotlivých konstrukcí, snížíme spotřebu energie na vytápění, zlepšíme tepelnou pohodu a odstraníme negativní hygienické nedostatky.



Obr. 1 Vývoj cen zemního plynu a elektřiny za poslední 2 roky [1]

Navrhování a hodnocení budov podle EPBD II

Hodnocení energetické náročnosti budov je vědní disciplína, které patří do oblasti nazývané „tepelná ochrana budov“ nebo „stavební tepelná technika“. Dříve byly energetické vlastnosti budov posuzovány nepřímo prostřednictvím návrhu jednotlivých konstrukcí. Ty musely být v souladu s normovými požadavky tepelného odporu, případně součinitele prostupu tepla. Přímé hodnocení energetických parametrů budov se neprovádělo.

V současnosti je problematika hodnocení energetické náročnosti budov spjata se Směrnicí Evropského parlamentu a Rady č. 2010/31/EU o energetické náročnosti budov. Ta je známá u odborné veřejnosti pod zkratkou EPBD II. Je to již druhá evropská směrnice, která se vztahuje k této problematice. V návaznosti na výše uvedenou směrnici byl novelizován český zákon o hospodaření energií (zákonem č. 318/2012 Sb.) a vydána i prováděcí vyhláška k tomuto zákonu (vyhláška MPO ČR č. 78/2013 Sb.). Ve stručnosti lze zásadní obsah těchto předpisů charakterizovat tak, že požadují navrhování budov na nákladově optimální úrovni s téměř nulovou spotřebou energie, přičemž se předpokládá, že značná část této spotřeby bude kryta z obnovitelných

energetických zdrojů. Kromě tohoto způsobu energetického hodnocení budov, které lze označit za komplexní hodnocení energetické náročnosti, ještě souběžně existuje hodnocení podle ČSN 73 0540-2:2011. Tato norma stanovuje tepelně technické požadavky pro navrhování a ověřování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání, které zajišťují plnění základních požadavků na stavby, zejména hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu budov podle zvláštního předpisu a zajištění ochrany zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí. Platí pro nové budovy a pro stavební úpravy, udržovací práce, změny v užívání budov a jiné změny dokončených budov [2] [3].

Základní principy EPBD II

Dle EPBD II podíl budov na celkové spotřebě energie v EU činí 40 % a tento sektor se rozrůstá. Podstatné snížení spotřeby energie a využívání energie z obnovitelných zdrojů v sektoru budov proto představuje základní opatření nutné ke snížení energetické závislosti Unie a emisí skleníkových plynů.

EPBD II v této souvislosti stanoví a/nebo doplňuje v návaznosti na EPBD I základní principy a požadavky pro:

- (a) společný obecný rámec metody výpočtu celkové energetické náročnosti budov a ucelených částí budov;
- (b) uplatnění minimálních požadavků na energetickou náročnost budov, jejich částí a technických systémů;
- (c) vnitrostátní plány na zvýšení počtu budov s téměř nulovou spotřebou energie;
- (d) energetickou certifikaci budov nebo ucelených částí budov;
- (e) pravidelnou inspekci otopných soustav a klimatizačních systémů v budovách; a
- (f) nezávislé systémy kontroly certifikátů energetické náročnosti a inspekčních zpráv.

Budovy s téměř nulovou spotřebou energie

EPBD II stanoví povinnost zajistit do 31. prosince 2020, aby všechny nové budovy byly budovami s téměř nulovou spotřebou energie. Směrnice dále stanoví členským státům povinnost zajistit, aby nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci byly po 31. prosinci 2018 budovami s téměř nulovou spotřebou energie.

Za budovu s téměř nulovou spotřebou energie je považována budova, jejíž energetická náročnost bude velmi nízká s tím, že nulová či nízká spotřeba energie by měla být ve značném rozsahu pokryta energií získanou z obnovitelných zdrojů [4].

Jednání Rady EU pro energetiku dne 26. června 2017 v Lucemburku

Hlavními body jednání bylo schválení obecného přístupu ke dvěma legislativním návrhům, a to návrh směrnice Evropského parlamentu a Rady, kterou se mění směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti (EED), a návrh směrnice Evropského parlamentu a Rady, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov (EPBD).

Cílem revize směrnice o EPBD je urychlení efektivní renovace budov, odstranění neaktuálních požadavků a reflektování technologického vývoje. Do původního návrhu

Komise byly vedle připomínek členských států zapracovány také požadavky České republiky. V rámci debaty ke směrnici o energetické účinnosti byly diskutovány dva klíčové prvky, a to cíl energetické účinnosti, který má EU dosáhnout do roku 2030 a závazek povinných každoročních úspor energie. Česká republika hrála konstruktivní roli při konečné formulaci textu k oběma těmto bodům a rovněž přispěla k nalezení kompromisního řešení k vyjádření povahy cíle, který dlouhodobě rozděloval členské státy. Dále se ČR podařilo společně s dalšími zeměmi prosadit do textu flexibility, které na národní úrovni usnadní naplnění závazku povinných úspor energie na nákladově efektivní úrovni. To umožní členským státům snižovat spotřebu energie dle národních specifik, ale zároveň významně nesnižují ambice tohoto páteřního nástroje směrnice o energetické účinnosti. Česká republika podporuje snížení spotřeby energie v EU o 30 % do roku 2030. Většina členských států souhlasila s kompromisní podobou návrhu a schválila obecný přístup k jejímu dalšímu projednání s Evropským parlamentem [5].

1.1 Udržitelný rozvoj

Pojem Trvalá udržitelnost byla v legislativě ČR definována už v Zákoně o životním prostředí č. 17/1992 Sb.: *"Trvale udržitelný rozvoj společnosti je takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zachová možnost uspokojovat jejich základní potřeby, a přitom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystému."*

V této definici se však neuvádí, kolik budoucích generací se to týká. Scénáře se zabývají obdobím pouze do roku 2100. Základní principy pro udržitelný rozvoj formulovali Daly a Cobb v roce 1989. Lze tyto principy shrnout do tří zásad [6]:

1. Míra užívání neobnovitelných přírodních zdrojů nepřekročí míru, jakou mohou být rozvíjeny substituující obnovitelné zdroje.
2. Míra užívání obnovitelných přírodních zdrojů nepřekročí míru jejich regenerace.
3. Míra emisí škodlivin do životního prostředí nedosáhne hranice asimilačních schopností prostředí [7].

Byly vytvořeny koncepce, které se zabývají hodnocením, zda posuzovaný způsob života je či není trvale udržitelný.

Místní obnovitelné zdroje energie a surovin

Tato koncepce vychází z předpokladu, že v dlouhodobém horizontu jsou pro produkci potravin, energie a veškerých služeb k dispozici pouze místní obnovitelné zdroje. Tím jsou: zemědělská půda, lesní půda a sluneční záření a srážky dopadající na sledované území. Těžba a zpracování nerostných surovin je možná v rámci trvale udržitelné spotřeby obnovitelných energetických zdrojů.

Mimo rámec trvalé udržitelnosti se nachází další zdroje, a to fosilní paliva a jaderná energie. Důvodem není ani tak poškozování životního prostředí nebo bezpečnostní rizika jako skutečnost, že zásoby jak fosilních, tak jaderných paliv jsou odhadovány na desítky, nejvýše stovky let [8]. Jaderná fúze je rovněž mimo tuto koncepci, protože není dosud spolehlivě dořešena (přesněji: veškerá budoucí existence spoléhá na jediný

dlouhodobě fungující fúzní reaktor v bezpečné vzdálenosti - 150 milionů kilometrů od Země) [6].

Fytomasa, jeden z nejdůležitějších místních obnovitelných zdrojů, je používána jako potravina pro humánní spotřebu, zdroj tepla, krmivo a stelivo pro hospodářská zvířata, konstrukční materiál, tepelná izolace, hnojivo a další. Dalším poměrně dobře využitelným zdrojem pro celé území České republiky je sluneční záření. Obory, studující využití slunečního záření se nazývají fototermika a fotovoltaika. Energie, vytvořená vodou a větrem, je efektivně využitelné jen ve vybraných lokalitách. Koncept místních obnovitelných zdrojů v podstatě nutí k důslednému využívání synergických efektů, zejména pak k využívání všech surovin, jež jsou dnes označovány za odpady, či vedlejší energetický produkt. Vzhledem k výrazně omezeným zdrojům je pro tuto koncepci velmi zásadní otázka poměru vložené a získané energie, zejména při posuzování fototermiky a fotovoltaiky. Produkce a dostupnost surovin v průběhu roku kolísá, proto je důležitá jejich akumulace [6].

Enviromentální prostor

Koncept environmentálního prostoru se nesnaží o žádné zjednodušování. Jednotlivé položky spotřeby materiálů, energie a zátěž životního prostředí jsou porovnávány s velikostí tzv. environmentálního prostoru, viz tabulka. Koncept environmentálního prostoru zahrnuje mezi zdroje i schopnost ekosystému planety absorbovat dopady lidské činnosti.

Lze předpokládat, že zásoby tzv. neobnovitelných zdrojů stále vznikají, rychlost jejich obnovy je však extrémně nízká. U neobnovitelných zdrojů se proto uvažuje čerpání v rozsahu 1 % nebo 1 ‰ ověřených zásob ročně. Nebudou-li objeveny nové zásoby, je nutno roční spotřebu zdroje průběžně snižovat, naopak budou-li objeveny nové zásoby, může se čerpání zdroje zvýšit. Takový postup vede v důsledku k trvalé udržitelnosti přesto, že čerpání neobnovitelných zdrojů v rozsahu 1 ‰ trvale udržitelné není.

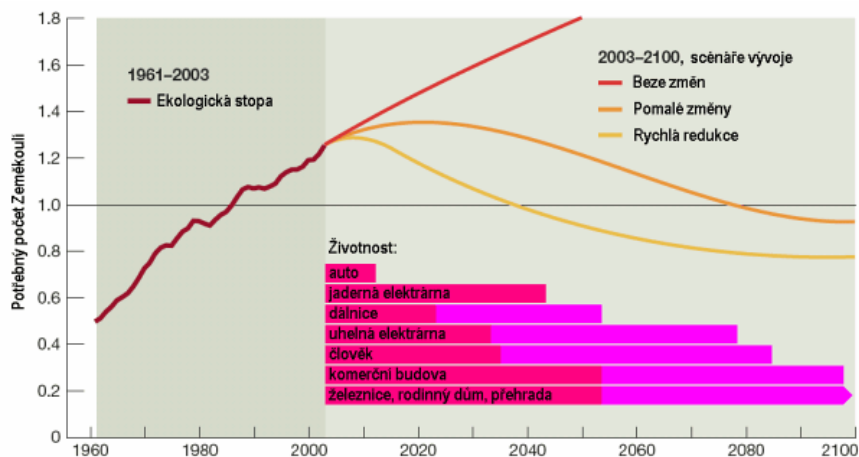
Tab. 1 Enviromentální prostor v Evropě (vybrané položky) [6]

Zdroj	Jednotka	Současné užití na jednoho obyvatele EU za rok	Environmentální prostor na obyvatele EU za rok	Současné užití na jednoho obyvatele ČR za rok
Využití primárních energetických zdrojů	GJ	123	60	182
Fosilní paliva	GJ	100	25	166
Jaderná energie	GJ	16	0	9
Obnovitelné zdroje energie	GJ	7	35	7
Emise CO ₂	kg	7300	1700	12500
Neobnovitelné suroviny				
Cement	kg	536	80	
Surové železo	kg	273	36	
Hliník	kg	12	1,2	
Chlor	kg	23	0	
Využití území				
Celková plocha	m ²	7260	-	7680
Orná půda	m ²	2370	1000	3000
Pastviny a ostatní zemědělská půda	m ²	2040	1085	1170
Hospodářské lesy	m ²	1640	1380	2570
Zastavěná území	m ²	530	513	530
Chráněná a ostatní území	m ²	30	610	410

Ekologická stopa

Pokud zůstane dosavadní vývoj spotřeby, bude během několika desetiletí překročena biologická kapacita Země dvojnásobně. Koncept ekologické stopy má některé vady. Především zanedbává ostatní emise s výjimkou CO₂. Rovněž odhady produkčního potenciálu zemědělské půdy jsou mírně nadhodnocené. Celkově je tedy velikost výsledné ekologické stopy podhodnocena.

Zajímavé je srovnání biologické kapacity Země s globální spotřebou lidstva, které z konceptu ekologické stopy vychází, kolik planet bychom potřebovali pro trvalou udržitelnost našeho způsobu život.



Obr. 2 Ekologická stopa [9]

2. PĚNOVÉ SKLO

Pěnové sklo, označované také jako pórovité sklo, bylo komerčně dostupné od třicátých let 20. století. Původně bylo vyráběno ze speciálně vytvořené sklářské kompozice pouze z čistého skla. V současné době existuje řada výrobních závodů na výrobu pěnového skla, kde ve svém výrobku používají až 98 % postprodukčního odpadního skla. Základním principem výroby pěnového skla je vytváření plynu ve skle při teplotě mezi 700 a 900 °C. Plyn expanduje tak, že vytváří strukturu buněk za vzniku porézního těla. Pěnové sklo může být vyrobeno buď z roztaveného skla nebo ze slinutých skleněných částic. Posledně jmenovaný proces vyžaduje smíchání rozemletého skla s pěnotvorným činidlem, poté zahříváním pěnového činidla se uvolňuje plyn a expanduje roztavenou skleněnou hmotu.

Existuje mnoho patentů na výrobu pěnového skla, ale pro komerční účely se využívá pouze několik z nich. Každý výrobce má své know-how, proto většina informací o výrobě pěnového skla pochází z veřejně publikovaných, všeobecně známých zdrojů. Původní výrobky z šedesátých let byly ve formě bloků. Používalo se borosilikátové sklo. Hlavní výrobci pěnového skla v Evropě a Severní Americe nyní používají ve svých výrobcích vysoké procento recyklovaného odpadního skla. V současné době existují tři hlavní typy výrobků z pěnového skla:

- **Volné kamenivo** – sypké kamenivo, tříděné dle frakcí.
- **Bloky a tvarované prvky** – výroba ve formách, hotové výrobky jsou pak řezány a tvarovány.
- **Peletizace** – průběžná výroba sférických pelet z pěnového skla, které se pak používají při výrobě bloků, panelů a desek.

Pěnové sklo lze využít jako pevný izolační materiál. Díky svým vynikajícím konstrukčním vlastnostem je vhodné jako izolace ve střeších, stěnách a inženýrských stavbách. Pěnové sklo má vynikající žáruvzdorné vlastnosti, velmi nízkou absorpci vody a propustnost vodní páry. To znamená, že má na rozdíl od mnoha jiných typů izolací stejné vlastnosti v mokrém stavu. Používá se také jako průmyslové izolace, jako jsou například sendvičové panely [10].



Obr. 3 Kamenivo z pěnového skla [10]



Obr. 4 Bloky a tvarovky (vlevo), pelety (vpravo) [1]

2.1 Normy pro pórovité kamenivo

Kamenivo z pěnového skla patří do skupiny pórovitých kameniv. Platí pro něj několik norem v závislosti na použití.

- **ČSN EN 13055-1 Pórovité kamenivo – Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty**

Tato evropská norma určuje vlastnosti pórovitého kameniva a pórovitého fileru jako kameniva získaného úpravou přírodních, umělých nebo recyklovaných materiálů a směsi těchto kameniv pro použití v betonu, maltě a injektážní maltě v pozemních stavbách, silnicích a inženýrských stavbách.

Tato evropská norma zahrnuje pórovité kamenivo anorganického původu, které má objemovou hmotnost zrn ne větší než 2000 kg/m^3 nebo sypanou objemovou hmotnost ne větší než 1200 kg/m^3 zahrnující:

- a) přírodní kamenivo;
- b) kamenivo vyrobené z přírodních materiálů a/nebo z vedlejšího produktu při průmyslovém procesu;
- c) vedlejšího produktu při průmyslovém procesu;
- d) recyklované kamenivo.

- **ČSN EN 13139 Kamenivo do malty**

Tato evropská norma určuje vlastnosti kameniva a fileru jako kameniva získaného úpravou přírodního, umělého nebo recyklovaného materiálu a smícháním těchto kameniv pro použití v maltě, např.:

- a) malta pro zdění,
 - b) malta pro podlahové úpravy,
 - c) malta pro vnitřní omítky,
 - d) malta pro podkladní vnější omítky,
 - e) zvláštní podkladní materiály,
 - f) sanační malty,
 - g) injektážní malty,
- pro budovy, silnice a inženýrské stavby.

Tato norma se nezabývá filerem, který se používá jako složka cementu nebo jako aktivní příměs, ale jen jako inertní filer, kameniva pro malty nebo jako kameniva pro povrchové vrstvy průmyslových podlah [11].

2.2 Vlastnosti pěnového skla

Kromě potenciální úspory energie při použití izolantu na bázi pěnového skla existují i jiné výhody materiálu z důvodu jeho nízké objemové hmotnosti. Mezi ně patří flexibilita návrhu, rychlá aplikace, snadnější manuální manipulace, nižší náklady na dopravu. Také je odolný proti hlodavcům, nehořlavý, pohlcující vzduch a neabsorbuje vodu.

Pěnové sklo, jako stavební materiál, je konkurencí pro izolace z polymerních nebo vláknitých materiálů. Polymerní materiály mají špatnou požární odolnost ve srovnání s pěnovým sklem. Pěnové sklo je charakteristické nízkou hořlavostí, tepelnou stabilitou a vysokou chemickou odolností. To jsou výhody oproti polymerním materiálům. Izolace z vláknitých materiálů vyžadují zvláštní manipulační postupy k ochraně uživatele proti vdechnutí vláken či podráždění pokožky.

Požadované vlastnosti pěnového skla jsou vysoká pevnost, nízká objemová hmotnost a nízká tepelná vodivost. Obecně jsou tyto vlastnosti dosaženy tím, že struktura je složena z velkého počtu malých, rovnoměrně rozložených bublin, s

tenkými stěnami mezi nimi. Pěnové sklo je inertní ve většině prostředí s ohledem na biologickou, tepelnou a chemickou degradaci [10].

2.3 Výroba pěnového skla na granulačním talíři

Pro výslednou kvalitu se nejprve recyklované sklo zbaví nečistot a poté se namele na jemnou frakci. Vznikne tak skleněná moučka.

Složení skelné moučky je přibližně takové:

Tab. 2 Chemické složení skelné moučky [12]

SiO ₂	71 %	MgO	0,5-1,5 %
Al ₂ O ₃	1,7-2 %	Na ₂ CO ₃	14-15 %
CaO	9-11 %	K ₂ O	0,5 %

Ta se smísí s určitou dávkou vody, pojící přísadou a expandujícím činidlem. Připravená směs se dávkuje na granulační talíř, kde probíhá sbalkování směsi do kuliček požadovaných velikostí. Sbalky se nechají odležet a poté v rotační peci při 900 °C expandují a získávají výsledné vlastnosti. Po ochlazení se vzorky prosévají skrz síta, aby se rozdělily na jednotlivé frakce. Nakonec se kontroluje kvalita a rozměry výsledných kuliček kameniva. Kamenivo se dodává v pytlech o objemu 55 litrů, velkorozměrových pytlech typu Big Bag o objemu 1,5 m³ a 2,5 m³ nebo jako volně ložené v cisternách a silech.



Obr. 5 Sbalkované pěnové sklo [13]

Takto vyrobené sbalkované kamenivo je vysoce kvalitní výrobek s vynikajícími vlastnostmi. Při objemové hmotnosti 190 až 530 kg/m³ má kamenivo pevnost v tlaku od 1,4 do 2,8 N/mm². Dobré tepelně izolační vlastnosti se podle objemové hmotnosti pohybují ve vysušeném stavu od $\lambda=0,07$ do 0,096 W/(m·K). Kamenivo absorbuje zvuk, je nehořlavé (třída reakce na oheň A1) a v ohni neuvolňuje žádné škodlivé plyny. Zdravotní nezávadnost, odolnost vůči mrazu, teplu, stárnutí, bakteriím, vlhkosti, hmyzu a hlodavcům jsou další kladné vlastnosti tohoto materiálu [14].

2.3.1 Výrobci granulovaného pěnového skla

Firma Liaver® se zabývá výrobou granulátu z expandovaného skla, který se dodává v sedmi frakcích od velikosti 0,1 mm až do velikosti 16 mm. Kamenivo se nejčastěji používá do suchých malt, lehčených omítek, izolačních betonů, násypů a na mnoho dalších stavebních prací. Dalším produktem jsou zvukově izolační desky.

Společnost Dennert Poraver GmbH, která na trhu působí pod jménem PORAVER. Věnuje výrobě a výzkumu skleněného pěněného granulátu. Vyrábí podobný typ kameniva jako Liaver, ale dosahují frakcí v rozmezích 0,04 až 4 mm. Poraver vyrábí i granulát z metakaolínu, který se využívá jako aktivní plnivo v systémech na bázi vápna nebo cementu. V poslední řadě vyrábí hasící prostředek z expandovaného skleněného granulátu použitelný pro hašení a prevenci požárů [14].

Tato diplomová práce se zabývá využitím pórovitého kameniva z odpadní skleněné moučky v novodobých zateplovacích materiálech, především v TI omítkách.

3. OMÍTKY

Omítkami nazýváme povrchovou úpravu stěn z malty nebo jiných materiálů. Omítky mají funkci jako ochranný štít konstrukce chránící stěny před vnějšími vlivy (vlhkost, mráz, slunce atd.) a mechanickým poškozením. Důležitá je však i estetická funkce. Pro omítky platí základní požadavky, jako jsou přídržnost, otěruvzdornost, pevnost v tlaku, propustnost vodní páry a odolnost vůči povětrnostním vlivům. Důležité je správně specifikovat omítku již ve fázi návrhu. Každá omítka musí být deklarována svojí zkratkou (např. obyčejná malta pro vnitřní a vnější omítku) a dále kategoriemi rozsahu pevností v tlaku po 28 dnech, kapilární absorpcí vody a tepelnou vodivostí (u tepelněizolačních malt, u ostatních pouze hodnota). Dále musí být deklarována objemová hmotnost v suchém stavu, přídržnost a způsob odtržení, propustnost vodních par, trvanlivost a reakce na oheň, pro jednovrstvé omítky navíc ještě soudržnost po cyklech uložení. Výrobce musí zajišťovat provedení „Počáteční zkoušky typu výrobku“ a provozuje systém řízení výroby podle této normy. Tato osvědčení platí v celé Evropské unii a malty mají na obalu nebo v průvodní dokumentaci označení CE.

Omítka je sice aplikována až při poslední fázi výstavby, ale pokud nebude dodržen správný technologický postup a vhodný výběr materiálů, může dojít k poškození nosných prvků konstrukce [15].

3.1 Normy pro omítky

- Pro omítky platí výrobková norma **ČSN EN 998-1 ED.3 Specifikace malt pro zdivo – Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky.**

Tuto normu lze použít pro průmyslově vyráběné malty pro vnitřní a vnější omítky s anorganickými pojivy pro vnitřní a vnější omítání stěn, stropů, pilířů a příček. Norma obsahuje definice a kvalitativní požadavky na konečné výrobky.

Týká se malt pro vnitřní/vnější omítky s výjimkou stavebních malt pro vnitřní/vnější omítky. Nicméně však může být tato norma nebo její část použita pro stavební malty spolu s prováděcími pokyny a národními specifikacemi [16].

Omítka je definována jako malta, tedy směs pojiva, plniva a vody určená k aplikaci na stěny. Rozdíl mezi maltou a betonem je především v použitém kamenivu. Do malty přidáváme jako plnivo pouze drobné kamenivo do frakce 4 mm, ale i nižší [17].

- Dále pak pro omítky platí zkušební normy **ČSN EN 1015-1 až -21**.

Zkušební normy budou specifikovány v praktické části u jednotlivých prováděných zkoušek.

3.2 Všeobecné rozdělení omítek

Omítky se mohou dělit dle mnoha kritérií, jako je místo přípravy omítkové směsi, druh pojivové složky, pevnost nebo dle různých vlastností a použití. Dle ČSN EN 998-1 je dělení omítek pro vnitřní a vnější použití následující [15].

3.2.1 Dle záměru výroby

- Návrhové malty podle volby výrobce

Jedná se o maltu navrženou výrobcem a vyrobenou pro určité vlastnosti, které se ověřují požadovanými zkouškami. Jedná se například o pytlované omítky, jež před aplikací smícháme s vodou, nebo o již hotové omítkové směsi dovezené na stavbu těsně před aplikací.

- Předpisové malty

Předpisové omítky (malty) mají předpis dle požadovaných vlastností, ale míchání probíhá až na staveništi dle návodu, ve kterém je poměr písku, pojiva, vody a různých přísad a příměsí.

3.2.2 Dle způsobu přípravy

- Průmyslově vyráběné malty
- Malty zčásti připravené průmyslově
- Stavební malty

3.2.3 Dle použití

- Obyčejná malta pro vnitřní/vnější omítky
- Lehká malta pro vnitřní/vnější omítky
- Barevná malta pro vnější omítky
- Malta pro jednovrstvé vnější omítky
- Sanační malta pro vnitřní/vnější omítky
- Tepelněizolační malta pro vnitřní/vnější omítky

Malty pro vnitřní/vnější omítky nedosahují svých vlastností, pokud po nanesení nezatvrdnou. Užité vlastnosti malty pro vnitřní/vnější omítky závisí na druhu

použitého materiálu, na tloušťce vrstev a způsobu nanesení. Kromě toho ovlivňuje malty pro vnitřní/vnější omítky povrch konstrukce.

Oblastní rozdíly ve stavební praxi, klimatické podmínky a různé složky malt pro vnitřní a vnější omítky neumožňují předepsat normalizované dávkování směsi pro předpisovou maltu, které by bylo použitelné v celé Evropě. Proto specifikace dávkování takové směsi (receptura) a oblast použití by měly vycházet z praxe a zkušeností získaných v místě použití [15] [17] [18].

Další dělení omítek nejsou předepsána normou, ale jsou velmi používaná. Jedná se o tato rozdělení.

3.2.4 Dle funkce

Dělení dle funkce se vyskytuje u vícevrstvého systému i jednovrstvého systému. U vícevrstvého používáme podhoz, jádrovou a štukovou omítku. U jednovrstvého používáme jen jedinou omítku, pod níž se nachází adhezní můstek.

- Postřík (podhoz, špric)

Jedná se o vrstvu z hrubozrnné cementové malty frakce 0-4 mm spojující podklad s dalšími omítkovými vrstvami. Je nutné, aby tato podkladní vrstva měla větší pevnost než následující vrstva, protože má klíčový vliv na přídržnost materiálů. Její povrch musí být hrubozrnný, aby k němu lépe přilnula další vrstva. Obvykle se používá cementový postřík tvořený cementem a pískem, občas i s přídatkem hašeného vápna. V poslední době se těší čím dál větší popularitě různé speciální disperzní soustavy zastávající funkci adhezního můstku. Zcela nevhodné je použití postříku na pórobetonové zdivo, protože hrozí při smršťování cementu odtržení podkladu a vznik trhlin.

- Jádrová omítká

Tato vrstva je ze stavebně-fyzikálního hlediska hlavní částí omítkového systému. Minimální tloušťka jádrové omítky je 20 mm v exteriéru a 15 mm v interiéru. U speciálních omítek lze snížit tloušťku na 10 mm. Zvláštním typem jádrové omítky je omítká lehčená. Obsahují lehčené plnivo, které snižuje její objemovou hmotnost. Ta se obvykle pohybuje kolem 1000 kg/m³. Současné lehčené omítky mohou mít objemovou hmotnost výrazně nižší. Tyto omítky jsou vhodné i pro měkčí podklady (pórobeton). Plní tepelně izolační funkci, nebo další přídatné funkce jako je difuze vodních par či zadržení solí ve svém pórovém systému, což se týká sanačních omítek.

- Štuková (jemná) omítká

Této vrstvě se často říká u vnějších omítek dekorativní nebo fasádní. Jedná se o poslední vrstvu před aplikací nátěru. Její hlavní funkcí je vyrovnání předešlých vrstev. Štuková omítká musí být vždy povrchově ošetřena.

- Strukturální omítka

Pokud chceme vytvořit zajímavou strukturu, dáme jako poslední vrstvu tuto omítku, která obsahuje plnivo o hrubší zrnitosti a po správné aplikaci je na ní vidět požadovaná struktura.

- Jednovrstvá omítka

Tuto omítku aplikujeme buď přímo na podklad, nebo na penetrační vrstvu a plní funkci jádrové i štukové omítky. Pokud máme jádrovou omítku o jemnější zrnitosti, je možné ji použít jako jednovrstvou.

- Stěrková omítka

Stěrková omítka je velmi jemnozrnná a používá se jako poslední vrstva, pokud je vyžadován velmi hladký obklad, který je často potřeba zbrousit. Nanáší se pouze v tenké vrstvě [15] [17] [18] [19].

3.2.5 Dle objemové hmotnosti

- Těžké omítky

Objemová hmotnost dosahuje hodnot nad 2300 kg/m³. Tyto omítky se používají pro speciální aplikace, například jako povrchová vrstva těžkých betonů pro radioaktivní stínění.

- Obyčejné omítky (GP)

Do této skupiny patří omítky pro běžné použití s objemovou hmotností do 2300 kg/m³.

- Lehké omítky – tepelně izolační (LW)

Písek se u lehčených omítek nahrazuje EPS a perlitem, objemová hmotnost je do 1300 kg/m³ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda < 0,37 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

- Vysoce tepelně izolační (T2)

Jedná se o omítky ještě více vylehčené, než předchozí (LW). Objemová hmotnost dosahuje maximálně 800 kg/m³ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda < 0,2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

- Mimořádně vysoce tepelně izolační (T1)

Tyto omítky se používají pro speciální aplikace u nízkoenergetických a pasivních domů. Jejich objemová hmotnost je do 400 kg/m³ a součinitel tepelné vodivosti $\lambda < 0,1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ [18].

3.2.6 Dle pevnosti v tlaku, kapilární absorpce vody a tepelné vodivosti

Tab. 3 Rozdělení dle vybraných vlastností [16]

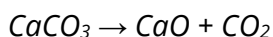
Vlastnost	Kategorie	Hodnoty
Pevnost v tlaku po 28 dnech	CS I	0,4 až 2,5 N/mm ²
	CS II	1,5 až 5,0 N/mm ²
	CS III	3,5 až 7,5 N/mm ²
	CS IV	≥6 N/mm ²
Kapilární absorpce vody	W 0	Není předepsána
	W 1	$c \leq 0,40 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$
	W 2	$c \leq 0,20 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$
Tepelná vodivost	T 1	$\leq 0,1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
	T 2	$\leq 0,2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

3.3 Rozdělení omítek dle pojiva

Pojivo po smíchání s vodou reaguje a pomalu tuhne a tvrdne. Až dosáhne určitých pevností, drží ostatní zrna (pojivo) a jiné látky pohromadě. Pojiva mohou být anorganická a organická. Nejběžnější typ ve stavebnictví jsou pojiva anorganická. Dále můžeme pojiva dělit na vzdušná a hydraulická, která dokáží tvrdnout i pod vodou.

3.3.1 Vápenné omítky

Vápenné omítky mají jako pojivovou složku vápno, které se získává tepelným rozkladem vápence (CaCO₃). Dle výroby dělíme vápno na vzdušné a hydraulické. Vzdušné vápno vzniká pálením namletého vápence v pecích při teplotě 900–1100 °C. Tomuto procesu se říká dekarbonatace a je vyjádřena vztahem:



Výhodou vzdušného vápna je vysoká propustnost pro vodní páru a rychlé vysychání, což je požadováno zvláště při aplikaci omítek na starší zdivo.

Hydraulické vápno se liší chemickým složením. Kromě oxidu vápenatého obsahuje i hydraulické složky, jako je například oxid křemičitý nebo hlinitý. Hydraulické vápno se získává z jílovitých vápenců výpalem na teplotu pod 1250 °C. V současné době se však hydraulická vápna téměř nevyrábí, i když by se jejich aplikace hodila především na památkově chráněné objekty [19].

3.3.2 Cementové omítky

Hlavní pojivová složka je cement. Ten se získává vysokoteplotním výpalem jílovitých vápenců v rotační peci při teplotě mezi 1300 a 1400 °C. Je tedy dosaženo meze slinutí. Po vychladnutí se slínek rozemele, přidá se k němu sádrovec jako regulátor tuhnutí. Výhodou cementu je rychlý nárůst pevnosti a vysoká pevnost. Omítky s cementovým pojivem se používají především jako postřík pod vápenné omítky. Je důležité, aby se tento podhoz nedostal pod omítku se síranovým pojivem, což by vedlo k objemovým změnám vlivem vytvoření sekundárního ettringitu, a tím pádem i ke mechanickému poškození omítky [15].

3.3.3 Sádrové omítky

Sádrové omítky obsahují síranové pojivo, kde je hlavní složkou síran vápenatý CaSO_4 . Sádra vzniká ze sádrovce (přírodní původ) nebo energosádrovce. Sádra se řadí mezi vzdušná pojiva, to znamená, že není vhodné ji použít v exteriéru. Výhodou je velmi rychlé tvrdnutí, hladký povrch výsledné omítky a zrovnoměnění relativní vlhkosti v interiérech [15].

3.3.4 Akrylátové omítky

Omítky s akrylátovým pojivem jsou vhodné pro exteriérové aplikace, protože jsou odolné vůči vodě, mrazu, solím i kyselinám. Také je lze dobře probarvovat. Tato pojiva vznikají smícháním vody, polymeru a dalšími nepolymerními látkami. Jako polymer se používá akrylátová pryskyřice [15].

3.3.5 Silikonové omítky

Jedná se také o omítky s polymery, ovšem zde jako polymer slouží silikonát. Ten zlepšuje přídržnost omítky, tepelnou odolnost, odolnost proti vodě a také je lze velmi dobře probarvovat [15].

Toto rozdělení je pouze základní, protože se běžně omítky dělí na vápenné, vápenocementové, vápenosádrové, sádrové a speciální. Druh pojiva ovlivňuje jejich vlastnosti, způsob použití i reakce na vodu, soli či jiné degradační činitele [15].

3.4 Alternativní pojiva

Běžně používaná tradiční pojiva jsou uvedena výše. Avšak je nutno zmínit i jiné alternativní druhy pojiv, které umožňují snižovat množství těchto původních. Důvodem nahrazování tradičních pojiv je energetická náročnost jejich výroby a ekologický vliv. Alternativní pojiva jsou odpadní suroviny, lépe vedlejší produkty.

3.4.1 Popílek

Popílek je druhotná surovina vznikající spalováním uhlí v práškovém stavu. Je zachytáván v odlučovačích a pro životní prostředí představuje velký objem odpadu. Popílkové mají po mineralogické, chemické a granulometrické stránce proměnlivé složení závislé na druhu spalovaného uhlí a způsobu odlučování.

Pro přípravu TI omítek je příznivá zejména nízká sypaná hmotnost. Ta se pohybuje v rozmezí 550-900 kg/m³. Další pozitivní vlastností popílků je pucolánová aktivita [20].

3.4.2 Metakaolin

Metakaolin není na rozdíl od popílku druhotná surovina. Jedná se o pucolán vyráběný výpalem kaolinů, kaolinitických jíílů a dalších vhodných surovin při teplotách v rozmezí 600-900 °C. Metakaolin se využívá jako příměs do malt pro omítky, neboť zlepšuje mechanické a tepelné vlastnosti omítek. Zvyšuje také odolnost vůči mrazu. Reakcí s hydroxidem vápenatým za přítomnosti vlhkosti získává metakaolin pojivové schopnosti a vznikají hydratované kalciumsilikáty a alumináty [20].

3.4.3 Jemně mletá struska

Struska je typickým zástupcem latentně hydraulických látek. V oblasti stavebních pojiv je využívána jako složka v portlandských směsných cementech. Strusky jsou zpravidla přetavené silikátové odpady vznikající při redukování surového železa ve vysokých pecích. Vznikají roztavením hlušin rudy, minerálních podílů z pevných paliv a přísadků struskotvorných látek. Nejvíce používané jsou strusky vysokopecní, které z chemického hlediska obsahují průměrně 38 % SiO₂, 42 % CaO, 10 % Al₂O₃, dále pak 6 % MgO, 2 % MnO, 1 % FeO, 1 % S²⁻ a stopy F₂O₅ [20].

3.5 Plniva

Plnivo zaujímá objemově největší položku. Jeho hlavní funkcí je omezit množství pojiva, vylehčit výslednou směs a vytvořit kompaktní prvek. Je nutné dokonale zhomogenizovat pojiva s plnivem. Přídavkem vody vznikají malty vhodné pro zdění a omítání. Zástupci plniv jsou zejména křemičité písky, kamenné drti a kamenné moučky.

Pro lehké tepelně izolační omítky se velmi často využívá výhodných vlastností plniv s nízkou objemovou hmotností a nízkou tepelnou vodivostí. Nejčastějšími plnivem lehkých omítek jsou expandovaný polystyren, granulát polyuretanové pěny, expandovaný perlit, popřípadě také expandovaný obsidián, vermikulit, pemza, keramzit nebo kamenivo z pěnového skla, které je použito jako plnivo v této diplomové práci. Podrobnější informace o pěnovém skle viz. kapitola 2.

3.5.1 Písek

Nejčastěji používaným plnivem běžných malt jsou písky. Rozdělují se na kopané nebo těžené (tzv. říční) písky. Kopané písky obsahují ostrohranná i zaoblená zrna a disponují širší distribucí velikosti částic. V malé míře jsou v nich obsaženy odplavitelné částice jílového charakteru. Oproti tomu těžené písky mají zrna zaoblená a obsahují jen nepatrné množství jemných částic. Nemají širokou distribuci velikosti částic, neobsahují jílové podíly a celkově jsou poměrně čisté. Písek by měl mít takovou zrnitost, aby menší zrna vyplnila prostor mezi většími zrny. Zmíněná vlastnost platí i pro ostatní kameniva. Vlastnosti písku bývají často opomíjeny. Písky pro výrobu malt by měly mít podíl jemných frakcí do 0,25 mm minimálně 15 % (optimálně 25 %). Podíl hrubších frakcí

závisí již na konkrétním způsobu užití a receptuře. Postřík obsahuje hrubší frakci, naopak vrchní omítka jemnější. Další důležitou vlastností je čistota písku, která může negativně ovlivňovat vlastnosti zatvrdlých omítek. Obsah jílových částic písku do omítkových malt musí být méně než 5 %. Obsah síry nesmí být u malt s cementem vyšší než 1 %. Dalšími negativními látkami jsou rozpustné soli. To jsou látky, ze kterých jsou schopné rozpustné soli vzniknout a také organické nečistoty (humus) [19] [20].

3.5.2 Jemně mletý vápenec

Jemně mletý vápenec se používá v suchých maltových a omítkových směsích jako plnivo. Jeho jemná frakce tak zvyšuje podíl jemných částí.

V bakalářské práci (Žižlavský T., Omítky s přídavkem jemně mletého vápence, Brno 2015) autor zkoumal vliv přídavku jemně mletého vápence na výsledné pevnosti omítek. Zaměřil se především na omítky s vápenným pojivem. Výsledky prokázaly, že přídavek mletého vápence zvýšil pevnost v tlaku.

3.6 Přísady a příměsi

Kromě pojiv a plniv obsahují malty pro omítky široké spektrum přísad a příměsí. Jsou to látky, které se přimíchávají do výrobního procesu a mění požadované vlastnosti omítkových směsí. Přidávají se ve velmi malém množství, řádově v desetinách až jednotkách procent. Lze je jednoduše rozdělit podle účelu, k jakému jsou určeny. Moderní výroba omítek využívá nejrůznější látky (viz. následující tabulka):

Tab. 4 Druhy přísad pro výrobu omítek [19]

Druh přísady	Funkce	Typ přísady
Barvivo, pigment	Probarvení omítky ve hmotě	Organické a anorganické pigmenty, např. hlinka, rostlinné pigmenty, titanoxid, chrom, oxidy železa
Zpevňovače	Zvýšení pevnosti omítky	Polyuretany, silikony, živočišné tuky (historie)
Plastifikátory	Zlepšení zpracovatelnosti	Celulóza, akrylátová emulze, silikony
Adheziva	Zlepšení lepivosti malty	Akrylová pryskyřice, epoxid, PVAc emulze
Hydrofobizátory	Vodoodpudivost	Stearáty, silikony, klíh, kasein
Urychlovače	Zrychlené tuhnutí a nárůst pevností	Chlorid vápenatý, hydroxid barnatý, tvaroh

4. APLIKACE OMÍTEK

4.1 Obecně závazné podmínky

Vnitřní omítky se provádějí nejdříve po dvou měsících od vyzdění stavby, když je zdící malta dostatečně vyztáá a vlhkost zdiva, zejména v zimních měsících, nepřekračuje stanovenou mez uvedenou v ČSN EN 1996-2 Provádění zděných konstrukcí. V zimním období je nutno místnost před omítáním temperovat minimálně jeden den předem na teplotu alespoň +5 °C. Pro vnější omítky platí, že se mohou provádět nejdříve dva měsíce po vnitřních omítkách, aby došlo k dostatečnému vysušení zdiva. Opět musí být splněna podmínka vlhkosti zdiva (zejména v jarním a podzimním období) podle ČSN 73 2310. Nedoporučuje se provádět vnější omítky v zimním období nebo při očekávaných mrazech, a to ani za použití mrazuvzdorných přísad, neboť podklad může být namrzlý a omítka by neměla dostatečnou přídržnost k podkladu [21].

4.2 Zrání omítek

V současné době až nereálných požadavků na rychlost výstavby se na stavbách setkáváme s velice rychlým postupem omítkových prací. Omítky bývají prováděny na vlhké zdivo a jednotlivé vrstvy se provádějí za sebou ve velmi krátkých intervalech, takže vůbec nejsou schopny postupně vyztát a vyschnout. Důsledkem časově napjatých smluv o dodávkách stavebního díla jsou nutně i vady povrchových úprav zděných konstrukcí, jejichž příčinou je ve většině případů nedodržení technologických postupů při jejich provádění. Také technologická vlhkost z prováděného zdiva, stropů, omítek a podlah uzavřená uvnitř objektu může napáchat velké škody. Každá vrstva omítky, která tvoří podklad pro další vrstvu, musí zrát určitou dobu. Postřík, podhoz, přednástřík či špric (podle terminologie různých výrobců, avšak stále jedno a totéž – spojovací můstek mezi podkladem a první vrstvou omítky) by měl zrát 2 až 3 dny, všechny druhy omítek pak jeden den na každý jeden milimetr tloušťky, nejméně však 14 dní, a to i při minimální tloušťce jedné vrstvy 10 mm. Pro zamezení vzniku smršťovacích trhlin se doporučuje vrstvu omítky v prvních dvou dnech udržovat ve vlhkém stavu [21].

4.1 Postup omítání při styku dvou různých materiálů

Všechny styky dvou různých podkladních materiálů (beton-cihla, pórobeton-cihla, heraklit-cihla apod.) ve vnějším i vnitřním prostředí by měly být vyztuženy rabszovým pletivem nebo alkalivzdornou sklotextilní síťovinou s velikostí ok cca 8x8 mm. Výztuž se klade do jádrové omítky pod její povrch (krytí min. 3 mm), maximálně však do 1/3 tloušťky pod její povrch (jádrová omítka se provádí ve dvou vrstvách – do první se vmáčkne pletivo nebo tkanina a hned se nanese další vrstva). Pás výztuže by měl být minimálně tak široký, aby přesahoval 150 mm na každou stranu od styku [21].

5. PORUCHY OMÍTEK

Omítky jsou náchylné ke vzniku poruch, které mohou snižovat estetickou hodnotu (vzhled) díla, případně mohou ovlivnit kvalitu konstrukcí (např. zatékáním vody) a vznik následných poruch. Příčinami poruch mohou být teplotní a vlhkostní změny, působení vody a atmosférických vlivů, kvalita a podmínky provádění, zranění a další.

5.1 Trhlinky v omítkách

Nejčastějším problémem u omítek jsou trhlinky. Většinou jsou trhlinky malé tzv. vlasové, které nemají podstatný vliv na kvalitu stavby. Avšak i tyto malé trhlinky vzbuzují pocit nekvalitně provedených detailů např. v oblasti soklu nebo okenního ostění.

Z hlediska aplikace omítek při současném obvyklém tempu výstavby (při nedodržení technologických postupů a přestávek) lze pro hladké povrchové úpravy a nátěry vyslovit jednoznačný požadavek na použití buď lehkých nebo tepelněizolačních omítek s hydrofobizovanou krycí (uzavírací) vrstvou nebo použití výztužné síťoviny pod štukovou omítku. Podle zahraničních poznatků však ani tato opatření nemusejí vždy zaručit omítku bez trhlin, proto odborníci hladkou povrchovou úpravu raději nedoporučují.

Z technologických předpisů výrobců a prodejců omítkových suchých maltových směsí je možné vyčíst obecné požadavky na podklad pro omítky:

- musí být suchý (max. vlhkost zdiva 6 %, v zimním období max. 4 %);
- musí být prostý prachových částic a uvolněných kousků zdiva;
- nesmí se drolit;
- musí být očištěný od případných výkvětů;
- nesmí být zmrzlý a vodoodpuzející;
- měl by být maximálně rovinný s plně vyplněnými spárami mezi jednotlivými cihlami.

Problematika vnějších omítek je o něco složitější než u omítek vnitřních. Vnější omítky jsou totiž přímo vystaveny klimatickým vlivům, a proto tvoří určitý „narázník“ proti působení vnějšího prostředí. Díky obrovským teplotním výkyvům v zimním i v letním období (během 24 hodin rozdíl teplot až 40 °C) jsou na fyzikální vlastnosti vnějších omítek kladeny vysoké nároky – musejí přenést tahy a tlaky od smrštění či roztažení vyvolaných změnou teploty, přenést napětí vznikající od teplotního spádu vzhledem k jejich tloušťce, vyrovnat se se změnou podkladu (cihla/tvárnice versus malta ve spárách) a při tom všem mít dostatečnou přídržnost k takovému podkladu či odolnost proti vnějšímu mechanickému poškození. V absolutní většině případů se pro zlepšení přídržnosti jádrové omítky doporučuje provést cementový postřík nebo postřík vyráběný též jako suchá maltová směs, neboť právě na styku podkladu s omítkou vznikají největší pnutí. Jestliže se pro jádrovou vrstvu použije vápenocementová nebo cementová omítky, měla by být její tloušťka alespoň 15 až 25 mm.

5.1.1 Hlavní typy trhlin

Důležitým hlediskem je rozlišení, zdali je trhlina způsobena podkladní konstrukcí nebo je trhlina výhradně ve vrstvě omítky.

Trhliny způsobené konstrukcí podkladu

Tyto trhliny vznikají v důsledku polohových změn, tvaru nebo objemu konstrukce po omítnutí. Jsou dobře rozpoznatelné, jelikož prokreslují závadu v konstrukci. Tím mohou být například pravidelné svíslé dilatační trhlinky po celé výšce zdi nebo prokreslený reliéf tvárnic na fasádě. Lze rozlišit dva druhy konstrukčně podmíněných příčin vzniku trhlin:

1. Příčiny **trhlin v již omítnutém zdivu** (podkladu).

Jsou to především objemové změny (smršťování, bobtnání, teplotní délkové změny atd.).

2. Příčiny trhlin **v konstrukci**.

Sem patří změny polohy, tvaru nebo objemu nosné konstrukce, například délkové změny způsobené sedáním, změny tvaru způsobené průhybem atd.

Obecně lze příčiny vzniku trhlin rozdělit na:

- vlhkostní nebo teplotní změny objemu podkladu omítky (vlhký pórobeton);
- rozdílné stavební materiály v podkladu s různou nasákavostí, pevností, roztažností a dalšími stavebně fyzikálními vlastnostmi;
- nerovnosti podkladu, které jsou příčinou skokových změn tloušťky omítek.

Trhliny způsobené špatným složením či přípravou omítky

Příčiny vzniku tohoto typu trhlin jsou způsobeny zpracováním omítky nebo v materiálovém složení omítky. Trhlinky mají typický vzhled, podle něhož jde dobře rozlišit příčinu [19].

Kapsové trhliny

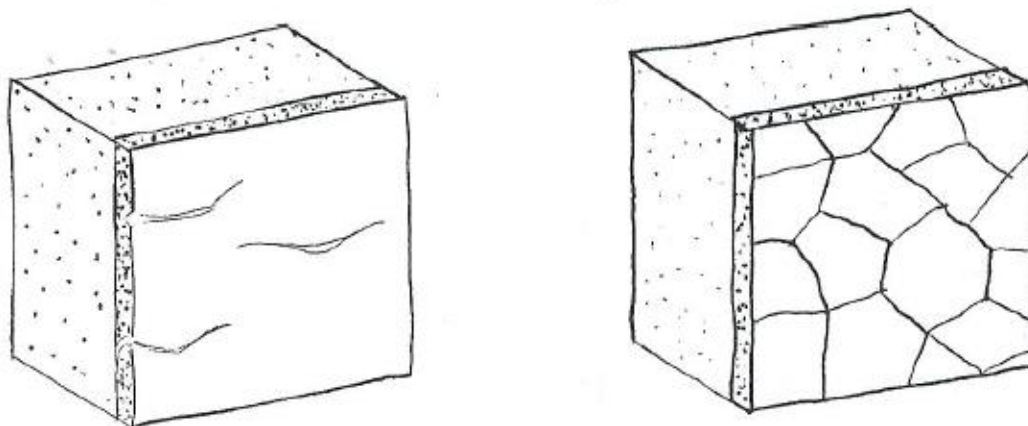
Jsou to krátké a převážně vodorovně probíhající trhliny, které mají délku 10-20 cm. Jejich tloušťka je cca 3 mm. V oblasti dolní plochy trhliny může být omítka oddělená od podkladu. Kapsové trhliny vznikají v ještě plastické maltě. Předpoklady pro vznik těchto trhlin jsou následující:

- pokud je vrstva omítky příliš silná;
- při špatné přilnavosti k podkladu;
- v případě příliš dlouhého nebo příliš intenzivního hlazení povrchu omítky;
- při příliš tekuté konzistenci a vyšší objemové hmotnosti omítky.

Smršťovací trhliny v čerstvé omítce

Trhlinky tvoří síť a dosahují při průměrné vzdálenosti cca 20 cm tloušťku do 0,5 mm. Typicky jsou to trhliny povrchové a nezasahují až k podkladu. Vznikají 1-2 hodiny po nanesení omítky. Abychom zabránili vzniku těchto trhlin, je nutné povrch správně

ošetřovat nebo zamezit příliš rychlému vyschnutí povrchu. V jádrové omítce neovlivňuje kvalitu omítky, pokud šířka trhliny nepřekračuje 0,1 mm. Vyspráva těchto trhlín se řeší štukovou nebo jinou tenkovrstvou omítkou.

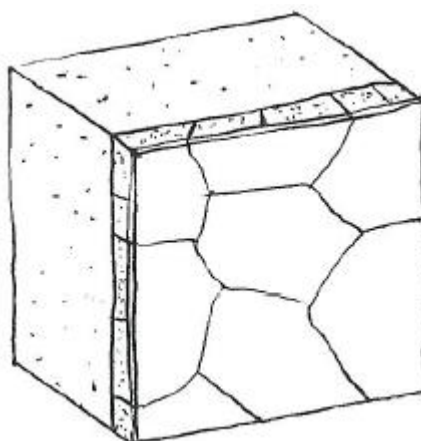


Obr. 6 Kapsové trhliny (vlevo) a smršťovací trhliny v čerstvé omítce (vpravo) [19]

Smršťovací trhliny v zatvrdlé omítce

Typickým tvarem těchto trhlín je tzv. „Y forma“, přičemž mohou být trhlinky spojeny tak, že vytváří síť. Tyto trhliny vznikají nesprávnou technologií omítek. Na rozdíl od trhlín v čerstvé omítce mohou zasahovat až k podkladu. Vznikají převážně v době 1-2 měsíců po dokončení omítek. Jednotlivé kusy se mohou oddělovat od podkladu. Tyto trhliny se mohou tvořit, pokud:

- omítkový systém není vhodný vzhledem k podkladu (příliš velké rozdíly modulu pružnosti nebo velká tloušťka omítky);
- samotná skladba omítkového systému není vhodná (příliš velké rozdíly v pevnostech jednotlivých vrstev nebo příliš velké tloušťky jednotlivých vrstev);
- omítka není dostatečně spojena s podkladem (např. vrstva prachu či špíny na zdivu před omítáním);
- nebyly dodrženy doby zrání jednotlivých vrstev.



Obr. 7 Smršťovací trhliny v ztvrdlé omítce [19]

Mastné trhliny

Krátké vlasové trhliny, které se objevují pouze na povrchu omítek. Vznikají například na minerálních dekorativních omítkách se strukturovanou zrnitostí. Obdobné vlasové trhliny vznikají také v důsledku vyššího obsahu pojiva na povrchu omítky a jsou podmíněné použitým omítkovým systémem. Nepředstavují žádný závažný problém.

Kombinace příčin

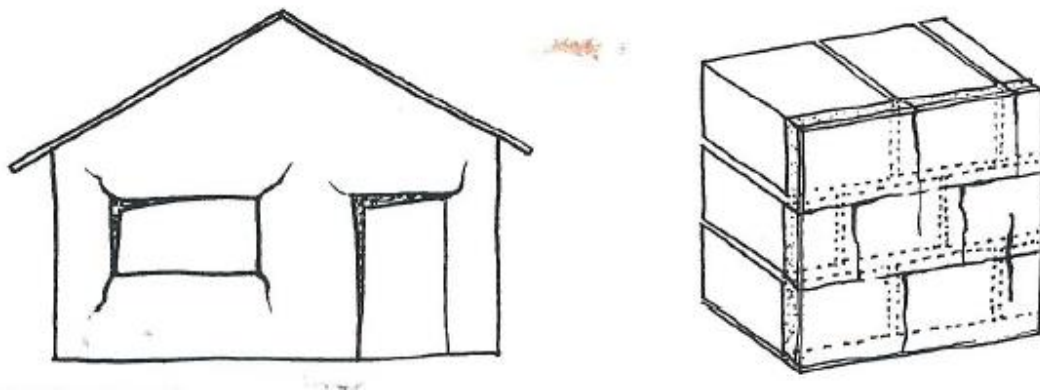
Trhliny podmíněné omítkou a konstrukcí zároveň rozdělujeme na dvě hlavní skupiny:

1. Rohové (vrubové) trhliny

Navazují diagonálně na rohy pravoúhlých otvorů v omítce nebo zdivu. Rohové trhliny vznikají v důsledku koncentrace napětí v koutech otvorů v omítkách nebo stěnách. U zdiva vznikají tato napětí převážně v důsledku přetvoření podkladu omítek. U sendvičových TI systémů se může jednat také o omítkou podmíněné trhliny (pokud chybí diagonální armování v koutech).

2. Spárové trhliny

Trhliny tvoří pravidelný obrazec, který připomíná průběh ložných spár zdiva. Svisle orientované trhliny mezi dvěma ložnými spárami mohou jít i místem, kde je pod omítkou zdící prvek. Trhliny bývají široké cca 0,05-0,15 mm. Příčiny spárových trhlín mohou spočívat jak v podkladu, tak ve zpracování omítky.



Obr. 8 Rohové (vrubové) trhliny (vlevo) a spárové trhliny (vpravo) [19]

5.2 Výkvěty

Tzv. výkvěty vznikají na neomítnutém i omítnutém zdivu vynášením vodou rozpustných solí a vápenných sloučenin ze zdiva na jeho povrch. Zdrojem vyplavitelných částic mohou být jak zdivo, tak zdicí malty a omítky. Výkvěty na zdivu vznikají pouze tam, kde je ve zdivu zvýšená až nadměrná vlhkost, která soli uvolní a pak je vynese k povrchu zdiva ve směru difúzního toku. Na povrchu zdiva se vlhkost odpaří a zůstane solný či vápenný povlak/výkvět. Pokud by se výkvěty z povrchu zdiva neodstranily, mohly by v budoucnu ovlivnit soudržnost omítky s podkladem, neboť působí mechanicky jako separační vrstva. Při odstraňování výkvětů se postupuje následujícím způsobem:

- odstraní se příčina zvýšené vlhkosti zdiva např. porucha střešního pláště, dešťového svodu, vnitřní kanalizace či vodovodu;
- nebo se zdivo ochrání před povětrnostními vlivy;
- zdivo se nechá dokonale vyschnout;
- z povrchu zdiva se ocelovým kartáčem odstraní veškeré povlaky a případné jiné nečistoty či uvolněné kousky malty nebo cihel – tento postup lze několikrát zopakovat s časovým odstupem; alkalické a hořčnaté výkvěty samovolně mizí působením deště;
- na napadených místech se provede cementový postřík s přesahem 1 m na nenapadený podklad, pokud není v projektu předepsán pro veškeré zdivo i bez výkvětů (100 % krytí podkladu není nutnou podmínkou);
- na 2 až 3 dny vyzrálý cementový postřík se provedou omítky ve skladbě podle projektu při dodržení zásad pro dobu zrání jednotlivých vrstev [21].

6. DEGRADACE OMÍTEK

Degradace je proces, který probíhá bez výjimky ve všech stavebních materiálech. Důležitým faktorem je kvalita provedení a kvalita samotných materiálů. Na těch nekvalitních se degradace projeví nejvíce. Omítky jsou heterogenním materiálem, proto je nutné brát v potaz degradaci jednotlivých složek systému, ale i degradaci omítky jako celek. Degradace se dělí na fyzikální, chemickou a biologickou. Většinou se vyskytuje synergie více typů současně [15].

Degradace je složena z erozních kroků čistě fyzikální podstaty (mechanické zatěžování, dilatační expanzní pochody, krystalizace solí v pórech) a korozních pochodů (přeměny chemické povahy vedoucí ke vzniku nových látek rozdílného mineralogického složení) [22].

6.1 Fyzikální degradace

Omítky či jiné povrchové úpravy jsou vystaveny mechanickému namáhání. Tím mohou být síly, tlaky, vibrace nebo otěry. Degradacím vlivem je i zatížení změnou teploty, působením vody a solných roztoků. Následkem těchto vlivů dochází ke změně makrostruktury a celistvosti systému.

6.2 Chemická degradace

Tento typ degradace svým působením zasahuje přímo do krystalové mřížky materiálů a mění chemické složení. To má za následek například změnu barvy či objemu. Tyto změny jsou viditelné, avšak chemická degradace může způsobit i na první pohled neviditelnou změnu, kterou je především rozpustnost látek ve vodě. Chemická degradace nemusí vždy působit negativně, ale lze ji využít například při ochraně památek. Do malt či omítek se přidává vápenná voda nebo nanodisperze $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. Tím se dosáhne, aby látka přešla na hydroxid či uhličitán vápenatý (karbonatace).

Degradaci ovlivňuje několik faktorů, které mají účinek na celý průběh. Mezi hlavní faktory způsobující změny nejen v omítkách, je teplota, vlhkost, atmosférické vlivy, soli a biologičtí činitelé.

6.3 Vliv teploty na degradaci

Důležitým faktorem pro tento typ degradace je barva výsledné povrchové úpravy. Neboli také schopnost absorbovat záření o různých vlnových délkách. Nesmíme opomenout také koeficient délkové teplotní roztažnosti α [1/K], který určuje, jak omítka bude tvarově reagovat na absorbované teplo. Šíření tepla probíhá skrz omítku postupně od povrchu ke středu a díky tomu je mezi jednotlivými vrstvami teplotní gradient, který může být řádově i v desítkách stupňů Celsia. Proto je velmi důležité správně navrhnout výslednou barvu povrchové úpravy. Teplo nejvíce absorbují tmavé barvy (černá, hnědá, tmavě šedá či sytá tmavá červená).

Kombinace všech těchto vlivů vede k pnutí na rozhraní jednotlivých vrstev, které způsobuje vznik trhlin. Kromě slunečního záření lze do této kapitoly zahrnout i změnu teploty způsobenou požárem. Při 300 °C dochází k praskání křemičitého kameniva a při 573 °C k přeměně α -křemene na β -křemen. Tato přeměna je doprovázena objemovou expanzí. Pro zvýšení odolnosti je vhodné použít jako plnivo např. perlit či vermikulit, který odolává i vysokým teplotám.

6.4 Degradace atmosférickými vlivy

V atmosféře jsou zastoupeny nejrůznější látky, jako je například dusík, kyslík, argon, oxid uhličitý, oxidy síry a dusíku, vodní pára či částice pevných látek (v okolí průmyslových areálů). Reakcí deště a plyných exhalátů vznikají roztoky anorganických kyselin. Ty reagují s hydroxidem vápenatým a vznikají soli, které způsobují velké krystalizační tlaky. Atmosférické vlivy způsobují také vyšší rozpustnost matrice omítky ve vodě.

6.5 Biologická degradace

Bakterie, plísně, řasy či houby vznikají především díky vysoké vlhkosti a pohybu vzduchu.

Bakterie se množí při vlhkosti nad 10 % a při teplotách 5 °C až 35 °C. Živí se převážně uhlíkem, dusíkem či minerálními prvky. Nebezpečné jsou bakterie pro omítky tím, že na sebe vážou vlhkost a produkují soli.

Řasy potřebují pro existenci dostatečnou vlhkost a minerální látky. Důležité je pro většinu i světlo. Řasy snášejí velký rozptyl teplot a prostředí s pH od 3,5 do 9. Řasy produkují CO₂, které zvyšuje rozpustnost uhličitánů. Také mohou vznikat expanzní tlaky, které zvyšují pórovitost. Řasy zadržují vodu, čímž je omítka zatížená zvýšenou vlhkostí.

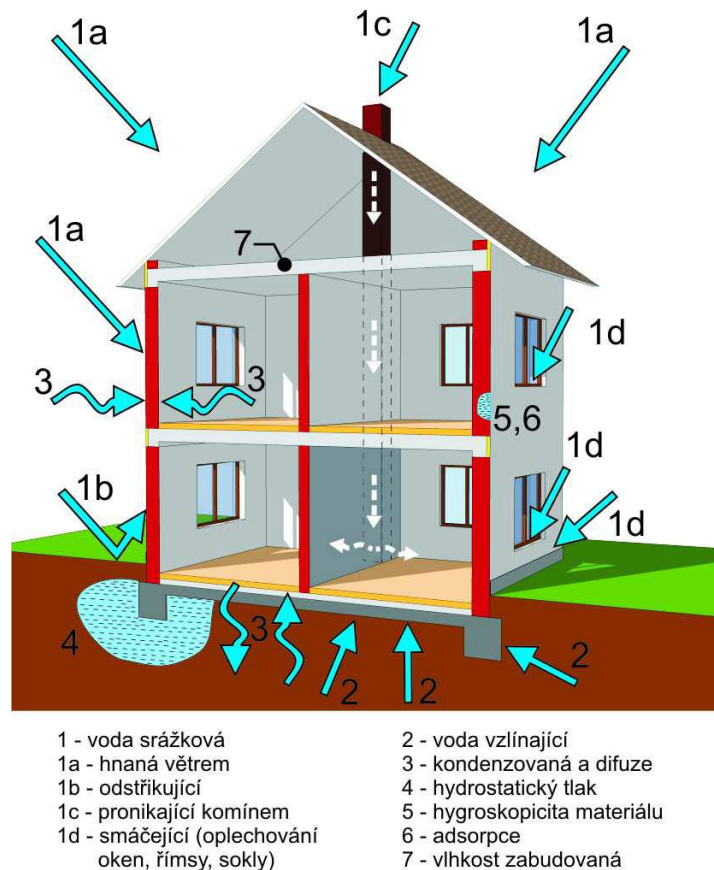
Houby se vyskytují v prostředí o teplotě 20-30 °C. Je nutná dostatečná vlhkost, malé množství minerálních látek a slabě kyselé prostředí. Houby dobře vážou vodu, dokážou prorůst konstrukcí, šíří patogeny a produkují kyseliny (šťavelová, vinná a octová). Omítky jsou namáhány mechanicky i chemicky.

Živočichové porušují omítky převážně mechanicky. Například ptáci klovou do omítek, pavouci znečišťují povrch pavučinami atd. [15] [23]

7. VLHKOST

Většina stavebních látek potřebuje pro svou výrobu vodu. Ta v nich zůstává v určitém množství a časem se vypařuje. V malém množství může být i pozitivní, protože příznivě ovlivňuje mikroklima. Problém nastává, pokud dojde k jejímu nahromadění a nemá se kudy dostat do ovzduší. Tento fakt způsobuje snížení funkčnosti, spolehlivosti konstrukce, napomáhá degradaci a zhoršuje fyzikálně-mechanické vlastnosti. Existuje několik typů vlhkosti dle prostředí:

- Atmosférická voda – voda obsažená v ovzduší ve všech skupenstvích. Zahrnuje vlhkost vzduchu a srážky.
- Podpovrchová voda – voda, která se nachází v půdě. Dělí se na gravitační, půdní, kapilární a podzemní.
- Provozní voda – jedná se o vlhkost (někdy i kapalná) působící důsledkem technologických procesů.

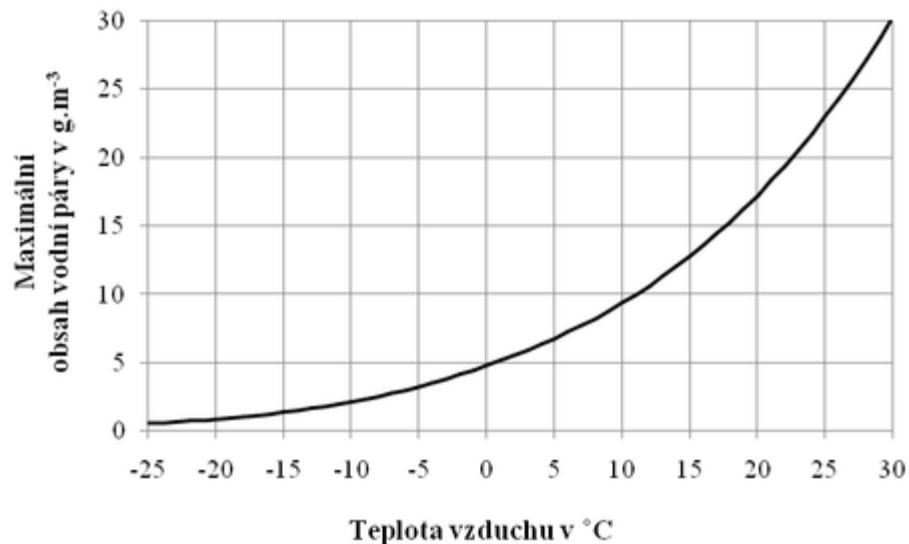


Obr. 9 Zdroje vlhkosti [24]

7.1 Zdroje vlhkosti

- Srážková voda – tento typ vniká do konstrukce převážně přes soklovou oblast. Ohrožuje budovu odstříkující dešťovou vodou, která stéká ze střechy, či pokud je terén v okolí objektu špatně upraven. Dále může být voda hnána větrem přímo na povrch budovy. Pokud není zdivo ještě omítnuté, kapky vody vnikají do konstrukce tlakem. Problém také vzniká u špatně chráněného komínu, kdy voda stéká průduchy ke dnu a vsakuje se do konstrukcí.
- Podpovrchová voda – voda, která je vázaná kapilárními a sorpčními silami v horninovém prostředí. Vztlínáním proniká z oblasti pod základy. Pokud chybí nebo je poškozená hydroizolace, u podsklepených objektů vniká i z okolní zeminy. Je to dominantní zdroj vlhkosti. Nejhorší vliv vlhkosti je přisuzován jemnozrnným zeminám typu F. Posledním typem je tlaková voda.

- Kondenzovaná vlhkost – zdrojem této vlhkosti jsou lidé a zvířata, vydechující vodní páru. Ve chvíli, kdy má zdivo nižší teplotu než rosný bod, vlhkost kondenzuje na jeho povrchu. Tato vlhkost je vyšší na povrchu než v hloubce. Toto místo se vyskytuje nejčastěji v oblasti tepelných mostů.



Obr. 10 Závislost nasycení vodní páry [g/m³] na teplotě vzduchu [°C] [25]

7.2 Transport vlhkosti

Většina anorganických stavebních materiálů obsahuje velké množství **pórů**, které mají průměr řádově 10^{-9} až 10^{-3} . Jejich tvar je různorodý. Mohou být kulové, válcovité, kuželovité či kapilární. Kapiláry mohou být oboustranně otevřené, jednostranně otevřené nebo dutinové. Většinou se setkáváme s kombinací několika typů. Tudiž druh, tvar a velikost pórového systému ovlivňuje transport vlhkosti.

Důležitým parametrem je i **skupenství vody**. Uvnitř stavebních látek lze předpokládat výskyt vody v plynné, kapalně (vázaná či nevázaná ve vrstvách molekul na stěnách pórů) i pevné fázi. Led blokuje transport kapalně vody i vodní páry, protože zaujímá až 9x větší objem než kapalná fáze a zaplňuje póry. Měřitelnou veličinou pro výměnu molekul plynné fáze je střední volná dráha.

Střední volná dráha je závislá na teplotě a tlaku. Pro vodní páru nabývá hodnoty $4 \cdot 10^{-8}$ m za normálních podmínek. Jelikož porézní stavební materiály obsahují menší póry, než je uvedená hodnota, nárazy molekul o stěny pórů nastávají častěji než vzájemné srážky. Pohyb molekul je řízen molekulárním transportem (efúze či Knudsonův transport). Tento stav může nastat při změně tlaku nebo teplotě.

Definice kapalně fáze v malých pórech je problematická, jelikož předpokládané vrstvy molekul s vysokou povrchovou energií nemají žádnou jednoznačnou definici fyzikálního stavu. Proto se využívá pojem vlhkost, kde nerozlišujeme mezi jednotlivými těžko oddělitelnými fázemi vody.

Významné je **také vzájemné působení mezi vlhkostí a samotnou stavební látkou**. Vyskytují se zde energetické povrchově aktivní jevy, které jsou významné pro nasákavost a sorpční chování stavebních látek. Podle počtu vrstev molekul vody se rozlišuje mezi fyzikální sorpcí a chemisorpcí. Chemisorpce se však při fyzikálním pojetí vlhkostního šíření vylučuje, proto se sorpce uvažuje jako působení Van der Waalsových sil v molekulární oblasti (oblast menší než 10^{-9}). Dle intenzity tyto pochody dělíme na hydrofilní, hydrofobní a hygroskopický. Význam má smáčitelnost a adhezí síly, které jsou rozhodujícími ve vztahu k existující velikosti pórů pro kapilární jevy.

Příčinou transportu vody v kapalném, plynném nebo molekulárním stavu v heterogenním prostředí jsou potenciálové veličiny jako tlak, teplota a koncentrace [24].

8. TEPELNĚ-IZOLAČNÍ OMÍTKY

Tyto omítky, jak už z názvu vyplývá, se používají ke zlepšení tepelně technických vlastností konstrukce obvodového pláště nebo tam, kde není z určitých důvodů (historické budovy atd.) možné použít zateplovací systémy. To však nevylučuje použití těchto omítek v kombinaci s nimi [26]. Samotná omítka však nezaručí výrazné snížení tepelného odporu, jelikož tloušťka je násobně menší než samotné zdivo. Mají nepřímý vliv na lepší izolační vlastnosti. Hlavním aspektem je nízký součinitel tepelné vodivosti. V současnosti není problém dosáhnout hodnoty $\lambda \leq 0,1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Aby měla omítka takto nízký součinitel tepelné vodivosti, musí obsahovat větší množství uzavřených pórů. Toho dosáhneme buď přímým vylehčením (viz. kap. 8.1) nebo nepřímým vylehčením (viz. kap. 8.2). Výhodou omítek je, že jsou tvárné, dostanou se méně přístupných částí konstrukce, mají výbornou protipožární odolnost. TI omítky lze aplikovat na venkovní i vnitřní stranu zdiva.

8.1 Přímé lehčené omítky

Tento druh vylehčení spočívá ve vytvoření vzduchových bublin uvnitř cementové matrice. Existuje mnoho druhů pěnotvorných přísad. Důležitou roli hraje účinnost přísady v kombinaci s hydraulickým pojivem, které se má vylehčit.

Princip:

- Vysoké povrchové napětí vody působí proti formování bublin.
- Pěna se může tvořit pouze za předpokladu – energetická bariéra představovaná povrchovým napětím je překonána → přísady obsahují povrchově aktivní látky, které se soustřeďují na rozhraní vzduch – voda, snižují povrchové napětí → bubliny se tvoří snadněji a jsou stabilní.

Povrchově aktivní látky:

- Molekuly, které mají na jednom konci chemické skupiny rozpustné ve vodě hydrofilní (water-loving), na druhém konci molekuly odpuzující vodu hydrofobní (water-hating).
 - Hydrofilní skupiny – ve vodě, karboxylové kyseliny, skupiny kyseliny sulfonové.
 - Hydrofobní – ve vzduchu, alifatické či aromatické uhlovodíky [27].

8.1.1 Pěnotvorné přísady

- **α -olefin sulfonát**

Velmi zajímavou oblastí pro využití pěnotvorných činidel se ukázala výroba lehkých izolačních desek. Vyšší pěnivost je dosažena kombinací α -olefin sulfonátu s estery kyseliny sírové. Pro lepší distribuci pórů se používají 30 až 50% vodné roztoky, které obsahují 5 až 50 hmotnostních dílů α -olefin sulfonátu. Jejich použití může být výhodné při výrobě omítkových směsí na bázi sádry nebo cementu. Tyto omítkové směsi obvykle obsahují kromě zmíněných pojiv také vápenný hydrát, mletý vápenec, křemičité plnivo nebo expandovaný perlit. Dávka pěnotvorných činidel bývá velmi malá, a to od 0,01 po 1 hm. % suché omítkové směsi. Důležitý je i přírůstek stabilizátoru. Používanými látkami jsou různé organické kyseliny, mastné alkoholy s obsahem 10-18 atomů uhlíku v molekule nebo různé tenzidy. Pokud je požadována retence vody, používá se methylcelulóza ve 2% roztoku.

Omítky s cementovým pojivem a α -olefin sulfonátem jsou vhodné pro strojní aplikaci omítek. SOMS se nasype do omítacího stroje, kontinuálně se mísí s vodou a během krátké doby se stříká na povrch, který má být omítnut [28].

- **Tenzidy**

Tenzidy vykazují smáčecí, emulgační, pěnicí, stabilizační a čisticí účinky. Mění energetické poměry na fázovém rozhraní – snížení povrchového napětí kapalin adsorpcí monomeru tenzidu na fázovém rozhraní. Základní vlastnosti jsou dány amfifilní strukturou s asymetrickým dipolárním charakterem. V molekule je vždy lokalizována polární a nepolární část různého charakteru.

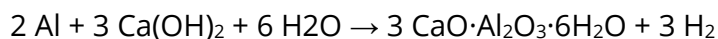
- a) Ionogenní – ve vodě disociují (např. dodecylsulfát sodný).
- b) Neionogenní – nemají výrazně lokalizovaný náboj hydrofilní skupiny (např. polyoxyethylen(23)dodekanol) [27].

8.1.2 Plynotvorné přísady

Další možností je použití kovových prášků. Princip tvorby plynu spočívá v reakci jemného kovového prášku s ostatními složkami, při které vzniká plyn. Ten je uzavřen ve struktuře pojiva jako vzduchové póry.

- **Vodík**

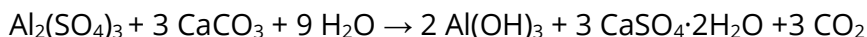
Hliníkový prášek reaguje s vápenným hydrátem a vzniká tak vodík, který nakypřuje hmotu. Prášek se dává v množství do 0,1 % suché směsi. Tento postup je známý při výrobě pórobetonu. Pro reakci je samozřejmě důležité míchání suché směsi s hliníkem a vodou.



Problém takto lehčených omítek může být to, že se vytvoří příliš velké póry nebo reakce je prudká a potrhá strukturu. Řešením může být využití jemného podílů plniva či lehkého kameniva (perlit). Jemná frakce efektivně rozbíjí velké bubliny a konečná struktura je více homogenní.

- **Oxid uhličitý**

Jako napěňující plyn je v tomto případě CO_2 . Ten vzniká reakcí uhličitánů či hydrogenuhličitánů s kyselými složkami. Jako uhličitánová složka se může použít uhličitán vápenatý (např. z vápence), jedlá soda nebo hydrogenuhličitán amonný. Jako kyselé složky se obvykle používají anorganické kyseliny nebo soli (např. síran hlinitý, kyselina sírová, kyselina boritá), ale lze použít také organické kyseliny.



Tato forma vylehčení se využívá především u sádrových omítek.

- **Peroxid vodíku**

Peroxid vodíku se příliš nevyužívá, avšak je jednou z možností, jak vylehčit omítky [29].

Výhoda přímo lehčených omítek tkví v tom, že pokud zajistíme pěno/plynotvornou reakci až po aplikaci na zdivo, dosáhneme lepších aplikačních vlastností. Velmi lehké omítky mohou mít problém s přilnavostí a s nanášením v čerstvém stavu. Pokud bude mít omítka při aplikaci na zdivo vyšší objemovou hmotnost a bude hutnější, lépe se s ní bude pracovat. Vylehčení následně proběhne až bude omítka aplikována.

8.2 Nepřímo lehčené omítky

Nejjednodušší způsob, jak vylehčit omítku, je použít lehké pórovité plnivo místo písku nebo v kombinaci s ním. Tento typ je nejčastěji využíván pro jednoduchost. Lze použít anorganické i organické materiály. Anorganická plniva jsou nehořlavá a mají mnohdy vyšší pevnost. Organická pak bývají lehčí a levnější.

8.2.1 Anorganická lehká plniva

Expandovaný perlit

Perlit je ryolitová vulkanická sklovina, vznikající v důsledku náhlého ochlazení lávy ve vodním prostředí. Jeho typickou vlastností je schopnost až pětinasobného zvětšování

objemu následkem pražení v teplotě 850-1150 °C. Tehdy vzniká EXPANDOVANÝ PERLIT. Vyznačuje se tmavě šedou, šedou nebo bílou barvou. Má relativně velký obsah alkalických látek a nízký obsah kyslíčnicků železa a titanu. Zaručuje velmi dobrou tepelnou a akustickou izolaci při velmi nízké odpovídající hmotnosti. Je to nehořlavá látka, odolná proti působení mikroorganismů a plísní. Své vlastnosti uchovává v rozsahu teplot od -200 °C do +1000 °C. Díky svým vlastnostem má široké využití po celém světě v mnoha odvětvích průmyslu. Drobné kuličky mají objemovou hmotnost od 80 do 150 kg/m³ a nízký součinitel tepelné vodivosti roven 0,04 W/(m·K). Další výhodnou vlastností je odolnost proti vlhkosti, výborné sorpční vlastnosti a paropropustnost [30].

Vermikulit

Vermikulit je minerální slída, která při výpalu o vyšších teplotách zvětšuje svůj objem. Tím dochází k tzv. rozlískování, které připomíná červa. Tyto slídy mají vrstvenou krystalovou mřížku, ve které je strukturálně vázaná voda a při teplotě cca 800 °C nastává dehydratace doprovázená destrukcí krystalické mřížky. Vermikulit je hydratizovaný hořečnatohlinitý slídivitý křemičitan, který má objemovou hmotnost do 200 kg/m³ a díky tomu má velmi nízký součinitel teplotní vodivosti [31] [32].

Expandovaný obsidián

Jedná se o vulkanický písek ve formě pelet nebo granulí, které expandují při výpalu. Expandovaný obsidián má slabý vnější obal, kterým může snadno prostupovat vzduch a vodní pára, ale jeho dutiny zůstávají voděodolné [31] [32].

Pěnový polystyren

Polystyren se vyrábí blokovou nebo lépe suspenzní polymerací ze styrenu, který je za normální teploty kapalný. Polymerací styrenu a pentanu vzniká granulát, který se dále zpěňuje. Pentan plní úlohu nadouvadla. Perličkový granulát se nejprve zahřívá při teplotě okolo 100 °C. Tím dojde k předpěnění a nabytí objemu. Poté následuje fáze odležení a po určité době se dalším ohřevem dokončuje výroba.

Objemová hmotnost je velmi nízká a pohybuje se nejčastěji v rozmezí 15-35 kg/m³. Pěnový polystyren je vysoce porézní. Pouze 2 % tvoří pevnou strukturu, 98 % je vzduch [32].

Drcená PUR pěna

Polyuretany lze získat adiční polymerací polyizokyanátů s vícemocnými alkoholy. Polyuretanová pěna je tvrdá nebo polotvrdá hmota s vysokým podílem uzavřených buněk s výbornými tepelně izolačními účinky odolná proti agresivnímu prostředí. Vhodnou recyklací polyuretanu vzniká velice účinné plnivo lehkých tepelně izolačních omítek. Objemová hmotnost plniva se pohybuje mezi 30-80 kg/m³ při frakci 0-6 mm [20].

8.3 Suché omítkové a maltové směsi (SOMS)

Takto označované směsi jsou vyráběny za přísně kontrolované kvality ve výrobním závodu. Suchá směs obsahuje veškeré složky dle receptury kromě vody. Důraz je kladen na správný poměr a samotnou kvalitu složek, které vstupují do suché omítkové směsi. SOMS můžeme rozdělit na dva typy:

a) Průmyslově vyráběné maltové směsi

Tyto směsi mohou být v tzv. mokřém stavu a nevyžadují žádné další míchání. Jsou dodávány na stavbu v tubách. Druhou variantou jsou suché směsi, které se dodávají balené nebo volně ložené v zásobnících. Před samotnou aplikací se smíchají s vodou dle návodu.

b) Vápenná malta

Předdávkové materiály, které se dodají na stavbu. Poté se přidá cement a voda [33].

Výhodou SOMS je především dodržení technologických postupů, správný poměr surovin nebo například dlouhodobá výroba a tím získaná zkušenost. Suroviny jsou dávkovány na kalibrovaných zařízeních. To zajistí konstantní složení a homogenitu směsi. Většina výrobců aplikuje systém kontroly jakosti ISO 9001 a tím zaručuje kvalitu. Veškeré suroviny jsou skladovány v kontrolovaném prostředí tak, aby nehrozilo znehodnocení.

U TI omítek je obzvláště důležité, aby SOMS byly důkladně zhomogenizovány. Lehké kamenivo by se mohlo odlučovat od pojiva a vlastnosti omítky by byly odlišné.

8.4 Použití tepelně-izolačních omítek

Omítka sama o sobě ke kvalitnímu zateplení nestačí a nenahrazuje zateplovací systém. Lze ji použít jako doplňkový či dodatečný izolační prvek v kombinaci s tepelněizolačním zdivem nebo zateplovacím systémem.

8.4.1 Povrchová úprava tepelně-izolačního pórobetonového zdiva

Pórobeton je specifický svou velkou expediční vlhkostí, která se nestihne před zděním dostatečně vypařit. Proto je vhodné použít kapilárně aktivní prodyšnou omítku, která bude umožňovat odchod vlhkosti do ovzduší. Ideálním případem je odchod na obě strany, kdy interiér je dostatečně odvětrávaný přirozeně nebo rekuperací. Odchod vlhkosti z pórobetonu doprovází vyšší objemové změny, které by mohly poškodit omítku. Z tohoto důvodu se doporučuje omítat zdivo tehdy, až obsahuje 6-10 % vlhkosti. Jenže tím se stavba prodlužuje, a to je důvod použít TI omítku, která bude prodyšná, bude mít podobnou objemovou hmotnost a pevnost jako pórobeton a tím i podobně nízký modul pružnosti. To zaručí kompatibilitu a trvanlivost omítek na tomto materiálu.

Pokud na nově vyzděnou obvodovou stěnu aplikujeme TI omítku jak v exteriéru, tak i v interiéru, dosáhneme lepšího efektu celého systému. Zajistíme tak spolupůsobení zdiva s omítkou. Dnes se prakticky zdí jen z TI zdících prvků, které samy o sobě při dostatečné tloušťce dosahují vysokých hodnot tepelného odporu. TI omítky může mít součinitel tepelné vodivosti podobný jako zdivo. Avšak tloušťka nemůže být tak velká, abychom dosáhli výrazného zlepšení izolačních vlastností. Díky nízké objemové hmotnosti může být tloušťka vrstvy větší než u běžných omítek, aniž by se v čerstvé omítce tvořily trhliny nebo se omítky sesunovala vlivem gravitace směrem dolů.

Na dodatečné zateplení stávajících budov lze také aplikovat TI omítky, abychom samotné zateplení chránili před okolními vlivy, zejména povětrnostními vlivy nebo slunečním zářením.

8.4.2 Energetická sanace

Energetická sanace budov se stává jedním z hlavních úkolů stavebnictví. Jedinou cestou, jak se vyhnout riziku nekontrolovatelného nárůstu cen energií, je maximálně snížit závislost na neobnovitelných, fosilních zdrojích energií. Budeme-li uplatňovat zásady nízkoenergetických a energeticky pasivních budov, energetickou náročnost vytápění můžeme snížit až o 60 až 90 % ve srovnání se současným stavem. To platí nejen v případě nové výstavby, ale i při sanaci existujících budov. Pojem energetická sanace znamená takové opatření, které sníží náklady na vytápění vnitřního prostoru budovy. V článcích, které pojednávají o energetické sanaci, se specifikuje tento způsob sanace na vnitřní zateplení.

Téměř všechny starší budovy jsou z architektonické a stavebnětechnické stránky v přijatelném stavu. Proto připadá v úvahu jejich renovace než bourání. Rekonstrukcí se prodlužuje životnost. To zvyšuje kulturně-historickou hodnotu, ale také přispívá k efektivnějšímu zhodnocení investic. Mimo ekonomické opodstatnění hovoří v prospěch renovace i ekologické hledisko. Zbouráním stavby vzniká odpad, který se musí zlikvidovat a uskladnit.

Renovace historické stavby by měla být v době neustálého zvyšování cen energií neoddelitelně spojená s opatřeními, které jsou zaměřené na energetickou úspornost. U těchto staveb se nesmí jejich historický vzhled vnější fasády měnit. V těchto situacích je nutné použít vnitřní zateplení [34].

Dříve se často používala kombinace vláknitých izolačních látek s parozábranou na vnitřní straně. To však přinášelo problémy. V zásadě to je jen obtížně proveditelné „parotěsné utěsnění“ v napojeních, např. u oken nebo prostupů. Novou generací sanačních systémů vnitřních stěn jsou kapilárně aktivní tepelné izolace prostřednictvím odpovídajících omítek nebo desek. Tyto materiály mají vysokou alkalitu ($\text{pH} > 12,5$), a to poskytuje ochranu vůči napadení plísněmi. V zimních měsících způsobují poklesy teploty a tlaku páry vznik vnitřního proudění tepla nebo páry z interiéru do exteriéru. Jestliže tlak vodní páry uvnitř obvodové stěny překročí tlak nasycené vodní páry, přímo závislý na teplotě, dochází ke kondenzaci. Princip kapilárně aktivních vnitřních omítek a izolačních desek spočívá v tom, že se k běžnému proudění páry přidá silný kapilární

pohyb tekuté vody, jakmile se ve zdivu utvoří kondenzát. Difúze vody v kapalném stavu způsobí rychlé rozprostření vlhkosti v souvrství a tím výrazné snížení lokálního zavlhčení kondenzátem [35].

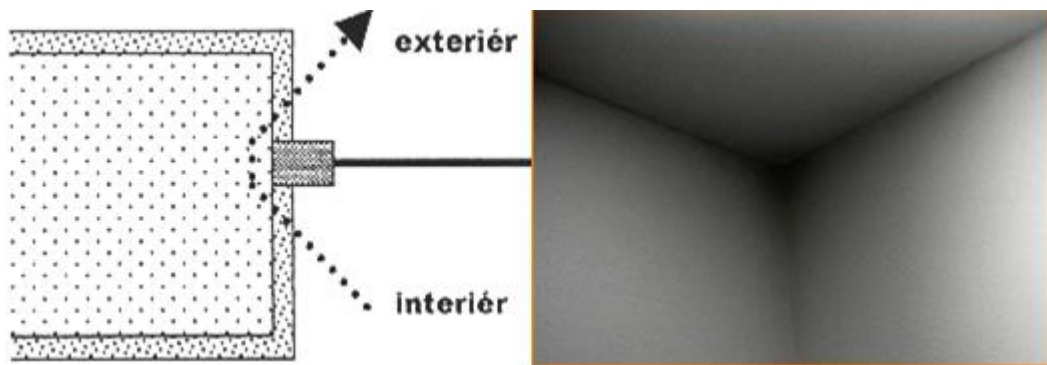
Vnitřní povrchová úprava s nízkou objemovou hmotností umožňuje rychlé nahřátí vnitřního vzduchu. Díky tomu se zkrátí čas potřebný k dosažení tepelné pohody. Vnitřní pocitová teplota, kterou jsme schopni vnímat vlastním tělem, se odvíjí od teploty vnitřního vzduchu a teploty okolních ploch. Pokud jsou plochy chladnější, než je teplota vnitřního vzduchu, budeme pociťovat chlad ještě dlouho po ohřátí vnitřního vzduchu. Je to vlivem působící sálavé složky okolních konstrukcí [36].

8.4.3 Eliminace tepelných mostů

Při stavbě domu je nutné myslet nejen na výběr samotných materiálů, ale také na jejich kombinaci. Použití kvalitního zdiva s nekvalitní maltou znehodnotí celou konstrukci. Mimořádně tepelně-izolační omítky s velmi nízkým součinitelem tepelné vodivosti není nutné aplikovat na celou konstrukci, pokud je postavena z izolačních tvárníc a splňuje požadavky. Lze omítnout pouze kritická místa, kde se nachází tepelné mosty.

Tepelné mosty jsou taková místa, kde tepelná energie snadněji uniká z interiéru do exteriéru. Mohou být tvořeny např. kovovými prvky ve zdivu, nedostatečným nebo chybějícím zateplením, či nedokonalými konstrukčními detaily. V místech tepelných mostů se může vyskytovat na stěně kondenzát. Ten pak může způsobit tvorbu plísní. Tepelné mosty se často vyskytují v nadokenních překladech (často z železobetonu). Pokud jsou použita okna, která zabírají velkou plochu stěny, je únik tepla v místech překladu znatelný. Kritické místo je spodní část nosníku, která navazuje na okenní rám. Podobným tepelným mostem je také výztužný věnec. V obou případech se nyní vyrábí tvarovky, které mají integrovanou tepelnou izolaci, ale samotné tzv. ztracené bednění je z nosných, hůře izolujících tříd. Proto je nezbytné tyto místa opatřit TI omítkou. V případě kontaktních zateplovacích systému se pro upevnění používají kotvy, které mohou také způsobovat bodové tepelné mosty. Obzvláště pokud mají kovové trny. Špatně ukončená horní strana fasádního kontaktního systému je také zdrojem tepelných ztrát, tak jako špatně provedené nároží. V těchto místech proudí vzduch pomaleji než na ploše stěny. V koutech a rozích je povrchová teplota zpravidla nižší a pokud není místnost větrána, vznikají zde kondenzát a plísně.

Dalším kritickým místem bývají sokly. Místa, která se nacházejí v kontaktu se zemí. Na soklovou část se odráží srážková voda, která dopadá na zem a toto místo je zatíženo vyšší vlhkostí než vrchní část zdiva. Zde je nutné, aby omítka byla co nejvíce hydrofobní a nenasakovala kapalnou vodu [37].



Obr. 11 Příklady tepelných mostů [21] [37]

8.4.4 Omítky v koupelnách

Koupelny jsou místnosti, ve kterých bývá vyšší relativní vlhkost vzduchu a pokud je koupelna situována u obvodové stěny, vnitřní povrchová teplota může snadno klesnout pod teplotu rosného bodu. Proto je nutné mít stěnu dostatečně zateplenou. Pomoci mohou TI omítky v interiéru koupelen, které zajistí příjemné klima.

Povrchová úprava stěn v koupelnách je tradičně řešena obkladem. Povrchy v koupelnách jsou v přímém kontaktu s vodou a vlhkostí. Dále je nutná snadná omyvatelnost povrchu. Ovšem tyto parametry dokáží zajistit i speciální omítky, které poskytují i některé výhody. Povrch je kompaktní beze spár, které se obtížně čistí. Mezi konstrukcí stěny a povrchovou úpravou nevznikají plísňe. V případě rekonstrukcí koupelen jsou povrchy nerovné a nedokonale provedené. Musí se provést opatření pro rovné obkládání.

Na omítky do koupelen je vhodná SOMS, která obsahuje větší množství cementu a dalších přísad, které zvyšují odolnost proti vlhkosti. TI omítky tvoří jádro, na které se nanese finální pohledová vrstva. Tou může být hydrofobní nátěr, který bude tvořit estetickou a zároveň ochrannou funkci. Jako nátěry se používají paropropustné, sanitizační a antikondenzační směsi [38].

8.4.5 Sanační omítky

Častým problémem stávajících objektů je zdivo poškozené solemi, které tvoří tzv. výkvěty. Ty se objevují tam, kde je poškozená či zcela chybí hydroizolace. Voda, transportovaná kapilárními silami, nese s sebou soli do zdiva a po jejím vypaření se tvoří již zmíněné výkvěty krystalizací. Tento problém se začal řešit pomocí sanačních omítek, které byly poprvé vyvíjeny v Německu. Póry poskytují dostatečný prostor pro zmíněnou krystalizaci. Primárně je však nutné zjistit příčinu problému a odstranit ji. V ČR vznikla Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky z.s. – WTA CZ. Tato společnost sdružuje odborníky v oblasti sanací a rekonstrukcí staveb. Jedním z tzv. odborných referátů je zaměřen na sanační omítky.

Tento typ omítek se liší od běžných omítek zvýšenou pórovitostí a dalšími požadavky, které stanovuje směrnice WTA 2-9-04/D Sanační omítkové systémy. Zároveň

se sanační omítky řídí normou ČSN EN 998-1. V praxi se však používá směrnice WTA jako rozhodující podklad pro práci se sanačními omítkami. Níže bude uvedeno srovnání požadavků obou dokumentů.

Sanační omítky musí být důkladně homogenní, proto se dodávají na stavbu ve formě SOMS. Obsahují podobně jako jiné omítky pojiva, plniva, přísady a vodu. Důraz je kladen na typ pojiva, které by mělo být hydraulické, aby bylo schopno tvrdnout i v přítomnosti vlhkosti za krátkou dobu a mít vyšší pevnost při zvýšené pórovitosti. Omítky s použitím vápna bez hydraulických příměsí není ve smyslu směrnice sanační omítkou WTA. Aby měla výsledná omítka dostatečnou pórovitost, používá se lehké pórovité kamenivo (např. perlit, pemza, expandované sbalkované kuličky ze skleněné moučky).

Dalším specifickým je skladba vrstev omítkových sanačních systémů. Omítkový systém má mít možnost tvořit souvrství omítek specifických vlastností podle aktuálního stavu zdiva:

1. Podhoz zajišťuje přilnavost k podkladu a musí být odolný proti působení solí. Obvykle se nanáší bodově (nepokrývá celý povrch omítaného zdiva). Pokud je stupeň zakrytí podhozem menší než 50 % z celkové omítané plochy, nejsou na podhoz kladeny žádné speciální mechanicko-fyzikální požadavky.
2. Podkladní omítka vyrovnává hrubé nerovnosti podkladu nebo akumuluje soli při obzvláště vysokém zasolení.
3. Sanační omítka zajišťuje, že povrch zůstává bez vlhkostních map, výkvětů a poruch. Musí také umožnit průchod vodních par z konstrukce.

Uvedené typy omítek lze skládat do omítkového systému v závislosti na aktuálním stavu vlhkosti a zasolení. Při vyšším obsahu těchto dvou parametrů existují tzv. **obětované omítky** nebo **absorpční omítky**. Ty mají extrémně vysokou pórovitost a velkou nasákavost. Pevnost mají naopak menší. Jejich účelem je právě poskytnout prostředí pro vznik výkvětů a poté se omítky odstraní. Tento cyklus se může několikrát opakovat. Proto je tento typ nákladný.

Významné kritérium pro sanační omítky je obsah vzduchových pórů v čerstvé maltě. Ten by měl být vyšší než 25 %. Z hlediska funkčnosti nelze přehlížet ostatní požadavky, které v konečném důsledku mají podstatnější vliv na konečné vlastnosti. Důležité je omezení kapilární nasákavosti, která zabraňuje pronikání vody v kapalně podobě k povrchu omítky. U podkladní omítky je požadavek přesně opačný, aby se dostala vlhkost se solemi ze zdiva. Zásadním požadavkem pro účinnost systému je celková tloušťka sanační omítky. Ta musí být minimálně 20 mm při samotné aplikaci nebo 15 mm v kombinaci s podkladní omítkou. Povrchová úprava sanačních omítek musí mít dle WTA velikost ekvivalentní tloušťky vzduchu $S_d < 0,2$ m. Pokud by TI omítka měla sloužit i jako finální vrstva, musí mít nízký faktor difúzního odporu [20] [39].

Tab. 5 Srovnání požadavků pro sanační omítky [16] [20] [40]

Vlastnost	Požadavky DIN EN 998-1	Požadavky WTA 2-9-04/D	Zkušební postup
Čerstvá malta			
Konzistence čerstvé malty (rozliti v mm)	-	170 ± 5 (směrná hodnota výrobce)	DIN EN 1015-3
Hmotnost čerstvé malty v kg/m ³	Deklarované rozmezí hodnot	Deklarované rozmezí hodnot	DIN EN 1015-6
Obsah vzduchových pórů v obj. - %	Deklarované rozmezí hodnot	> 25	DIN EN 1015-7 Postup A
Schopnost zadržovat vodu v %	-	> 85	DIN 18555-7
Doba zpracovatelnosti v min	> udávaná hodnota	-	DIN EN 1015-9
Zatvrdlá malta			
Objem. hmot. suché malty v obj. - %	Deklarované rozmezí hodnot	<1400 (směrná hodnota)	DIN EN 1015-10
Pevnost v tahu za ohybu v N/mm ²	-	Deklarované rozmezí hodnot	DIN EN 1015-11
Pevnost v tlaku v N/mm ²	CS II	1,5 do 5,0	DIN EN 1015-11
Podíl pevnosti	-	<3	Kap. 6.3.4
Přidrženost v N/mm ² Způsob porušení	≥ Udávaná hodnota Uvést ¹⁾	- -	DIN EN 1015-12
Kapilární absorpce vody v kg/m ² .min ^{0,5} odzkoušeno na hranolech	≥ 0,3	-	DIN EN 1015-18
Kapilární absorpce vody za 24 h v kg/m ² odzkoušeno na kruhových vzorcích	-	≥ 0,3	DIN V 18550
Hloubka průniku (penetrace) vody v mm	≤ 5 -	- < 5	DIN EN 1015-18 Kap. 6.3.7
Koeficient propustnosti vodní páry (μ)	≤ 15 -	- < 12	DIN EN 1015-19 DIN 52615
Pórovitost v obj. - %	-	> 40	Kap. 6.3.9
Odolnost proti solím	-	Odolává	Kap. 6.3.10
Součinitel tepelné vodivosti W/mK	Tabulková hodnota	-	DIN EN 1745
Reakce na oheň (třída)	Třída ³⁾	-	DIN EN 13501-1
Trvanlivost	Uvést ⁴⁾	-	DIN EN 998-1
Vlastnosti při strojním zpracování			
Obsah vzduchových pórů v obj. - %	-	Deklarované rozmezí	DIN EN 1015-17 Postup A
Objem. hmotn. čerstvé malty v kg/m ³	-	Deklarované rozmezí	DIN EN 1015-6
Pórovitost porézní omítky v obj.-%	-	> 40	Kap. 6.3.9

8.4.6 Omítání komínu

Komíny jsou využívány zpravidla v zimních měsících a přechodných obdobích. Spaliny uvnitř komínu mají vysokou teplotu, kdežto v exteriéru jsou teploty mnohdy velmi nízké. Teplotní spád je extrémní. Tento stav vede ke vzniku kondenzátu uvnitř komínu. Komínové vložky musí být zatepleny nehořlavým materiálem, nejčastěji to bývá minerální vlna. Častou povrchovou úpravou bývá tzv. režné zdivo z cihel nebo šamotu. Pokud je však dům postaven např. z pórobetonu, nemusí být taková povrchová úprava vkusná. Použití TI omítky s výztužnou tkaninou na povrchu komínových tvarovek spolehlivě odvede páru, je nehořlavá a dopomůže k lepší izolaci komínu.

TI omítky lze použít i na povrch krbů, které jsou opatřeny izolačními tvarovkami nebo izolačními deskami.

8.5 Požadavky na výsledné vlastnosti TI omítky

Jak již bylo zmíněno dříve, problém nastává u měkkého/křehkého materiálu, jako je pórabeton. Zde nelze použít cementový postřík nebo čteně se vyskytující lepidla C1 MPD s výztuží. Tyto lepidla jsou neprodyšná, vykazují velké smrštění a mají příliš vysoké pevnosti. Tento fakt je nutno zohlednit při návrhu vstupních surovin do omítky. Pro vnější omítky bychom si měli vybírat suché maltové směsi s vyššími hodnotami přídržnosti k podkladu. Poté je nutné, aby byla omítka prodyšná (faktor difúzního odporu 5-10) a umožňovala odchod vlhkosti z konstrukce. Potřebných vlastností se při výrobě suchých omítkových směsí většinou docílí přidáním chemických přísad. Požadavky jsou specifikovány v normě ČSN EN 998-1, tabulka 2.

Tab. 6 Souhrn požadavků na tepelně-izolační malty [16]

Číslo	Zkoušená vlastnost	Metoda zkoušení	Tepelně-izolační omítky
L1	Objemová hmotnost v suchém stavu [kg/m ³]	EN 1015-10	Deklarace rozsahu hodnot
L2	Pevnost v tlaku (Kategorie)	EN 1015-11	CS I až CS II
L3	Přídržnost (N/mm ²) a způsob odtržení (FP) A, B, C	EN 1015-12	≥ než deklarovaná hodnota a způsob odtržení (FP)
L5	Kapilární absorpce vody (kategorie) (pro malty určené k použití na vnější stavební prvky)	EN 1015-18	W _c 1
L8	Koeficient propustnosti vodní páry (μ) (pro malty určené k použití na vnější stavební prvky)	EN 1015-19	≤ 15
L10	Tepelná vodivost střední hodnota λ _{10,dry,mat} [W/(m·K)]	EN 1745:2012, 4.2.2	T 1: ≤ 0,10 T 2: ≤ 0,20
L11	Reakce na oheň (třída)	EN 13501-1	Deklarace podle 5.3.3
L12	Trvanlivost	-	Deklarace podle 5.3.2
L13	Nebezpečné látky	Národní právní předpisy v místě použití malty	Národní právní předpisy

Další zásadou by měla být skladba obvodové konstrukce taková, aby prvky s nejvyšší pevností byly blíže k interiéru. Prakticky řečeno, zdivo by mělo mít nejvyšší pevnost a finální vrstva povrchové úpravy nejnižší pevnost. Prodyšnost by se naopak měla zvyšovat od středu konstrukce směrem ven na obě strany. Je to z důvodu možného vzniku kondenzátu mezi jednotlivými vrstvami.

Jednovrstvý systém

Zhotovitel stavby je často nucen postavit objekt za co nejkratší dobu na úkor technologických pauz. Každé zdržení a chyby pak vedou k pokutám nebo k vadám. Omítky jsou finální viditelnou vrstvou, proto musí být provedeny co nejkvalitněji.

V případě, že se použije vícevrstvý systém, nastává riziko záměny pytlů SOMS a tím nedodržení technologických postupů. Mnohdy méně kvalifikovaní pracovníci v časové

tísni mohou snadno zaměnit jednotlivé vrstvy. Dále pak mohou být použity jednotlivé vrstvy od různých výrobců, a to z důvodu úspory financí. Vrstvy nemusí být vůči sobě kompatibilní.

Tyto problémy odstraňuje jednovrstvý systém od jednoho výrobce a jednoho typu. Jednovrstvý systém znamená, že jádrová omítka je zároveň vrchní omítkou. Systém aplikace by pak probíhal v jednotlivých technologických krocích. Na upravený navlhčený povrch by se aplikovala jádrová (vrchní) omítka v požadované tloušťce. V praktické části bude zkoumáno, jestli je možno aplikovat omítky v určené tloušťce při jednom pracovním kroku, aniž by se tvořily trhliny. Dále pak bude zkoumán vliv absence výztužné tkaniny (tzv. perlínky). Ta by se použila pouze lokálně v místech přechodů nestejnorodých podkladních materiálů, přechodů nestejných tloušťek podkladních konstrukcí a provedených instalačních drážek. Armují se pak všechna nároží okenních, dveřních a jiných otvorů. Povrchová úprava může být provedena strukturováním. Může zůstat v bílé barvě (pokud bude použit bílý cement) nebo může být probarvená fasádním nátěrem, malbou nebo nástřikem. Typy struktur:

- Škrábaná struktura = 24 hodin po aplikaci se provede seškrábání povrchu omítky speciálním škrabákem s hroty.
- Zrnitá struktura = vytváří se roztíráním kruhovým pohybem plastového hladítka.



Obr. 12 Příklad struktury a zrnitosti omítek [41]

B. PRAKTICKÁ ČÁST

1. CÍL PRÁCE

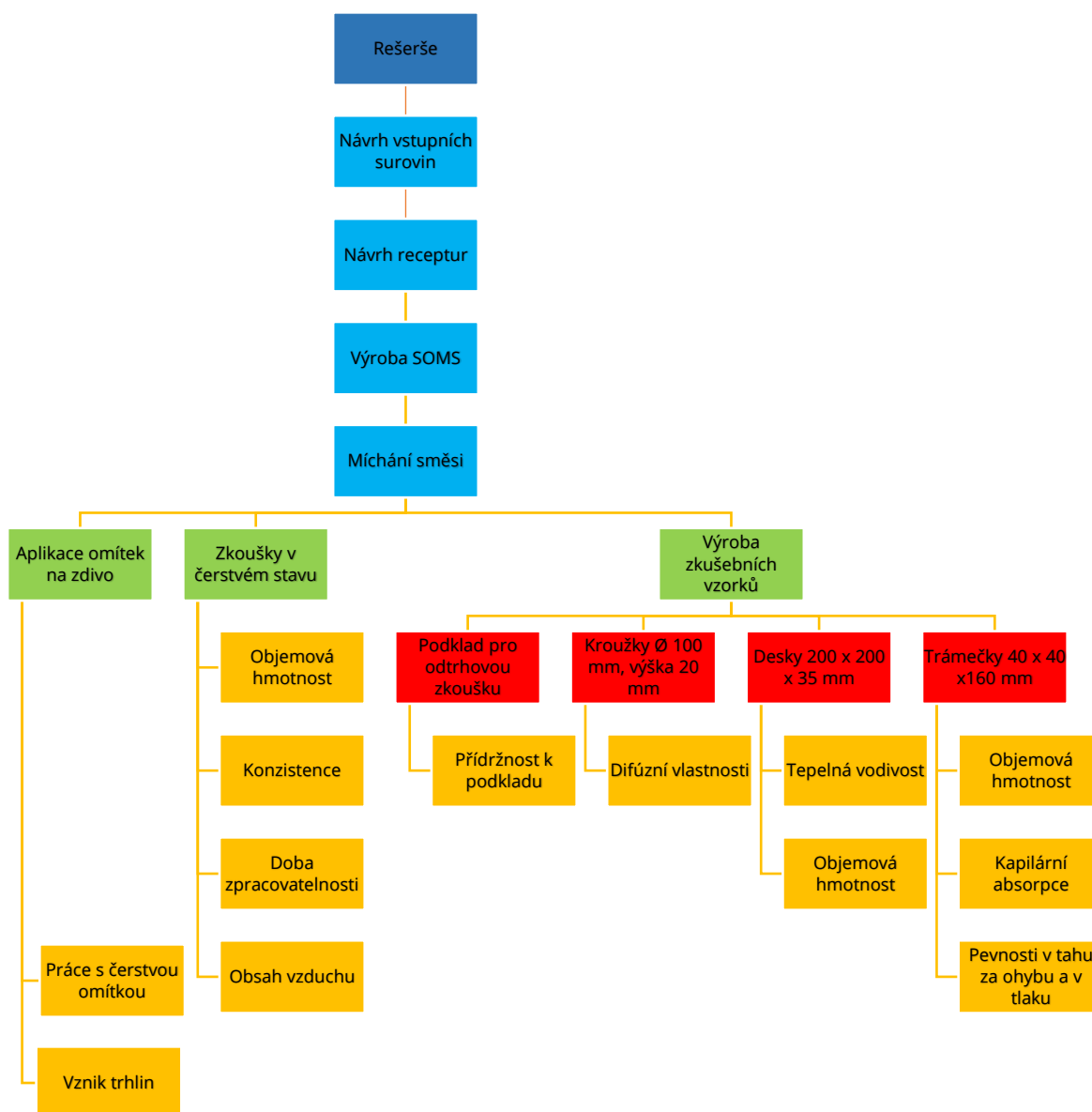
Diplomová práce se zabývá možností vývoje lehkých izolačních materiálů, využívajících kamenivo na bázi odpadní skleněné moučky od firmy Dennert Poraver GmbH. Budou použity alternativní doplňky, které budou mít pozitivní vliv na výsledné vlastnosti. Jedná se o tepelně izolační omítky, které bude možno využít pro aplikaci na vlhké zdivo, především pórobeton. Z toho vyplývá, že by měla být omítka odolná vůči objemovým změnám pórobetonu a nevznikaly v ní trhliny. Omítka by měla sloužit jako jednovrstvý omítkový systém.

Výsledná omítková směs by tedy měla mít nízkou objemovou hmotnost a s ní související nízký součinitel tepelné vodivosti. Důležitým parametrem je i hodnota faktoru difúzního odporu. Ta by měla být co nejnižší, aby byla omítka prodyšná a umožňovala odchodu vlhkosti z podkladní konstrukce. Práce s čerstvou směsí by měla být bezproblémová, aby dostatečně přilnula k podkladu a měla dobrou zpracovatelnost.

Zpracovávání diplomové práce probíhá ve spolupráci s firmou Satsys Technology s.r.o. a Xella CZ s.r.o.

2. METODIKA

Na základě literární rešerše a teoretických poznatku byla praktická část rozdělena do několika etap, které jsou znázorněny v následujícím diagramu.



Obr. 13 Diagram metodiky

3. NÁVRH VSTUPNÍCH SUROVIN

Na trhu existuje mnoho druhů TI omítek ve formě SOMS, které obsahují nejrůznější druhy surovin. Nejběžněji používaná pojiva jsou cement a vápno. Pro naše účely jsou vhodná obě pojiva v kombinaci různých poměrů. Také budou použity dva druhy cementu. Jako plnivo bylo použito lehké kamenivo z odpadní skleněné moučky ve formě sbalkovaných kuliček. To slouží pro vylehčení omítek a zlepšení dalších parametrů. Přidány byly jemné podíly ve formě mikromletého vápence a perlitu. Jako alternativní surovina byla použita celulózová vlákna. Pro zlepšení finálních vlastností bylo nutné přidat chemické přísady ve formě prášku. Popis jednotlivých surovin jsou uvedeny zde:

- **Lehké kamenivo (Poraver, Dennert Poraver GmbH)**

Kamenivo je vyrobeno z recyklovaného skla, takže je to ekologický produkt, který zpracovává odpadní sklo. Tento materiál má nízkou objemovou a sypanou hmotnost, nízkou hodnotu součinitele tepelné vodivosti a dostatečnou pevnost. Pro receptury bylo vybráno kamenivo frakcí 0,25-0,5; 0,5-1,0 a 1-2 mm [13].

- **Kopaný písek (Žabčice)**

V jedné receptuře byl použit žlutý kopaný písek Žabčice frakce 0-1 mm jako náhrada za nejjemnější frakci lehkého kameniva. Tato substituce by měla zlepšit přilnavost čerstvé omítky k podkladu.

- **Vápenný hydrát (Čerták®, Vápenka Čertovy schody, a.s.)**

Toto hašené bílé vápno je určeno pro stavebnictví. Má vysokou bělost a je vhodné pro výrobu malt a omítek. Vyrábí se tzv. suchým způsobem s malým přebytkem vody. Vápno se řídí normou ČSN EN 459-1 Stavební vápno – Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody. Obsah CaO je $\geq 90\%$ [42].

- **Cement šedý (CEM I 42,5 R, Cementárna Mokrá)**

Běžný šedý portlandský cement třídy 42,5 R je běžně používaným pojivem, protože dosahuje vyšších počátečních pevností i relativně vysokých konečných pevností. Je levnější než cementy 52,5 R a z důvodu nižšího měrného povrchu má i menší smrštění. Řídí se normou ČSN EN 196-1 a je vhodný do všech typů prostředí [43].

- **Bílý cement (AALBORG WHITE CEM I 52,5 R, Aalborg Portland A/S)**

Tento typ cementu se častou používá jako pojivo do různých typů malt a omítek. Společně s vápencem se používá pro výrobu vápenocementových malt. Má vysoké počáteční i konečné pevnosti. Pro bílé cementy je důležité dodržovat několik zásad, aby měla výsledná malta bílou barvu. Například používat vhodné kamenivo, nebarvící přísady a nekorodující nástroje [44].

- **Jemné podíly**

Jedná se o směs expandovaného perlitu a mikromletého vápence. Tato směs je dodána firmou Satsys Technology a.s. Jemné podíly slouží ke zlepšení určitých

vlastností čerstvé omítky, ale i omítky v zatvrdlém stavu. Jedná se především o zlepšení tepelných nebo reologických vlastností.

- **Voda**

Pro výrobu jakýchkoliv stavebních hmot musí být použita voda, která je nezávadná, nesmí ovlivňovat pevnosti a trvanlivost. Pokud použijeme pitnou vodu z vodovodního řádu, není nutné ji nějak zkoušet a ověřovat její vlastnosti.

- **Chemické přísady (Satsys Technology a.s.)**

Moderní stavební hmoty se neobejdou bez chemických přísad, které přispívají ke zlepšení vlastností. Polymerní disperze slouží jako hydrofobizátor, metylcelulóza zlepšuje zpracovatelnost a dále byl použit napěňovač, který slouží jako přímé vylehčení omítkové směsi. Chemie byla dávkována jako již hotová prášková směs.

- **Celulózová vlákna z odpadního papíru (CIUR a.s.)**

Celulózová vlákna slouží pro zvýšení pórovitosti, pro lepší transport kapalné vlhkosti v omítce, ale také ovlivňují pevnosti. Vhodné použití vláken je například v sanačních a obětovaných omítkách [15].

4. ZKUŠEBNÍ RECEPTURY

Cílem je navrhnout recepturu, která bude mít výborné TI vlastnosti, dostatečné pevnosti, přídržnost k podkladu a bude prodyšná. Kromě těchto požadavků je důležitá konzistence a chování omítky při praktické aplikaci. Pokud bude mít omítka dokonalé výsledky laboratorních zkoušek, ale bude se špatně aplikovat na zdivo nebo se bude trhat, tak takovou recepturu lze považovat za nepoužitelnou.

Prvním krokem bylo navázat jednotlivé suroviny, vložit je do homogenizačního zařízení a nechat dostatečně dlouho homogenizovat. Tento krok je pro SOMS velmi důležitý, aby výsledná suchá směs měla konstantní vlastnosti v každém místě. Problémem jsou lehká kameniva a práškové přísady, které je nutno dokonale rozmíchat v celém objemu SOMS.



Obr. 14 Homogenizátor sypkých směsí [45]

Zhomogenizovaná SOMS je připravena pro míchání s vodou. Důležité je zvolit správný vodní součinitel. Ten udává množství vody ku suché směsi hmotnostně. Ten byl zvolen přibližně $w=0,44$. V prvním kroku se dávkovalo přibližně 90 % potřebné vody a míchání probíhalo cca 5 minut pomocí míchacího zařízení na malty. Poté se zkontrolovala konzistence rozlitím na střešacím stolku, která byla definována na průměr koláče 135 ± 5 mm. Poté se doplnila odhadem zbytková voda a míchalo se v dalším cyklu. Finální konzistence se také dala odhadnout promícháváním zednickou lžící.



Obr. 15 Míchačka na malty [46]

Tab. 7 Přehled jednotlivých receptur

Označení	Popis
REF	Referenční receptura.
REC 1	Náhrada bílého cementu šedým CEM I 42,5 R.
REC 2	Vynechaná frakce Poraver 1-2 mm -> váhově přidáno k frakci 0,5-1 mm.
REC 3	Snížená dávka cementu o 1/3 hm.; zvýšená dávka vápna na dvojnásobek.
REC 4	Náhrada frakce Porver 0,25-0,5 mm pískem Žabčice frakce 0-1 mm (objemově).
REC 5	Poloviční dávka chemie oproti REF.
REC 6	Přídavek celulózových vláken z odpadního papíru.

Tab. 8 Složení receptur

Receptura	REF	REC 1	REC 2	REC 3	REC 4	REC 5	REC 6
Komponenta [kg]							
Poraver 0,25 - 0,5 mm	0,407	0,407	0,407	0,407	-	0,407	0,407
Poraver 0,5-1,0 mm	2,889	2,889	7,630	2,889	2,889	2,889	2,889
Poraver 1,0-2,0 mm	4,741	4,741	-	4,741	4,741	4,741	4,741
Písek Žabčice 0-1 mm	-	-	-	-	1,221	-	-
CEM I 42,5 R	-	2,778	-	-	-	-	-
Aalborg White Dánsko CEM I 52,5 R	2,778	-	2,778	1,852	2,778	2,778	2,778
Vápno Čerták	0,681	0,681	0,681	1,362	0,681	0,681	0,681
Jemné podíly	1,926	1,926	1,926	1,926	1,926	1,926	1,926
Celulózová vlákna	-	-	-	-	-	-	0,173
Chemie	0,654	0,654	0,654	0,654	0,644	0,327	0,654
Voda	6,234	6,234	6,130	6,234	6,100	5,650	6,500
Součet suchých složek	14,1	14,1	14,1	13,8	14,9	13,7	14,3
Vodní součinitel	0,44	0,44	0,44	0,45	0,41	0,41	0,45

Pozn.: Receptura je počítána objemově na 2 pytle. To znamená přibližně na 14 kg.

5. LABORATORNÍ ZKOUŠKY

Celá etapa zkoušení byla rozdělena do dvou částí, a to na zkoušení omítky v čerstvém stavu a na zkoušení omítky v zatvrdlém stavu. Primárně bylo nutné stanovit konzistenci, aby bylo nadávkováno správné množství vody. Jednotlivé zkoušky byly prováděny dle norem. Některé postupy však byly modifikovány.

5.1 Zkoušky v čerstvém stavu

- **Konzistence čerstvé malty pomocí střešovacího stolku**

Tato zkouška probíhala v souladu s ČSN EN 1015-3: Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešovacího stolku).

Podstata zkoušky spočívá v změření rozlití koláče ve dvou na sebe kolmých směrech. Před samotnou zkouškou je nutné všechny pomůcky, které přijdou do styku s maltou, navlhčit hadříkem (podkladní deska, plnicí kužel, špachtle a dusadlo). Kužel se pevně přidrží na středu desky a plní se maltou ve dvou vrstvách. Každá vrstva je zhutněna deseti rázy. Poté se kužel zvedne a pomocí kliky dochází ke střešování. Po 15 pádech desky je zkouška ukončena a vhodným měřidlem změříme rozlití ve dvou kolmých směrech s přesností jednoho milimetru [47].



Obr. 16 Stanovení konzistence čerstvé malty pomocí střešovacího stolku

- **Konzistence čerstvé malty pomocí penetračního válce**

Tato zkouška probíhala v souladu s ČSN EN 1015-4 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 4: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím přístroje pro stanovení hodnoty penetrace).

Hodnota penetrace na daném vzorku čerstvé malty se stanoví svislým vniknutím předepsané měřicí tyčinky s penetračním válečkem, který volně vniká do dané hloubky vzorku čerstvé malty. Tak jako v předchozí metodě se musí všechny pomůcky, které

přijdou do styku s maltou navlhčit (penetrační váleček, dusadlo, zednická lžíce). Nádobu plníme ve dvou vrstvách, přičemž každá se hutní deseti údery dusadla. Poté se měřicí tyčinka zajistí pomocí upevňovacího šroubu 10 cm nad povrchem malty. Po uvolnění šroubu penetrační váleček padá dolů a vniká do malty. Hodnota penetrace válečku se odečte ze stupnice s přesností na 1 mm [48].



Obr. 17 Penetrační váleček

- **Objemová hmotnost čerstvé malty**

Tato zkouška probíhala v souladu s ČSN EN 1015-6 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty.

Norma udává, že objemová hmotnost čerstvé malty je poměr mezi hmotností a objemem formy. Vzhledem k tomu, že omítka má takovou konzistenci a nízkou objemovou hmotnost, nejde prakticky ztuhnout pouštěním formy, jak udává norma. Proto byl postup modifikován, a to na dva způsoby:

a) Objemová hmotnost ve volně naplněné nádobě o známém objemu:

Pro tento postup byl použit kýbl o objemu 10 l, který se naplnil zednickou naběračku na požadovanou rysku. Kýbl s maltou se zvážil, odečetla se hmotnost prázdného kýblu a provede se výpočet.

b) Objemová hmotnost v trojformách napěchovaných maltou

Zde se použila trojforma pro přípravu zkušebních trámečků. Nejprve se opatřila odbedňovacím přípravkem a poté se plnila ve dvou vrstvách. Každou vrstvu bylo nutné pěchovat dřívkem, aby malta zaplnila veškerý objem formy a odstranily se větší vzduchové bubliny. Přebytečná malta se seřízne špachtlí a forma se zváží. Poté se provede výpočet.

Objemová hmotnost se vypočte z následujícího vztahu:

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

kde:

- ρ je objemová hmotnost [kg/m³],
- m_1 je hmotnost formy [kg],
- m_2 je hmotnost formy naplněné maltou [kg],
- V je objem [m³].

Výsledek se uvádí jako průměrná hodnota tří vzorků, zaokrouhlená na 10 kg/m³ [49].

- **Obsah vzduchu v čerstvé maltě (tlaková metoda)**

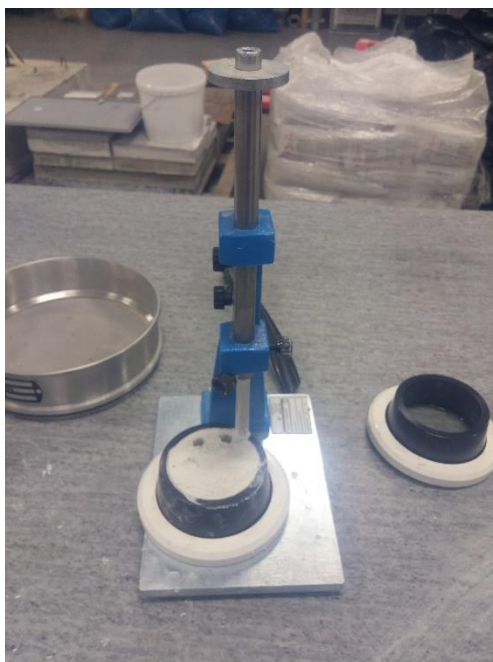
Tato zkouška probíhala v souladu s ČSN EN 1015-7 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě.

Čerstvá malta se naplní do tlakové nádoby ve čtyřech vrstvách, kdy každá vrstva je hutněna deseti údery dusadla. Povrch se musí seříznout s okrajem nádoby. Okraj se musí důkladně očistit. Poté se připevní víko a uzavře se ventil. Následně ventilem A přivádíme vodu pomocí stříčky nad povrch malty. Ventil B je otevřen a sleduje se, až vyteče čistá voda. Do vzduchové nádoby se natlačí vzduch a oba ventily se uzavřou. Otevře se vyrovnávací ventil mezi vzduchovou komorou a nádobou se vzorkem. Po dosažení rovnovážného stavu se odečte z budíku naměřená hodnota obsahu vzduchu [50].

- **Doba zpracovatelnosti**

Tato zkouška byla provedena obdobným způsobem jako u stanovení počátku tuhnutí dle normy ČSN EN 196-3. Avšak pro účely stanovení doby zpracovatelnosti malty byl tento postup modifikován.

Prstenec se umístil na podkladní sklíčko a byl naplněn maltou a povrch byl seříznut s okrajem prstence. Následně se tato sestava umístila pod Vicatův přístroj, kde místo jehly byl kovový váleček o průměru 10 mm. Váleček se nastavil do nulové polohy. Doba zpracovatelnosti se začala měřit, když se smíchaly suché složky s vodou. Konec měření nastalo tehdy, když se změnila hloubka penetrace. Konečný čas se zaznamenal v minutách.



Obr. 18 Stanovení doby zpracovatelnosti

5.2 Zkoušky v zatvrdlém stavu

- **Objemová hmotnost zatvrdlé malty**

Zkouška byla provedena v souladu s ČSN EN 1015-10 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty. Metoda byla poupravena, kdy se zkoušely vzorky v ustáleném stavu vlhkosti po 28 dnech uložení na vzduchu.

Objemová hmotnost zatvrdlé malty je definována jako podíl hmotnosti a objemu zkušebního tělesa. Výsledná hodnota je zaokrouhlena na 10 kg/m³ [51].

Výpočet:

$$\rho_v = \frac{m}{V}$$

kde:

ρ_v je objemová hmotnost [kg/m³],
 m je hmotnost [kg],
 V je objem [m³].

- **Pevnost v tahu za ohybu a v tlaku**

Tyto zkoušky byly provedeny v souladu s ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku.

Pevnost v tahu za ohybu malty se provádí na zkušebních trámcích o velikosti 40x40x160 mm. Ty se předem změří a zváží. Poté se umístí do lisu, který je opatřen dvěma podpěrnými válečky (100 mm od sebe) a jedním zatěžovacím, který působí

opačným směrem. Vzorek se umístí tak, aby zatěžování působilo kolmo na směr hutnění. Zatěžuje se konstantně tak, aby se vzorek porušil během 30-90 s. Jednotlivé výsledky se zaokrouhlí na 0,05 N/mm² a průměr z těchto výsledků na 0,1 N/mm².

Výpočet:

$$f = \frac{3 \cdot F \cdot l}{b \cdot d^2}$$

kde:

- f pevnost v tahu za ohybu [N/mm²],
- F max. zatížení působící na zkušební těleso [N],
- l vzdálenost os podpěrných válců [mm],
- b šířka zkušební tělesa [mm],
- d výška zkušební tělesa [mm].

Po předchozí zkoušce zůstane rozlomený trámec napůl. Tyto dvě poloviny pak postupně vkládáme do zkušební aparatury na **pevnost v tlaku**, jejíž tlačná plocha je 1600 mm². Opět vkládáme kolmo na směr hutnění. Porušení by mělo nastat v rozmezí 30-90 s. Jednotlivé výsledky se zaokrouhlí na 0,05 N/mm² a průměr z těchto výsledků na 0,1 N/mm² [52].

Výpočet:

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

kde:

- f_c pevnost v tlaku [N/mm²],
- F_c max. zatížení působící na zkušební těleso [N],
- A tlačná plocha [mm²].

• Součinitel tepelné vodivosti

Zkouška probíhala v souladu s ISO 8301, jenž je ekvivalent ČSN 72 012-3 Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku.

Pro tuto metodu je důležité navodit ustálený teplotní stav, než se začne s měřením. Ustálený teplotní stav je definován jako stav, kdy se zjištěné hodnoty součinitele tepelné vodivosti v dílčích intervalech měření od sebe neliší o více než ± 2 %. Sleduje se hustota tepelného toku pomocí diferenčních termočlánků, které jsou umístěny na rozhraní měřických desek a zkušební vzorku. Měřicí desky musí mít konstantní teplotu. Poté, co se dostáhne ustálený teplotní stav, se provede odečítání napětí na měřících hustoty tepelného toku [53] [54].

Výpočet součinitele tepelné vodivosti:

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

kde:

- 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],
- k_m kalibrační konstanta [$W \cdot m^{-2} \cdot V^{-1}$],
- U napětí měřiče hustoty tepelného toku [V].



Obr. 19 Příklad přístroje pro měření součinitele tepelné vodivosti

- **Faktor difúzního odporu**

Stanovení faktoru difúzního odporu proběhlo v souladu s ČSN EN ISO 12572 Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení propustnosti vodní páry – Misková metoda.

Byla použita metoda tzv. DRY-CUP. Je založena na šíření vodní páry vzorkem pouze v jednom směru a na znalosti parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu nad a pod měřeným vzorkem. Z každé receptury byly vytvořeny 3 kruhové vzorky, kde měřená plocha měla průměr 100 mm. Misky byly naplněny vysušeným silikagelem, čímž se dosáhlo relativní vlhkosti pod vzorkem prakticky 0 %. Vzorek se opatřil po okrajích silikonovým tmelem, umístil se na hranu misek a utěsnil se opět silikonovým tmelem. Poté se misky umístily do klimakomory, kde byla zajištěna konstantní teplota 23 °C a 80 % relativní vlhkosti. Tímto dochází k transportu vodních par skrz vzorky z prostředí s vyšší relativní vlhkostí vzduchu. Dochází k nárůstu hmotnosti a jakmile 3 po sobě naměřené hodnoty leží v přímce, může být měření ukončeno. Z naměřených hodnot se spočítá difúzní permeabilita vodní páry.



Obr. 20 Zkušební kroužky (vlevo) a klimakomora (vpravo)

Výpočet:

$$\delta = \frac{\Delta m \cdot d}{S \cdot \tau \cdot \Delta p_p}$$

kde:

- δ difúzní permeabilita vodní páry [s],
- Δm rozdíl hmotností mezi po sobě jdoucími váženými [kg],
- d tloušťka vzorku [m],
- S plocha [m²],
- τ čas mezi po sobě jdoucími váženými [s],
- Δp_p rozdíl parciálních tlaků pod a nad vzorkem [Pa].

Poté se vypočítá součinitel difúze vodní páry.

Výpočet:

$$D = \frac{\delta \cdot R \cdot T}{M}$$

kde:

- D součinitel difúze vodní páry v materiálu [m²/s]
- δ difúzní permeabilita vodní páry [s],
- R univerzální plynová konstanta = 8,314 J/(mol·K),
- T termodynamická teplota [K],
- M molární hmotnost vody = 0,018 kg/mol.

A teď už lze vypočítat faktor difúzního odporu [54].

Výpočet:

$$\mu = \frac{D_a}{D}$$

kde:

μ faktor difúzního odporu [-],

D_a součinitel difúze vodní páry ve vzduchu = $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$,

D součinitel difúze vodní páry v materiálu [m^2/s].



Obr. 21 Metoda DRY-CUP

• Kapilární absorpce vody

Tato zkouška byla provedena v souladu s ČSN EN 1015-18 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě.

Pro tuto zkoušku se použijí trámce 40x40x160 mm. Ty se po 28 dnech opatří těsnící hmotou na podélných stranách a rozlomí se na poloviny. Obě poloviny se ponoří lomovou plochou do nádoby s vodou, jejíž hladina by se měla pohybovat 0,5-1 cm nad spodní hranou lomové plochy. Trámce vkládáme pod šikmým úhlem, aby se eliminovaly vzduchové bubliny. Pod trámce je vložena mřížková podložka.

Zkoušení bylo provedeno pro dva typy malt:

a) Sanační malty

Vzorky se vyjmou po 24 hodinách z vody a zvaží se. Poté se změří výška nasáklé vody s přesností 1 mm.

Výpočet:

$$C = 0,625 \cdot (m_3 - m_0)$$

kde:

- C koeficient kapilární absorpce [kg/m^2],
 m_3 hmotnost nasáklého zkušební tělesa po 24 hodinách [g],
 m_0 hmotnost vysušeného zkušební tělesa [g].

b) Jiné než sanační malty

První vážení vzorků proběhne po 10 minutách. Vyjmou se, osuší se povrchově vlhkou tkaninou, zváží se a vrátí zpět. Ten samý postup se opakuje po 90 minutách. Vzorky by se měly brát na vážení ve stejném pořadí, jak byly vkládány do vody. Hodnoty kapilární absorpce C se vypočtou s přesností $0,05 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ popř. kg/m^2 . Poté se spočítá průměrná hodnota kapilární absorpce [55].

Výpočet:

$$C = 0,1 \cdot (m_2 - m_1)$$

kde:

- C koeficient kapilární absorpce [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$],
 m_2 hmotnost nasáklého zkušební tělesa po 90 minutách [g],
 m_1 hmotnost nasáklého zkušební tělesa po 10 minutách [g].

Měření probíhalo pro oba způsoby na těch samých vzorcích. Při vyhodnocení budou vzájemně porovnány. Doplněkem zkoušky je změření výšky nasáklé vody v mm.



Obr. 22 Měření koeficientu kapilární absorpce

- **Přídržnost k podkladu**

Tato zkouška byla provedena v souladu s ČSN EN 1015-12 Zkušební metody malt pro zdivo – Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu.

Nejprve je nutno připravit podklad pro zkoušku. Jednotlivé omítky byly naneseny na pórobetonové tvárnice a na betonové dlaždice. Ty se před aplikací musí navlhčit. Poté se povrch vyrovná a nechá se zatvrdnout. Poté je nutné připevnit vhodným lepidlem (Dvousložkový epoxid od firmy Sika) kruhové kovové terčíky k podkladu. Nejdříve druhý den se úhlovou bruskou seřízne obvod kovového terčíku tak, aby byla plocha pod terčíkem shodná s terčíkem. Sleduje se maximální napětí v tahu, které působí kolmo na terče. Točení klikou napíná trn a zaznamenává se nárůst napětí. Výsledná přídržnost je průměrem ze tří jednotlivých hodnot zaokrouhlená na 0,1 N/mm². Dále se zaznamená místo porušení [56].



Obr. 23 Přídržnost k podkladu

Výpočet:

$$f_u = \frac{F_u}{A}$$

kde:

f_u přídržnost [N/mm²],
 F_u vyvozená síla při porušení [N],
 A zkušební plocha = 1964 mm².

6. VYHODNOCENÍ LABORATORNÍCH ZKOUŠEK

Zkoušky byly provedeny dle příslušných platných norem, z nichž některé byly pro účely této diplomové práce modifikovány. Všechny postupy a výpočty jsou uvedeny v kapitole 5.

6.1 Vyhodnocení zkoušek na čerstvé maltě

První sledovanou vlastností byla zkouška konzistence rozlitím na střešacím stolku. Ta probíhala u každé receptury po prvním cyklu míchání, aby bylo nadávkováno správné množství vody. Dále se sledovala hodnota penetrace a obsah vzduchu v čerstvé maltě. Tyto zkoušky byly provedeny ihned po konci míchání malty. Objemová hmotnost byla odzkoušena dvěma způsoby, a to v nezhutněném stavu a v zhutněném stavu v trojformě. Posledním sledovaným parametrem byla doba zpracovatelnosti.

Tab. 9 Souhrn naměřených hodnot zkoušek na čerstvé maltě

	REF	REC 1	REC 2	REC 3	REC 4	REC 5	REC 6
Rozlití [mm]	128	125	135	130	135	130	120
Penetrace [mm]	11	30	40	35	50	30	31
Obsah vzduchu [%]	25	28	31	33	33	36	20
Zpracovatelnost [min]	60	75	75	75	105	105	75
ρ_v nezhutněná [kg/m ³]	530	580	600	560	590	450	550
ρ_v na trámčích [kg/m ³]	570	600	550	600	660	570	570

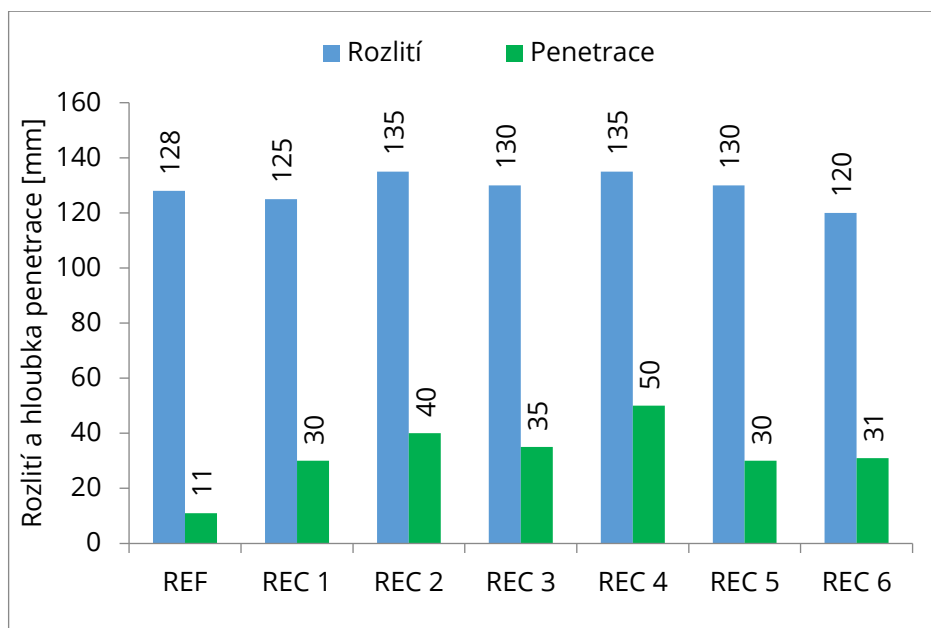
- **Rozlití na střešacím stolku**

Tento parametr byl definován tak, aby jeho hodnota byla přibližně 130 mm. Jelikož každá receptura má pozměněné složení, dávka vody se určovala právě podle této zkoušky. Všechny hodnoty (kromě REC 6) leží v toleranci 130±5 mm. To zaručuje takovou konzistenci, aby bylo možné bez problému připravit zkušební tělesa. Nejnižší hodnotu rozlití měla receptura REC 6 a to 120 mm. Při přípravě vzorků bylo lehce poznat, že je hmota tužší a hůře se hutnila ve formě. Naopak nejvyšší hodnota rozlití byla naměřena 135 mm u REC 2 a REC 4. Co se týče požadavků na sanační omítky, tak norma ČSN EN 998-1 nepředepisuje, jakou hodnotu rozlití by měla omítka mít. Avšak směrnice WTA 2-9-04/D udává požadavek 170±5 mm.

- **Konzistence na penetračním přístroji**

Hodnoty penetrace byly měřeny přibližně po 15 minutách od zamíchání SOMS s vodou. Předepsaná hodnota je 35±3 mm. Tento parametr splňovala REC 3 (35 mm). REC 1, REC 2 a REC 5 se nelišily o mnoho (max. ± 5 mm). Pouze u REF (11 mm) a REC 4

(50 mm) se hodnoty výrazně odchylovaly. REC 6 měla penetraci těsně pod hranici tolerance (31 mm).



Graf 1 Hodnoty rozlití a penetrace

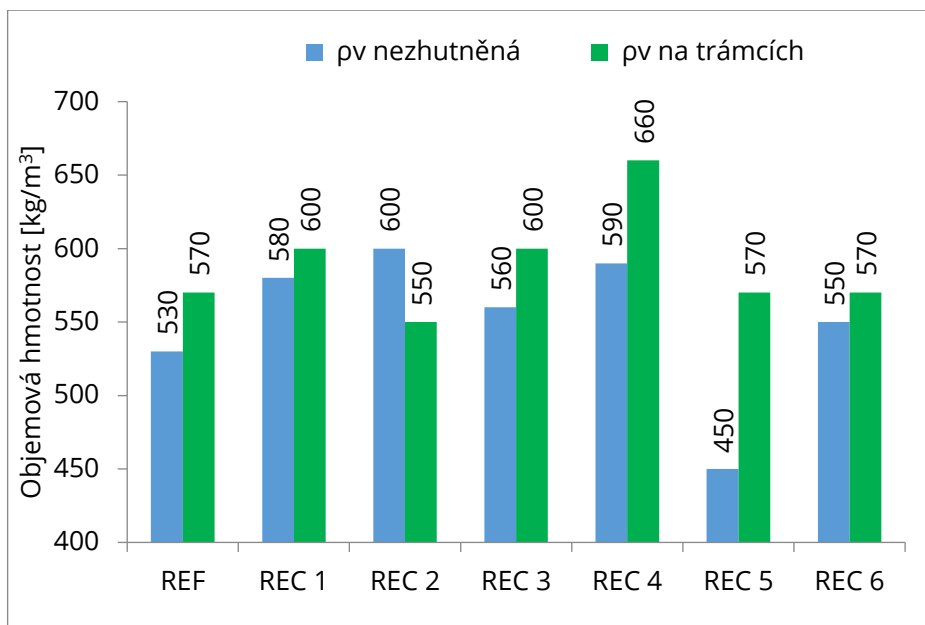
U REC 1 měly odchylky od předepsané konzistence vliv na přípravu vzorků a na výsledný vzhled zkušebních trámců. Směs se hůře hutnila a na povrchu byly zřetelné vzduchové bubliny.

- **Objemová hmotnost čerstvé malty**

První byla měřena objemová hmotnost v nezhutněném stavu. Tato zkouška byla zhotovena pro porovnání s objemovou hmotností zhutněné směsi ve formě.

Nejvyšší objemovou hmotnost v nezhutněném stavu měly REC 2 a to 600 kg/m^3 . REC 4 (590 kg/m^3) a REC 2 (580 kg/m^3) mají prakticky stejnou hodnotu. Tyto rozdíly mohou být způsobeny nerovnoměrným naplněním objemu kýblu. Nejnižší objemovou hmotnost v nezhutněném stavu měla REC 5, která byla 450 kg/m^3 . Tato hodnota je výrazně nižší. Objemová hmotnost REC 6 byla podobná REF, kdy v čerstvém stavu byla u REC 6 mírně vyšší.

Pro objemové hmotnosti měřené na trámcích ve formě platí to, že jsou vyšší než v nezhutněném stavu. Výjimkou je REC 2, kde objemová hmotnost v nezhutněném stavu byla nejvyšší, ale ve zhutněném paradoxně nejnižší (550 kg/m^3). Nejvyšší hodnotu pak měla REC 4 a to 660 kg/m^3 . V Grafu 2 jsou porovnány hodnoty obou typů měření.

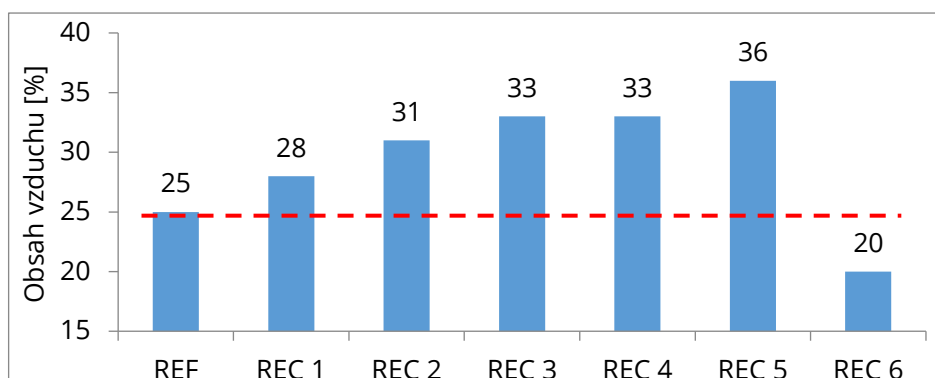


Graf 2 Naměřené hodnoty objemových hmotností

REC 4 tedy měla průměrně nejvyšší objemovou hmotnost v čerstvém stavu. To je způsobeno tím, že zde byla nahrazena objemově nejjemnější frakce Poraveru běžným kopaným pískem. Ten má samozřejmě vyšší objemovou hmotnost. Tato substituce by měla zlepšit přilnavost čerstvé omítky na zdivo a lépe by se s ní mělo pracovat. Otázkou je poté vliv na součinitel tepelné vodivosti.

- **Obsah vzduchu v čerstvé maltě**

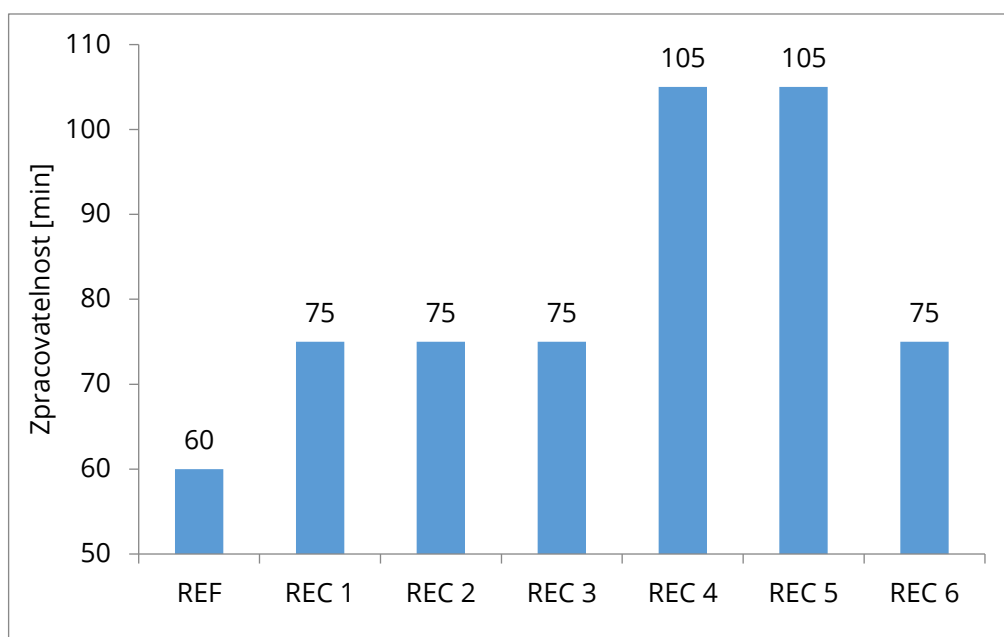
Pro sanační omítky je důležitým parametrem obsah vzduchu v čerstvé maltě. Ten je předepsán ve směrnici WTA 2-9-04/D. Obsah vzduchu by měl být vyšší než 25 %. Tento požadavek splňují všechny receptury včetně REF, u které však je hodnota hraniční (25 %). Výjimkou je pouze REC 6, u které byl obsah vzduchu pouze 20 %. Toto měření vyvrací teorii z kapitoly „NÁVRH VSTUPNÍCH SUROVIN“, že by měla celulózová vlákna zvyšovat pórovitost. Nejvyšší provzdušnění bylo naměřeno u REC 5 (36 %), i když obsahovala poloviční dávku chemie. Tato receptura měla i nejnižší objemové hmotnosti čerstvé malty.



Graf 3 Obsah vzduchu v čerstvé maltě

- **Zpracovatelnost**

Zkouška zpracovatelnosti nám ukazuje, jak dlouho lze pracovat se zamíchanou omítkou, aniž by začala tuhnout a tím znemožňovala její aplikaci na zdivo. Tento parametr si nastaví sám výrobce a poté jej deklaruje. V Grafu 4 je znázorněna doba, kdy byla poprvé zaznamenána jiná hloubka penetrace válečku než 40 mm. Referenční receptura začala tuhnout nejdříve, a to už po 1 hodině. REC 1, REC 2, REC 3 a REC 6 vykazovaly změnu penetrace po 75 minutách. Nejdelší zpracovatelnost poté vykazovaly REC 4 a REC 5. Začaly tuhnout až po 105 minutách. Tyto receptury byly obecně více provzdušněné a také měly největší hodnoty rozlití.



Graf 4 Zpracovatelnost čerstvé omítky

6.2 Vyhodnocení zkoušek na zatvrdlé maltě

Zatvrdlé vzorky pro mechanické vlastnosti byly zkoušeny nejprve po 14 dnech a poté po 28 dnech normálního zrání. Po 28 dnech by měly omítky vykazovat prakticky finální hodnoty. Tyto zkoušky probíhaly na zkušebních trémkách, které se nejprve změřily a zvážily. Byla vypočtena objemová hmotnost. Následně se umístily do lisu a byla zkoušena pevnost v tahu za ohybu. Rozlomené trémce napůl pak sloužily pro stanovení pevnosti v tlaku a pro stanovení koeficientu kapilární absorpce. Po 28 dnech byla zkoušena přídržnost omítek na betonové dlažbě a na pórobetonu. Dále byla zkoušena válcová tělesa na stanovení faktoru difúzního odporu. Poslední zkouška byla na vysušených deskách, které sloužily pro stanovení součinitele tepelné vodivosti.

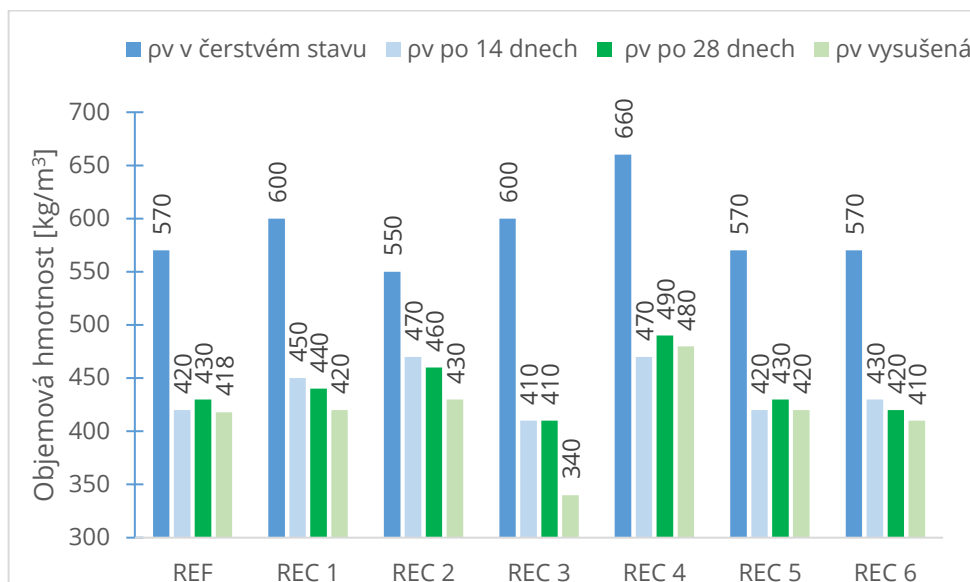
- **Objemová hmotnost**

Hodnoty objemových hmotností dneh všech receptur po 14 i 28 dnech se vešly pod 500 kg/m^3 , ale u některých receptur byla ρ_v i vyšší po 28 dnech. To mohlo být

způsobeno rozdílným hutněním. Výsledky se od sebe lišily maximálně o 5 % a dá se tedy říct, že ρ_v po 28 dnech je prakticky stejná, jako po 14 dnech. Nejvyšší pak měla REC 4 a to 490 kg/m^3 . Jak bylo zmíněno ve výsledcích v čerstvém stavu, tak tato receptura obsahovala běžný písek a díky tomu byla ρ_v nejvyšší. REC 1 a REC 2 měly ρ_v kolem 450 kg/m^3 a REF či REC 5 pak 430 kg/m^3 . Nejnižší ρ_v pak měla receptura REC 3 (410 kg/m^3). Dalšími hodnotami byly ρ_v ve vysušeném stavu, které byly stanoveny na deskách pro tepelnou vodivost. Zde jsou výsledky seřazeny stejně jako u předchozích hodnot. U REC 4 se prakticky nezměnila, ale zajímavý pokles je u REC 3. Zde se liší ρ_v o 17 %. Vysušené desky měly nažloutlou barvu a byly měkčí. Snáze se do nich dalo vrytovat např. nehty. Také se lehce drolily. U této receptury byla snížena dávka cementu a zvýšena dávka vápna. Na trámcích se tyto anomálie neobjevily, tudíž problém zřejmě nastal při přípravě desek. REC 6 s vlákny se prakticky nelišila od REF.

Tab. 10 Přehled objemových hmotností

	REF	REC 1	REC 2	REC 3	REC 4	REC 5	REC 6
ρ_v v čerstvém stavu [kg/m^3]	570	600	550	600	660	570	570
ρ_v po 14 dnech [kg/m^3]	420	450	470	410	470	420	430
ρ_v po 28 dnech [kg/m^3]	430	440	460	410	490	430	420
ρ_v vysušená [kg/m^3]	420	420	430	340	480	420	410



Graf 5 Souhrn naměřených objemových hmotností

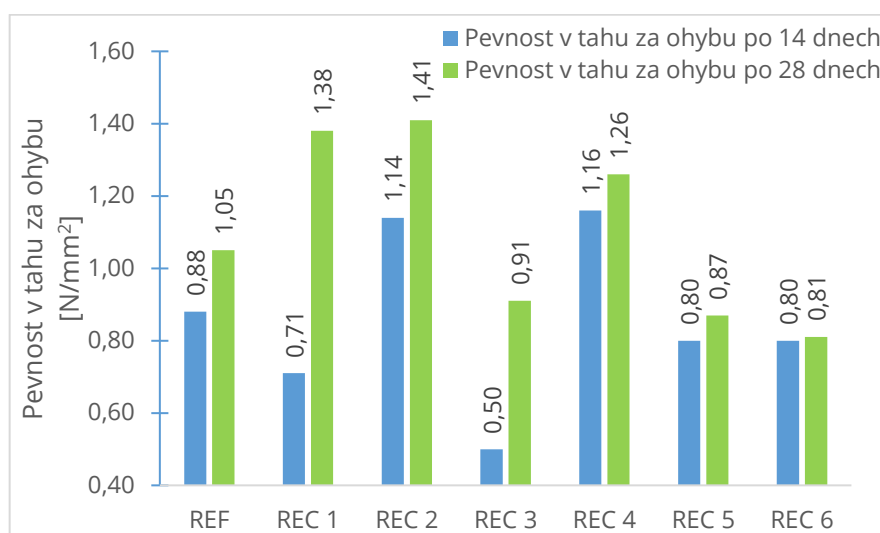
- **Mechanické vlastnosti**

Od každé receptury byly zkušeny tři trámečky po 14 dnech a tři po 28 dnech. Hodnoty uvedené v tabulce 11 jsou vždy průměrné ze všech naměřených hodnot. Zaokrouhlení proběhlo na dvě desetinná místa kvůli nižším hodnotám.

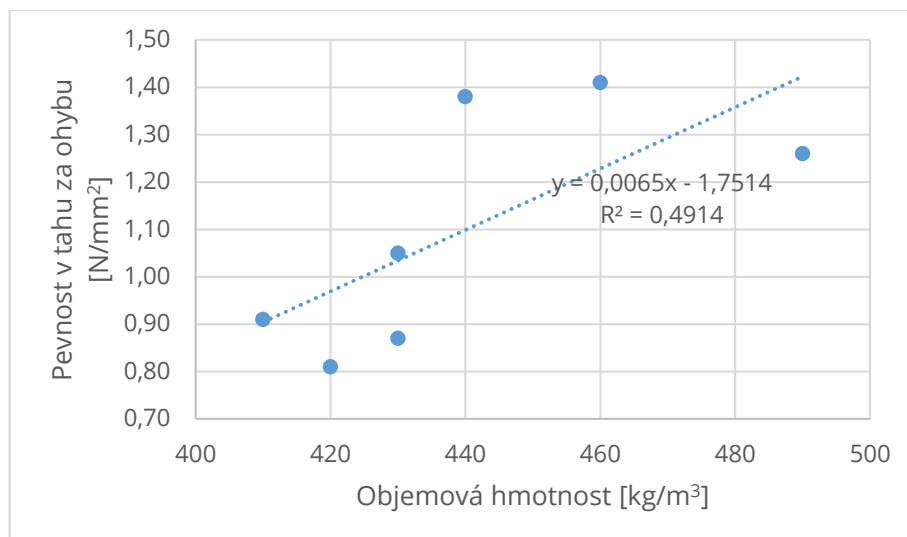
Tab. 11 Přehled mechanických vlastností

	REF	REC 1	REC 2	REC 3	REC 4	REC 5	REC 6
Pevnost v tahu za ohybu po 14 dnech [N/mm ²]	0,88	0,71	1,14	0,50	1,16	0,80	0,80
Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech [N/mm ²]	1,05	1,38	1,41	0,91	1,26	0,87	0,81
Pevnost v tlaku po 14 dnech [N/mm ²]	1,38	1,70	2,10	0,85	2,68	1,93	1,46
Pevnost v tlaku po 28 dnech [N/mm ²]	1,50	2,89	3,37	1,85	2,90	1,96	2,01
Zařazení do pevnostní kategorie	CS I	CS II	CS II	CS II	CS II	CS II	CS II

Pevnosti v tahu za ohybu po 14 dnech byly průměrně na 75 % pevností po 28 dnech. Nejvyšší pevnost vykazovala REC 2 a to 1,41 N/mm². Prakticky stejnou pevnost pak měla REC 1 (1,38 N/mm²). Rozdíl mezi oběma recepturami byl v tom, že REC 2 obsahovala bílý cement vyšší pevnosti (52,5 R) a byla vynechána největší frakce Poraveru. Její hmotnost byla přidána k nejjemnější frakci. U pevností po 14 dnech lze pozorovat následky této úpravy, kdy bílý cement má rychlejší náběh pevností než šedý cement (42,5 R). Receptury REC 3 a REC 5 měly pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech pouze kolem 0,9 N/mm². Nejnižší pevnost v tahu za ohybu měla REC 6 (0,81 N/mm²).

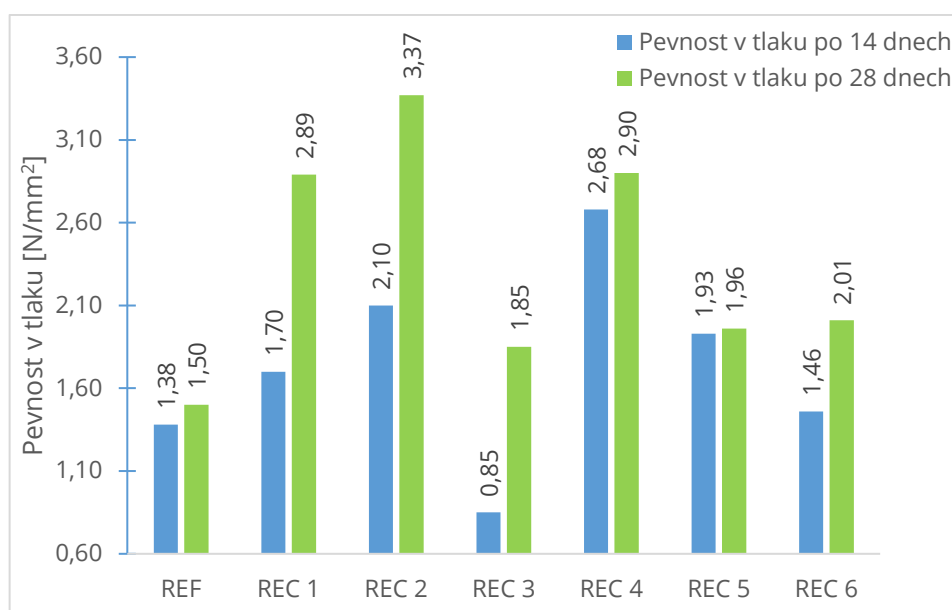


Graf 6 Pevnost v tahu za ohybu

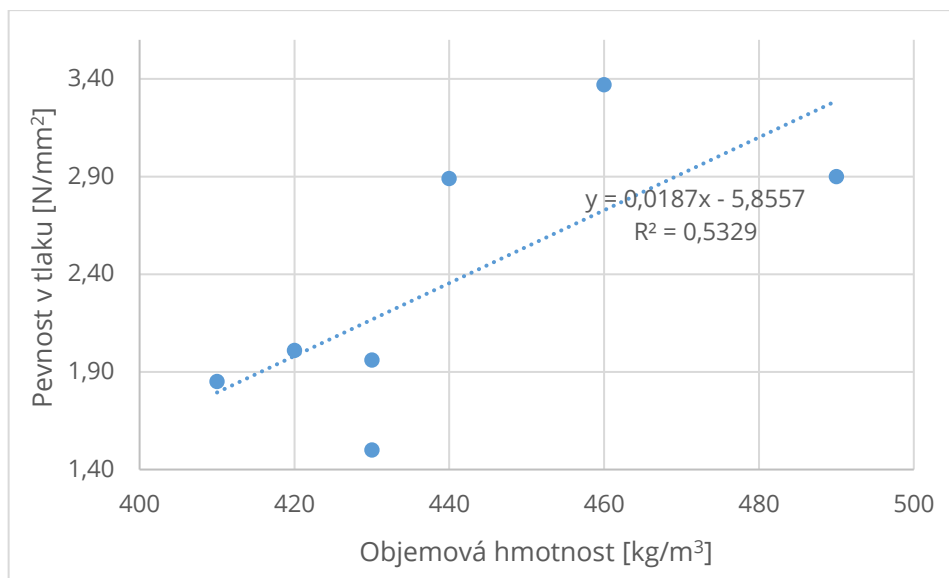


Graf 7 Závislost pevnosti v tahu za ohybu na objemové hmotnosti

Pevnosti v tlaku po 14 dnech byly průměrně na 74 % pevností po 28 dnech. Zde je důležitá hranice 1,5 N/mm². Pro sanační omítky předepisuje norma ČSN EN 998 požadavek kategorie pevnosti v tlaku CS II a směrnice WTA 2-9-04/D určuje právě rozsah pevností od 1,5 N/mm² do 5,0 N/mm². Pro TI omítky platí kategorie CS I a CS II. Všechny receptury splňují požadavky na pevnost v tlaku pro TI omítky. Referenční receptura měla nejnižší pevnost v tlaku po 28 dnech a to 1,5 N/mm². Hodnota je to hraniční a zařadil bych ji spíše do kategorie CS I a pro sanační omítky by tedy vhodná nebyla. Nejvyšší pevnost měla REC 2 (3,37 N/mm²), která obsahovala bílý cement a frakce 1-2 mm byla vynechána. REC 1 a REC 4 měly pevnost v tlaku přibližně 2,9 N/mm². Pevnost v tlaku u REC 3 a REC 5 byla lehce pod 2,0 N/mm². Vlákna v REC 6 mírně zvýšila pevnost v tlaku, kdy je vyšší o 0,5 N/mm².



Graf 8 Pevnost v tlaku

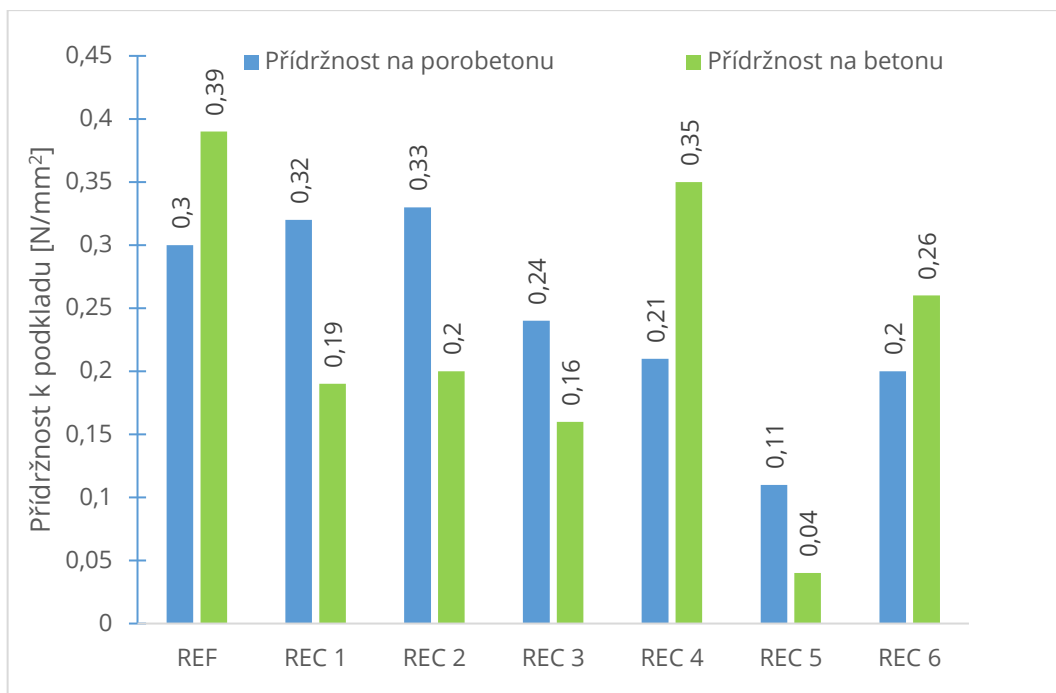


Graf 9 Závislost pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti

Mezi další mechanickou vlastnost patří přídržnost omítky k podkladu. Zde byly omítky nanášeny na podklad, kterým byl pórobeton a beton. Po 28 dnech pak byly provedeny odtrhy pomocí přístroje DYNA. Tento parametr určuje, jak dobře bude omítka držet na stěně. Pokud by byly hodnoty příliš malé, hrozilo by odpadávání od stěny. Hodnota přídržnosti musí být vyšší než požadavek deklarovaný výrobcem. Nejvyšší přídržnost na pórobetonu vykazovala REC 2 (0,33 N/mm²), která měla i nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu a tlaku. Zde hraje roli i absence větší frakce, kde větší zrna snižují přídržnost. Nejmenší pevnost byla zaznamenána u REC 5, která byla 0,11 N/mm². Tato hodnota je třetinová oproti REC 2. V REC 5 byla snížena dávka chemie na polovinu, tudíž lze předpokládat, že tato úprava měla negativní vliv na přídržnost. Pro porovnání byly přídržnosti měřeny i na betonové dlaždici, která má hutnější povrch. Zde měla nejvyšší přídržnost referenční receptura a to 0,39 N/mm². Stejně jako u pórobetonu měla REC 5 nejnižší přídržnost, zde byla hodnota 0,04 N/mm². Místo porušení u pórobetonu bylo vždy v omítce. To znamená, že omítka dobře držela na podkladu a měla menší pevnost než podklad. Betonový podklad je hutnější, a tudíž nedošlo u některých receptur k dostatečnému přilnutí omítky a místo porušení bylo na rozhraní vrstev. U jednoho vzorku dokonce terčík upadl samovolně před zkouškou. REC 6 měla přídržnosti na obou podkladech téměř stejné.

Tab. 12 Přídržnost k podkladu

	REF	REC 1	REC 2	REC 3	REC 4	REC 5	REC 6
Přídržnost na pórobetonu [N/mm ²] + způsob odtržení FP	0,30 (B)	0,32 (B)	0,33 (B)	0,24 (B)	0,21 (B)	0,11 (B)	0,20 (B)
Přídržnost na betonu [N/mm ²] + způsob odtržení FP	0,39 (A/B)	0,19 (A/B)	0,20 (A/B)	0,16 (A/B)	0,35 (A/B)	0,04 (A/B)	0,26 (A/B)



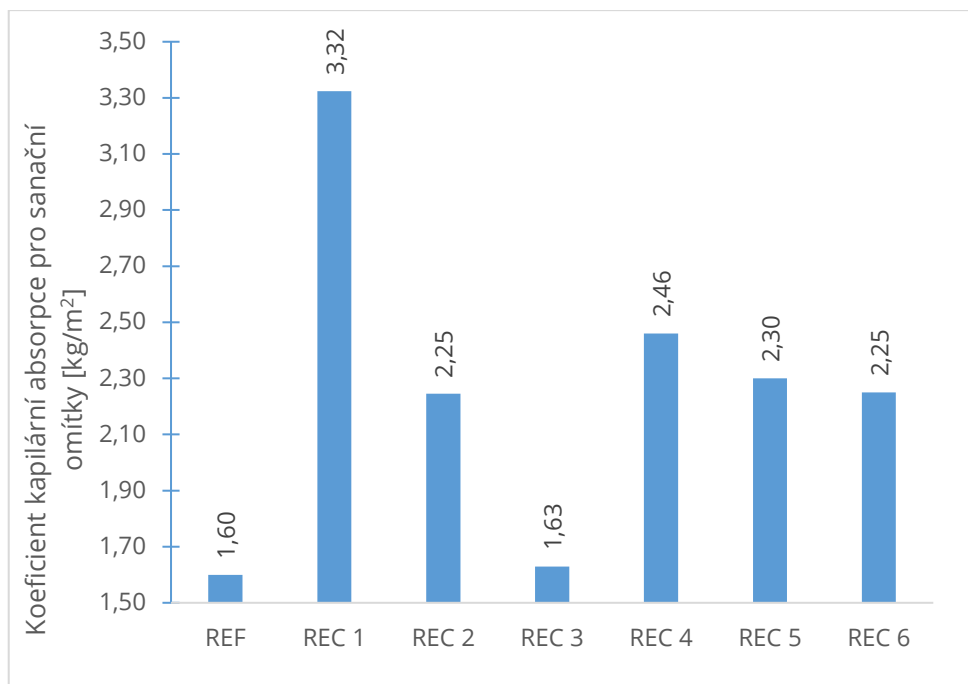
Graf 10 Přidržnost k podkladu

- **Koeficient kapilární absorpce**

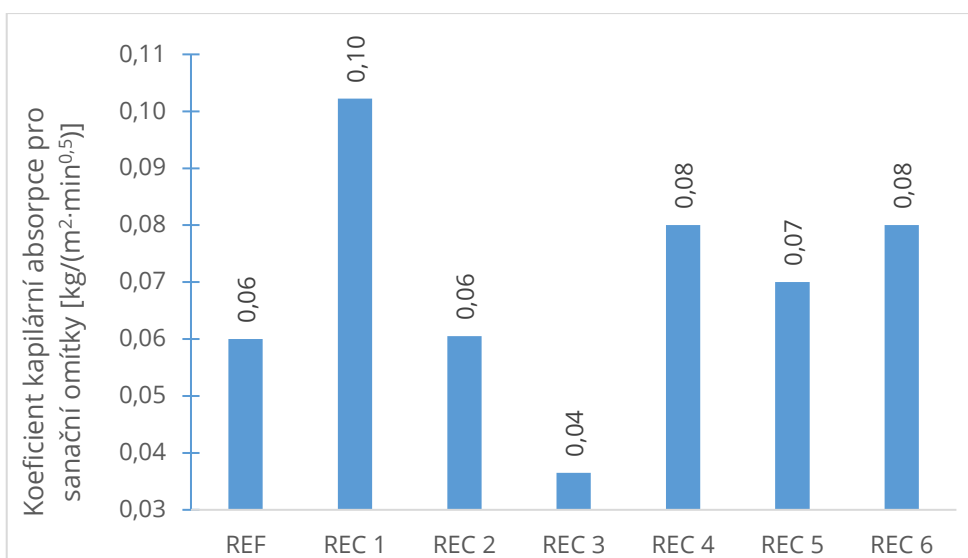
Tato zkouška byla provedena dvěma způsoby, a to jak pro sanační malty, tak i pro jiné než sanační. Pokud bychom posuzovali omítky jako sanační dle směrnice WTA 2-9-04/D, musí být hodnota koeficientu kapilární absorpce vyšší než 0,3 kg/m². Tuto hodnotu s přehledem přesahují všechny receptury. Nejnižší hodnotu měla referenční receptura a to 1,6 kg/m². Dále je definován parametr hloubka penetrace vody pro sanační omítky dle WTA. Hloubka penetrace musí být menší než 5 mm. Všechny receptury měly hloubku penetrace násobně vyšší než požadované maximum. Tento výsledek určuje použití omítky jako podkladní omítku pro sanační omítky. Pro jiné, než sanační omítky platí, že musí být zařazeny do kategorie W 1. Koeficient kapilární absorpce musí být menší než 0,4 kg/(m²·min^{0,5}). Tento požadavek splňují všechny receptury. Všeobecně nejnižší hodnoty kapilární absorpce měla REC 3, která měla i nejnižší objemovou hmotnost. Nejvyšší hodnoty pak měla REC 1, která obsahovala šedý cement 42,5 R. REC 2 měla prakticky totožné hodnoty s REC 6.

Tab. 13 Koeficient kapilární absorpce a hloubka penetrace vody

	REF	REC 1	REC 2	REC 3	REC 4	REC 5	REC 6
Sanační omítky [kg/m ²]	1,60	3,32	2,25	1,63	2,46	2,30	2,25
Jiné než sanační omítky [kg/(m ² ·min ^{0,5})]	0,06	0,10	0,06	0,04	0,08	0,07	0,08
Hloubka penetrace	24	45	27	29	25	29	27



Graf 11 Koeficient kapilární absorpce pro sanační omítky



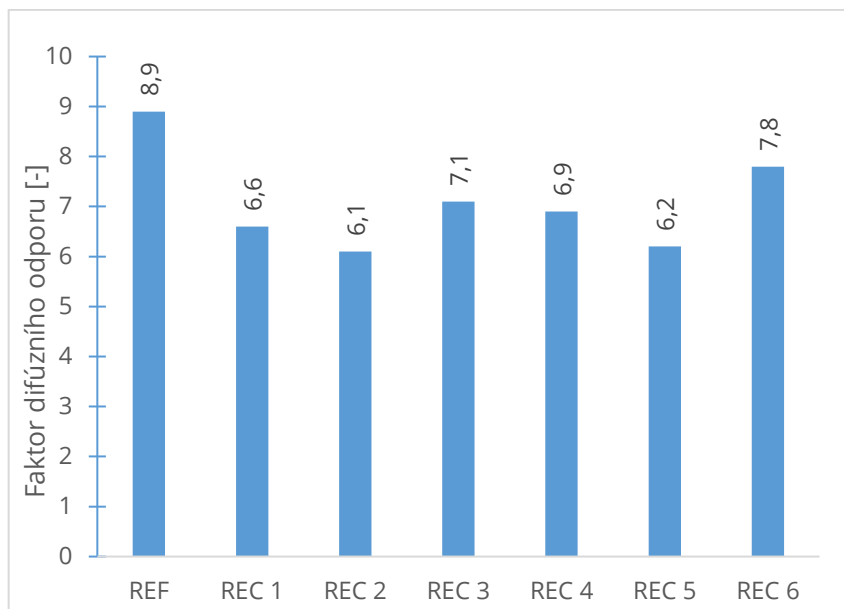
Graf 12 Koeficient kapilární absorpce pro jiné než sanační omítky

- **Faktor difúzního odporu**

Tato zkouška slouží k tomu, abychom zjistili prodyšnost omítek. Schopnost propouštět vodní páru. Hodnota faktoru difúzního odporu by měla být co nejnižší. Pro TI omítky je stanoven požadavek, že faktor difúzního odporu by měl být ≤ 15 . Pro sanační omítky určuje norma ČSN EN 998-1 hodnotu faktoru difúzního odporu taktéž ≤ 15 . Směrnice WTA 2-9-04/D je v tomto požadavku přísnější. Faktor difúzního odporu musí být menší než 12. Tyto požadavky splňují všechny receptury. Nejnížší hodnotu měla REC 2 a to $\mu=6,1$. Nejvyšší pak referenční receptura, a to $\mu=8,9$. Všechny hodnoty jsou příznivé a zajistí bezproblémový průchod vodní páry z konstrukce ven.

Tab. 14 Faktor difúzního odporu

	REF	REC 1	REC 2	REC 3	REC 4	REC 5	REC 6
Faktor difúzního odporu μ	8,9	6,6	6,1	7,1	6,9	6,2	7,8



Graf 13 Faktor difúzního odporu

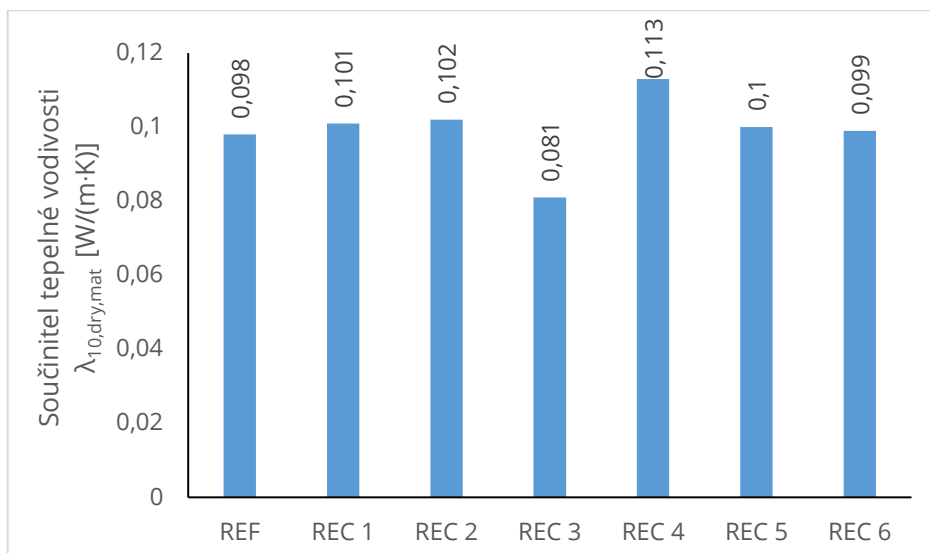
- **Součinitel tepelné vodivosti**

Jeden z parametrů, který je velmi důležitý pro TI omítky. Současné omítky mají velmi nízké součinitele tepelné vodivosti a přispívají ke zvýšení tepelného odporu obvodové konstrukce. Měření probíhalo po 28 dnech na zcela vysušených deskách, které byly zabroušeny. Byla také stanovena objemová hmotnost ve vysušeném stavu. Měření probíhalo na přístroji FOX 200, který umožňuje měřit součinitel tepelné vodivosti při různých teplotách. Standardní měření probíhá při střední teplotě 10 °C a některé vzorky byly měřeny i při středních teplotách 20 °C, 30 °C a 40 °C.

TI omítky je poté na základě naměřených hodnot součinitele tepelné vodivosti zařazena do kategorie. Pro TI omítky jsou požadovány kategorie T 1 a T 2. Snahou je dosáhnout kategorie T 1, kde $\lambda_{10,dry,mat}$ by měl být menší než 0,1 W/(m·K).

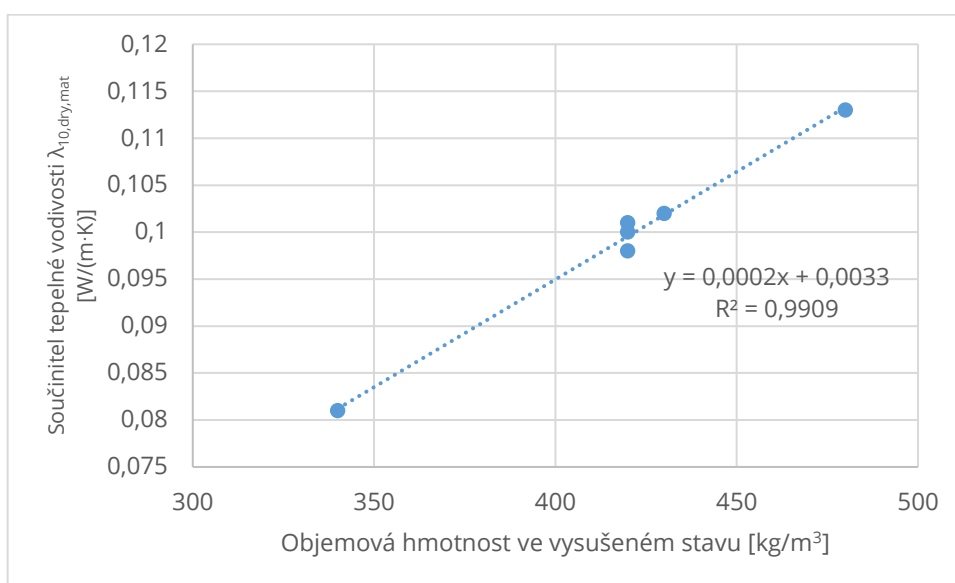
Tab. 15 Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti a příslušné objemové hmotnosti

	REF	REC 1	REC 2	REC 3	REC 4	REC 5	REC 6
Součinitel tepelné vodivosti $\lambda_{10,dry,mat}$ [W/(m·K)]	0,098	0,101	0,102	0,081	0,113	0,100	0,099
Objemová hmotnost [kg/m ³]	420	420	430	340	480	420	410



Graf 14 Součinitel tepelné vodivosti

Nejnižší hodnota součinitele tepelné vodivosti $\lambda_{10, dry, mat}$ byla naměřena u REC 3 a to 0,081 W/(m·K), což ji zařazuje do kategorie T 1. Referenční recepturu (0,098 W/(m·K)), REC 5 (0,1 W/(m·K)) a REC 6 (0,099 W/(m·K)) lze také ještě zařadit do kategorie T 1. Ostatní receptury měly hodnotu součinitele tepelné vodivosti mírně vyšší. Nejvyšší hodnotu měla REC 4 a to 0,113 W/(m·K). Tato hodnota je zatříděna do kategorie T 2, i když se příliš nevzdaluje od hranice 0,1 W/(m·K). REC 4 obsahovala běžný písek, který má vyšší objemovou hmotnost než Poraver. Tudiž tento fakt ovlivnil i výslednou tepelnou vodivost omítky. Naopak REC 3 obsahovala sníženou dávku cementu, a to způsobilo snížení součinitele tepelné vodivosti.



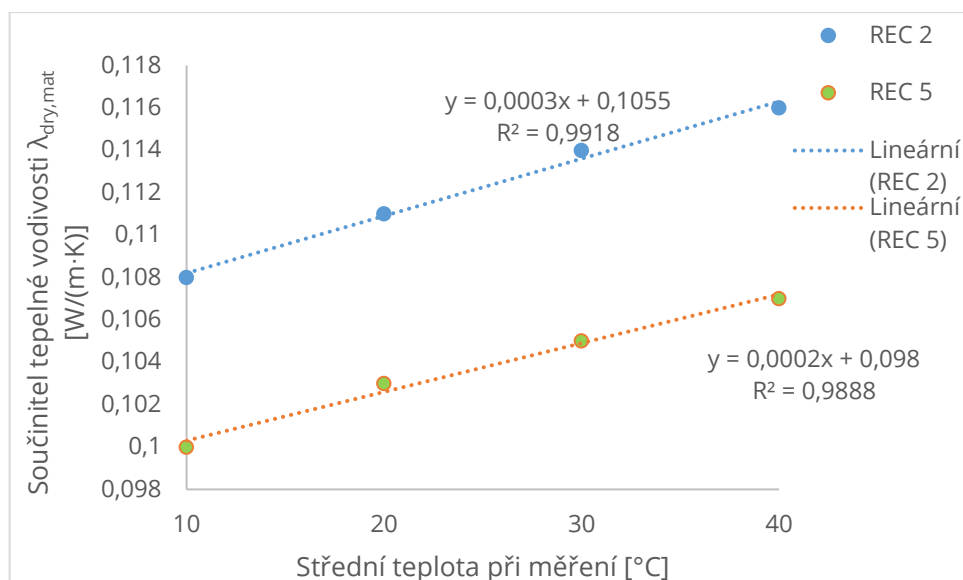
Graf 15 Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti

V Grafu 15 lze vidět, že je závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti lineární. Čím je objemová hmotnost vyšší, tím je součinitel tepelné vodivosti vyšší. Hodnoty leží prakticky v přímce a žádná jednotlivá hodnota nevybočuje.

U REC 2 a REC 5 byly doplňkově zjišťovány hodnoty součinitele tepelné vodivosti při různých středních teplotách při měření. V následující tabulce jsou zaznamenány výsledné hodnoty a v Graf 16 je znázorněna závislost součinitele tepelné vodivosti na zmiňované střední teplotě při měření.

Tab. 16 Součinitel tepelné vodivosti při různých teplotách

	REC 2	REC 5
$\lambda_{10,dry,mat}$	0,108	0,100
$\lambda_{20,dry,mat}$	0,111	0,103
$\lambda_{20,dry,mat}$	0,114	0,105
$\lambda_{40,dry,mat}$	0,116	0,107



Graf 16 Závislost teploty prostředí na součiniteli tepelné vodivosti

Se zvyšující se teplotou se zvyšuje lineárně i součinitel tepelné vodivosti. Teplota se zvýšila z 10 °C na 40 °C a součinitel tepelné vodivosti se zvýšil přibližně o 0,008 W/(m·K).

7. PRAKTICKÁ APLIKACE OMÍTEK NA ZDIVO

Jak již bylo zmíněno výše, kromě laboratorních zkoušek byla provedena i praktická aplikace omítek na zdivo. Toto zkoušení pomůže zhodnotit reálné chování navržených receptur na stavbě. Jako podklad sloužila zeď z pórobetonových tvárnic značky P2-500, která byla postavena ve skladovací hale týden před aplikací omítek. Bude sloužit jako dělicí příčka mezi halou a nově vzniklým skladem nástrojů. Hala je krytá, avšak

otevřená, takže teplota uvnitř se rovnala teplotě venkovní. Aplikace proběhla na přelomu září/října při teplotách kolem 15 °C. Teplota při konečném hodnocení po cca 3 měsících od aplikace se pohybovala i pod bodem mrazu. Tvárnice byly vyrobeny přibližně dva týdny před zděním, byly skladovány na paletách v krytých prostorách a nezabaleny. Tyto podmínky nezajistily dostatečné vysušení zdiva na 6-10 %, jak určují technologické předpisy. Obsah výrobní vlhkosti tvárnic P2-500 je však nižší než u ostatních druhů. Vlhkost podkladu pro omítky byla přibližně 20-30 %. Tyto méně příznivé podmínky tak budou simulovat stav, kdy zhotovitel stavby aplikuje omítky dřívě, než je doporučeno v technických předpisech. Omítka byla nanesena v jedné vrstvě bez výztužné tkaniny a po zavaznutí se zkoušelo strukturování metodou zatírání.

7.1 Metodika hodnocení omítek

1. Nejprve bude specifikována každá receptura, jak byla aplikována a na jaký podklad. Poté bude následovat krátké zhodnocení s přiloženou fotografií omítky.
2. Budou definovány klíčové parametry, které budou na závěr této kapitoly shrnuty v tabulce.

7.2 Definice klíčových parametrů

Aby bylo možné zhodnotit vlastnosti omítek, je nutné definovat měřitelné parametry, které bude možné mezi sebou jednoznačně porovnat. Byly vytvořeny hodnotící stupnice ke každé vlastnosti.

- a) Omítka v čerstvém stavu

Tab. 17 Hodnocení konzistence omítek

Konzistence čerstvé omítky (odhadem vizuálně)	
Tekutá kaše	Hodnota rozlití na střešacím stolku >160 mm
Kašovitá	Hodnota rozlití na střešacím stolku 140-160 mm
Medová	Hodnota rozlití na střešacím stolku 120-140 mm
Tuhá	Hodnota rozlití na střešacím stolku <120 mm, téměř tvarovatelná

Tab. 18 Hodnocení přilnavosti ke zdivu

Přilnavost ke zdivu	
Neaplikovatelná	Omítka se nelepila na hladítko, odpadávala od zdiva i při použití většího tlaku
Problémová	Omítka se lepila na hladítko, přilnula na zdivo, trhala se z důvodu lepivosti, při větších tloušťkách stékala
Dobrá	Mírné lepení na hladítko, dobrá přilnavost na zdivo, při použití většího tlaku se netrhala
Výborná	Výborná přilnavost k podkladu bez trhlin, bez použití většího tlaku

Tab. 19 Tvorba struktury

Tvorba struktury v zaváděném stavu zatíráním	
Špatná	Nešla tvořit struktura, omítka se drolila a trhala
Problémová	Struktura byla málo zřetelná, nevzhledný povrch
Dobrá	Struktura zřetelná, odpadávala jednotlivá zrna
Výborná	Bezproblémová tvorba, pěkný vzhled

b) Omítka v zatvrdlém stavu

Tab. 20 Trhliny v zatvrdlých omítkách

Vznik trhlin v zatvrdlé omítce po 3 měsících	
Velký	Velká tloušťka nebo délka, velké množství
Střední	Zřetelná tloušťka či délka, pravidelné rozmístění
Malý	Vlasové trhlinky, potencionálně problémové (dlouhodobé hledisko)
Žádný	Bez trhlin okem pozorovatelných

7.3 Vyhodnocení praktických zkoušek

Omítky byly zamíchány dle standardních postupů těsně před nanášením na zdivo. Pro všechny receptury byl použit přibližně stejný vodní součinitel ($w=0,44$) podle laboratorních zkoušek konzistence. U receptur 4 a 5 pak byly dvě varianty podkladu, a to navlhčené zdivo bez penetrace nebo zdivo s penetrací. Referenční receptura a REC 6 s vlákny nebyly aplikovány na zdivo, jelikož po laboratorních zkouškách nezbylo dostatečné množství SOMS.



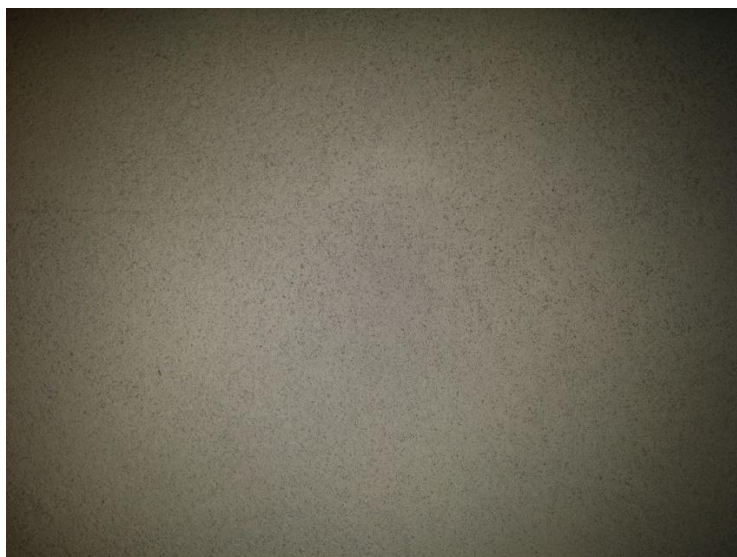
Obr. 24 Dva druhy podkladu – lepidlo Ytong (horní) a pórobeton (dolní)

REFERENČNÍ RECEPTURA

Tato receptura sloužila jako srovnávací pro všechny ostatní. Její aplikační vlastnosti nebyly zcela dokonalé, kdy se omítka trhala. Důvodem byla poměrně značná lepivost na hladítko a byla potřeba technika zkušeného pracovníka, který omítku v relativně kvalitním provedení nanesl na zdivo. Z důvodu špatných světelných podmínek a problematickému místu aplikace není tato receptura zdokumentována.

RECEPTURA 1

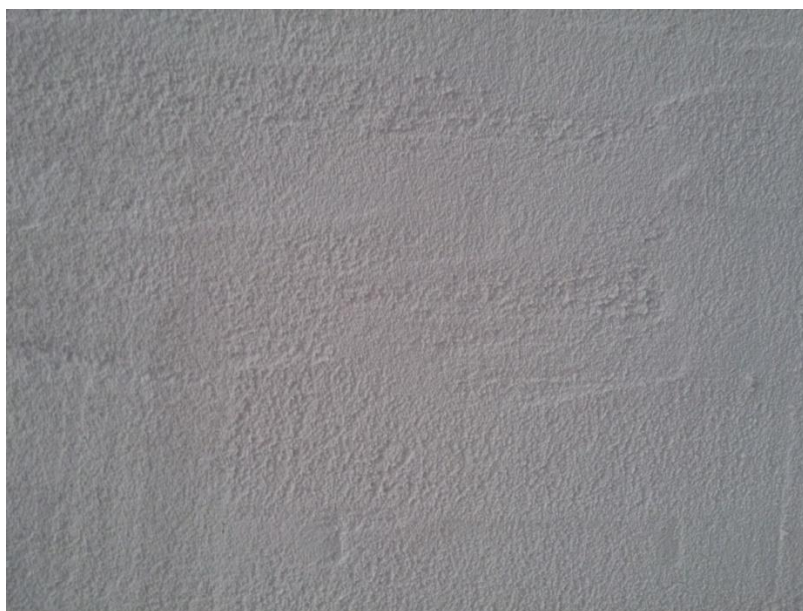
Omítka s běžným šedým cementem, maximální zrno 2 mm. Omítka se stahovala v jedné vrstvě tloušťky 5-10 mm. Omítka se lepila na hladítko a díky tomu se na zdivu trhala. Pokud se hladítko nahnulo ve správném úhlu a stahovalo se dostatečnou rychlostí pod vyšším přítlakem, dala se omítka rozumně aplikovat. Povrch byl však nevzhledný a po mírném zavadnutí jej bylo potřeba upravit.



Obr. 25 Receptura 1

RECEPTURA 2

Omítka s bílým cementem, maximální zrno 1 mm. Omítka se stahovala v jedné vrstvě tloušťky 5-10 mm. Omítka se lepila na hladítko a díky tomu se na zdivu trhala. Pokud se hladítko nahnulo ve správném úhlu a stahovalo se dostatečnou rychlostí pod vyšším přitlakem, dala se omítka rozumně aplikovat. Povrch byl však nevzhledný a po mírném zavadnutí jej bylo potřeba upravit.



Obr. 26 Receptura 2

RECEPTURA 3

V této receptuře byla snížena dávka cementu na polovinu a dávka vápna naopak dvojnásobně zvětšena. V prvním kroku se nanasla vrstva o tloušťce cca 10 mm hladítkem. Omítka byla mírně plastičtější než předchozí receptury. Poté se pomocí omítníků nanasla druhá vrstva do finální celkové tloušťky 25-30 mm. I v takto silné vrstvě omítka byla kompaktní a netvořily se kapsové trhliny. Aplikace byla mírně složitější z důvodu lepení hmoty na hladítko.

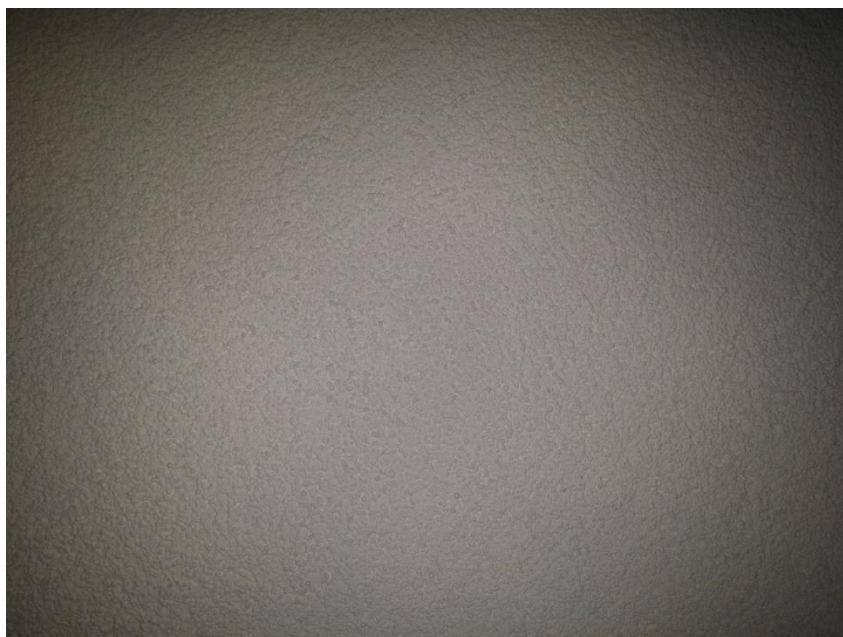


Obr. 27 Receptura 3

RECEPTURA 4

Tato receptura byla aplikována jak na očištěné pórobetonové zdivo, tak na zdivo opatřené lepidlem Ytong. V první variantě byl použit stejný vodní součinitel, jak v předchozích třech recepturách. Vlastnosti a chování omítky v čerstvém stavu byly prakticky totožné, jako předchozí receptury. V zavadlém stavu při tvorbě struktury větší zrna odpadávala ze stěny.

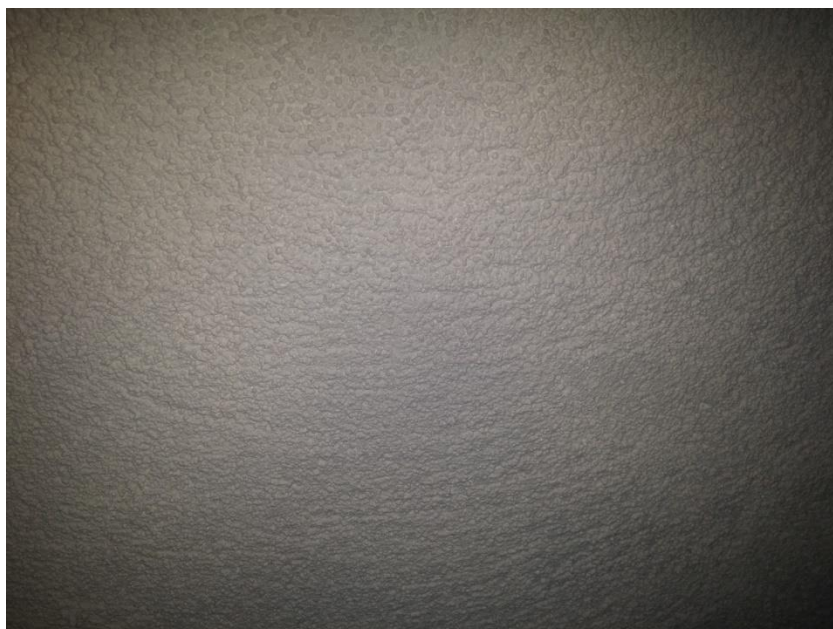
Poté se namíchala omítka s vyšší dávkou vody. Nejen že se s ní lépe pracovalo, ale větší zrna po zavadnutí pěkně seděla v matrici a neodpadávala. V této receptuře byl použit písek (0-1 mm) místo nejjemnější frakce Poraveru. Díky tomu omítka byla hutnější při aplikaci, lépe seděla na stěně a byla tzv. „máslovitá“ (hladké nanášení bez lepení).



Obr. 28 Receptura 4 s vyšší dávkou vody

RECEPTURA 5

U této receptury byl postup a varianty totožné, jako u receptury 4. Dávka chemických přísad byla snížena na polovinu. Chování omítky v obou variantách prakticky korespondují s recepturou 4, avšak nanášení nebylo tak hladké. Větší zrna při zatírání tvořila pěknou rýhovou strukturu.



Obr. 29 Receptura 5

RECEPTURA 6

Při zadaném vodním součiniteli byla konzistence tužší než u jiných receptur. Nanášení probíhalo na očištěný navlhčený pórobeton. Přilnavost byla v porovnání s referenční recepturou podobná. Nicméně struktura se poté tvořila dobře a trhliny nebyly patrné.



Obr. 30 Aplikace Receptury 6

Tab. 21 Vyhodnocení praktické aplikace omítek

OZNAČENÍ	PODKLAD	VODNÍ SOUČINITEL	TLOUŠŤKA VRSTVY [mm]	KOZNISTENCE	PŘILNAVOST	TVORBA STRUKTURY	VZNIK TRHLIN
REF	NAVLHČENÝ PÓROBETON	0,44	5-10	MEDOVÁ	PROBLÉMOVÁ	DOBRÁ	ŽÁDNÝ
REC 1 ^{a)}	NAVLHČENÝ PÓROBETON	0,44	5-10	MEDOVÁ	PROBLÉMOVÁ	DOBRÁ	ŽÁDNÝ
REC 2 ^{a)}	NAVLHČENÝ PÓROBETON	0,44	5-10	MEDOVÁ	PROBLÉMOVÁ	VÝBORNÁ	ŽÁDNÝ
REC 3 ^{a)}	NAVLHČENÝ PÓROBETON	0,44	25-30 ^{b)}	MEDOVÁ	DOBRÁ	VÝBORNÁ	ŽÁDNÝ
REC 4 - 1a	NAVLHČENÝ PÓROBETON	0,44	10	KAŠOVITÁ	DOBRÁ	DOBRÁ	ŽÁDNÝ
REC 4 - 1b	LEPIDLO YTONG	0,44	10	KAŠOVITÁ	DOBRÁ	DOBRÁ	ŽÁDNÝ
REC 4 - 2a	NAVLHČENÝ PÓROBETON	0,6	10	TEKUTÁ KAŠE	VÝBORNÁ	VÝBORNÁ	ŽÁDNÝ
REC 4 - 2b	LEPIDLO YTONG	0,6	10	TEKUTÁ KAŠE	VÝBORNÁ	VÝBORNÁ	ŽÁDNÝ
REC 5 - 1a	NAVLHČENÝ PÓROBETON	0,44	10	KAŠOVITÁ	PROBLÉMOVÁ	PROBLÉMOVÁ	ŽÁDNÝ
REC 5 - 1b	LEPIDLO YTONG	0,44	10	KAŠOVITÁ	PROBLÉMOVÁ	PROBLÉMOVÁ	ŽÁDNÝ
REC 5 - 2a	NAVLHČENÝ PÓROBETON	0,6	10	TEKUTÁ KAŠE	VÝBORNÁ	VÝBORNÁ	ŽÁDNÝ
REC 5 - 2b	LEPIDLO YTONG	0,6	10	TEKUTÁ KAŠE	VÝBORNÁ	VÝBORNÁ	ŽÁDNÝ
REC 6	NAVLHČENÝ PÓROBETON	0,44	5-10	MEDOVÝ	PROBLÉMOVÁ	DOBRÁ	ŽÁDNÝ

a) Z důvodu menšího zbylého množství SOMS po laboratorních zkouškách byla aplikována omítka pouze v jedné variantě.

b) V prvním kroku byla nanášena vrstva cca 10 mm, která se nechala mírně zavadnout. V druhém kroku se přidaly omítníky a nanášela se omítka s mírným přesahem omítníků. Poté se omítka pomocí omítníků stáhla latí.

SHRNUTÍ PRAKTICKÉ APLIKACE NA ZDIVO

Z důvodu špatných světelných podmínek byl použit vždy jeden snímek od každé receptury. Nebyl totiž vidět výraznější rozdíl na struktuře mezi jednotlivými variantami (u receptur 4 a 5).

Ze zjištěných poznatků lze usoudit, že přídavek vody zlepšil vlastnosti omítky v čerstvém stavu. Lépe se s ní pracovalo, nelepila se na hladítko a netvořily se trhliny. Avšak se musí dávat pozor na množství přidané vody. Pokud by vody bylo až příliš, mohla by negativně ovlivnit fyzikálně-mechanické vlastnosti. Písek nebo i vyšší dávka vody zvýší objemovou hmotnost v čerstvém stavu, a to zlepší přilnavost k podkladu. Tento předpoklad byl ověřen na komerčně vyráběné TI omítce pro pórobetonové zdivo od firmy Salith. Omítka má prakticky dvojnásobnou objemovou hmotnost a lépe se aplikovala. Nelepila se na hladítko a stačilo ji pouze stáhnout najedenkrát. Vyšší objemová hmotnost však zvyšuje součinitel tepelné vodivosti. Nejbližší se k této omítce blížila receptura 4. Dalším poznatkem je odpadávání větších kuliček Poraveru frakce (1-2 mm) z povrchu omítky. Jednalo se o ty zrna, které nebyly dostatečně obaleny pojivem a směs obsahovala méně vody. S přídavkem vody se tento jev vyskytoval minimálně.

8. STANOVENÍ OPTIMÁLNÍ RECEPTURY

Abychom dokázali určit, která receptura je neoptimálnější, je zde provedeno vyhodnocení optimální receptury pomocí optimalizačního výpočtu. Bylo vybráno pět nejdůležitějších parametrů, které specifikují omítku. Každému parametru byla přiřazena váha důležitosti. Nejdůležitější vlastností jsou součinitel tepelné vodivosti, faktor difúzního odporu, pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu a práce s čerstvou omítkou při aplikaci na zdivo.

Tab. 22 Rozhodovací matice pro optimalizační výpočet

Ozn.	I	II	III	IV	V
Název kritéria	Součinitel tepelné vodivosti [W/(m·K)]	Aplikace na zdivo [-]	Faktor difúzního odporu [-]	Pevnost v tlaku [N/mm ²]	Pevnost v tahu za ohybu [N/mm ²]
MAX/MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX
f_i - váha	0,3	0,2	0,18	0,17	0,15
REF	0,098	3	8,9	1,50	1,05
REC 1	0,101	2	6,6	2,89	1,38
REC 2	0,102	3	6,1	3,37	1,41
REC 3	0,081	4	7,1	1,85	0,91
REC 4	0,113	5	6,9	2,90	1,26
REC 5	0,100	5	6,2	1,96	0,87
REC 6	0,099	3	7,8	2,01	0,81
MAX	0,113	5	8,9	3,37	1,41
MIN	0,081	2	6,1	1,5	0,81

Výpočet optimální receptury byl proveden pomocí těchto výpočetních vztahů [57]:

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

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

$$c_{ij} = b_{ij} \cdot f_i$$

$$\text{Optimum: } H_i = \max \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot 100 [\%]$$

Ozn.	b _{ij}					c _{ij}					Σc _{ij}
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
REF	0,4688	0,3333	0,0000	0,0000	0,4000	0,1406	0,0667	0,0000	0,0000	0,0600	26,73
REC 1	0,3750	0,0000	0,8214	0,7433	0,9500	0,1125	0,0000	0,1479	0,1264	0,1425	52,92
REC 2	0,3438	0,3333	1,0000	1,0000	1,0000	0,1031	0,0667	0,1800	0,1700	0,1500	66,98
REC 3	1,0000	0,6667	0,6429	0,1872	0,1667	0,3000	0,1333	0,1157	0,0318	0,0250	60,59
REC 4	0,0000	1,0000	0,7143	0,7487	0,7500	0,0000	0,2000	0,1286	0,1273	0,1125	56,83
REC 5	0,4063	1,0000	0,9643	0,2460	0,1000	0,1219	0,2000	0,1736	0,0418	0,0150	55,23
REC 6	0,4375	0,3333	0,3929	0,2727	0,0000	0,1313	0,0667	0,0707	0,0464	0,0000	31,50

Tab. 23 Výsledky optimalizačního výpočtu

Optimalizačním výpočtem byla určena optimální receptura a to REC 2. U této receptury byla vynechána frakce 1-2 mm Poraveru a o stejné váhové množství byla přidána frakce 0,5-1 mm. Tato receptura dosáhla nejlepších pevností při nízké tepelné vodivosti. Její výsledné vlastnosti jsou takové:

- Objemová hmotnost – 460 kg/m³.
- Pevnost v tahu za ohybu – 1,41 N/mm².
- Pevnost v tlaku – 3,34 N/mm².
- Součinitel tepelné vodivosti – 0,102 W/(m·K).
- Faktor difúzního odporu – 6,1.

Druhá nejvhodnější receptura je pak REC 3, která má sice nižší pevnostní charakteristiky, ale má nejnižší součinitel tepelné vodivosti. Proto je pro výběr optimální receptury důležité zjistit místní podmínky pro aplikaci omítky.

C. REKAPITULACE VÝSLEDKŮ

Diplomová práce se zabývala využitím lehkého kameniva z odpadní skleněné moučky v tepelně-izolačních omítkách jako náhrada za běžné plnivo. Byly použity tři frakce kameniva Poraver v celkovém rozmezí 0-2 mm. Tento krok měl za úkol snížit objemovou hmotnost a tím i součinitel tepelné vodivosti. Pro ještě lepší tepelné technické vlastnosti byl přidán perlit. Zároveň však musely mít omítky přijatelné mechanické vlastnosti, aby nedocházelo k poruchám. Zejména se jedná o trhliny v zatvrdlém stavu. Tento problém se často vyskytuje při omítání pórobetonového zdiva, které obsahuje velké množství výrobní vlhkosti. Ta se musí v čase odpařit z materiálu. Tento proces doprovází relativně velké objemové změny pórobetonu. Omítka by tedy za prvé umožnit snadný odchod vlhkosti do okolí a za druhé by měla odolávat zmíněným objemovým změnám.

V teoretické části byly shrnuty parametry, které musí tepelně-izolační omítky splňovat. Základním předpisem byla norma ČSN EN 998-1 a současně také směrnice WTA 2-9-04/D. Tato směrnice stanovuje požadavky pro sanační omítkové systémy. Na základě rešerše byly navrženy možnosti použití tepelně-izolačních omítek. Primárně se jedná o omítání novostaveb z pórobetonu. Jak již bylo zmíněno výše, omítka umožní odchod vlhkosti z konstrukce, aniž by se porušila objemovými změnami podkladu. Měla by zamezit vnik kapalně vody z exteriéru a udržet konstrukci v rovnovážné vlhkosti. Pro stávající objekty, které jsou ze stavebnětechnického hlediska v pořádku, může TI omítka sloužit jako energetická sanace. Ta má za úkol snížit spotřebu energií na vytápění. Mimořádně tepelněizolační omítky není nutné aplikovat na celou konstrukci, pokud je postavena z izolačních tvárnic a splňuje požadavky. Lze omítnout pouze kritická místa, kde se nachází tepelné mosty. Vlastnosti TI omítky by měly umožňovat použití v sanačním omítkovém systému.

Prvním krokem v praktické části byl návrh receptur. Ten se odvíjí od požadavků na výsledné vlastnosti omítek. Základním prvkem bylo použití lehkých plniv (Poraver, Perlit). V REC 4 byla substituována jedna frakce Poraveru běžným pískem. Jako plnivo byl použit cement (běžný šedý CEM I 42,5 R anebo bílý CEM I 52,5 R) a vápenný hydrát. Dávkování proběhlo v různých kombinacích a poměrech. Dále byl použit mletý vápenec a také směs chemických přísad, které zlepšují vlastnosti omítek. Tyto složky tvořily tzv. SOMS, která se po důkladné homogenizaci mohla smíchat s vodou. Dávka vody byla taková, aby výsledná omítka měla konzistenci na střešacím stolku 130 ± 5 mm.

Nejprve byly stanoveny vlastnosti v čerstvém stavu. Všechny receptury měly konzistenci na střešacím stolku v toleranci s požadavkem. Hodnoty se pohybovaly od 120 mm do 135 mm. Současně byla měřena konzistence pomocí penetračního válce. Zde byla předepsána hodnota 35 ± 3 mm. Tento parametr splňovala pouze REC 3 (35 mm). REC 1,2 a 5 se nacházely v toleranci 35 ± 5 mm. Referenční receptura (11 mm) a REC 4 (50 mm) vybočovaly výrazně. U REC 1 měly odchylky od předepsané konzistence vliv na přípravu vzorků a na výsledný vzhled zkušebních trámů. Směs se hůře hutnila a na povrchu byly zřetelné vzduchové bubliny. Vodní součinitel

(voda/suché složky) se pohyboval kolem hodnoty 0,44. U REC 4 bylo použito méně vody, a to z důvodu obsahu písku, který obsahoval určité množství vlhkosti. I tak se pohybovala konzistence na vyšších hodnotách než u jiných receptur. Písek měl vliv i na objemovou hmotnost v čerstvém stavu. Ta byla měřena jak ve volně naplněné nádobě, tak i na hutněných trámcích. Nejvyšší objemovou hmotnost měla tedy REC 4, a to 590 kg/m^3 (nezhutněná) a 660 kg/m^3 (zhutněná). Nejmenší objemovou hmotnost měla REC 2 (zhutněná ρ_v byla 550 kg/m^3). Ostatní receptury měly objemovou hmotnost 570-600 kg/m^3 . U všech receptur kromě REC 2 byla ρ_v zhutněná vyšší než nezhutněná. To mohlo být způsobeno nepřesným naplněním měřené nádoby. Na čerstvé maltě byl dále měřen obsah vzduchu. Pro sanační omítky musí být vyšší než 25 %. Referenční receptura obsahovala právě 25 % vzduchu, jinak všechny ostatní receptury tento požadavek splňovaly. Nejvíce vzduchu obsahovala REC 5 (36 %). Tato receptura obsahovala poloviční dávku chemie a její ρ_v v nezhutněném stavu byla nejnižší ze všech receptur. Lze tedy pozorovat analogii mezi vyšším obsahem vzduchu a nižší objemovou hmotností. Také lze říci, že vyšší dávka chemie nemusí způsobit vyšší provzdušnění. Poslední měřenou veličinou na čerstvé maltě byla zpracovatelnost. Ta je důležitá pro přípravu a aplikaci omítek na stavbách. Udává dobu, kdy se poprvé změní parametr penetrace a do kdy tedy lze bez problémů omítku zpracovat. Nejkratší dobu zpracovatelnosti vykazovala referenční receptura, kdy po hodině od smíchání SOMS s vodou začínala směs tuhnout. REC 1, 2, 3 a 6 měla dobu zpracovatelnosti do 75 minut. REC 4 a 5 byly více provzdušněny a měly největší hodnoty rozlití, a proto se doba zpracovatelnosti prodloužila na 105 minut.

Vlastnosti v zatvrdlém stavu se zkoušely nejdříve po 14 dnech a další sada nejdříve po 28 dnech. Na trámcích byla nejprve stanovena objemová hmotnost. Nejnižší ρ_v po 28 dnech měla REC 3 (410 kg/m^3), kde byla snížena dávka cementu na 1/3 původní hmotnosti a dávka vápna byla dvojnásobná. Nejvyšší ρ_v po 28 dnech (490 kg/m^3) měla REC 4, která obsahovala běžný písek. Nicméně i tak je ρ_v nízká. Na mechanické vlastnosti však tato skutečnost neměla tak velký vliv. Nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu i v tlaku vykazovala REC 2 (OHYB: $2,10 \text{ N/mm}^2$, TLAK: $3,37 \text{ N/mm}^2$). U této receptury byla vynechána frakce 1-2 mm. Z toho vyplývá, že pro vyšší pevnosti je optimální použít frakce do 1 mm (1,2 mm). U REC 1 a REC 4 byla pevnost v tlaku přibližně $2,90 \text{ N/mm}^2$ a pevnost v tahu za ohybu se pohybovala kolem hodnoty $1,30 \text{ N/mm}^2$. U REC 3 se nejnižší ρ_v projevila na pevnosti v tlaku, která byla $1,85 \text{ N/mm}^2$, což byla nejnižší pevnost v tlaku u modifikovaných receptur. I tak lze tyto receptury zařadit do kategorie CS II. Nejnižší pevnost v tlaku ($1,5 \text{ N/mm}^2$) však měla referenční receptura. Nejnižší pevnost v tahu za ohybu byla naměřena u REC 5, která obsahovala poloviční dávku chemie a byla nejvíce provzdušněná. Všeobecně lze konstatovat, že REC 1 až REC 5 mají velmi dobré pevnosti a postačují pro účely TI omítek. Pro zkoušku přídržnosti k podkladu byly použity dva typy podkladu, a to pórobetonové zdivo třídy P2-350 a pro srovnání betonová dlaždice. U pórobetonu došlo k porušení vždy ve vrstvě omítky, tudíž prolnutí omítky do podkladu bylo dostatečné. Nejvyšší přídržnost měla REC 2 ($0,33 \text{ N/mm}^2$). Zde nacházíme analogii u pevností v tlaku a v tahu za ohybu, kdy absence frakce 1-2 mm zvýší přídržnost. U REF a REC 1 byly naměřena přídržnost lehce nižší než u REC 2.

Naopak nejnižší přídržnost měla REC 5. Zde byly výsledky následující. Přídržnost na pórobetonu byla $0,11 \text{ N/mm}^2$ a na betonu dokonce jen $0,04 \text{ N/mm}^2$. Tyto výsledky mohlo způsobit vyšší provzdušnění či poloviční dávka chemických přísad. Místo porušení u dlaždice bylo vždy na rozhraní betonu a omítky. Nejvyšší přídržnost vykazovala REF a REC 4, kde hodnoty byly $0,39 \text{ N/mm}^2$ resp. $0,35 \text{ N/mm}^2$. Zde se omítka spíše přilepila k podkladu a do hutné vrstvy betonu se tak příliš nedostala. Koeficient kapilární absorpce pro sanační omítky dle WTA musel být vyšší než $0,3 \text{ kg/m}^2$. Tento požadavek s přehledem splňovaly všechny receptury. Nejnižší hodnota byla naměřena u REF ($1,60 \text{ kg/m}^2$) a u REC 3 ($1,63 \text{ kg/m}^2$) a nejvyšší hodnotu měla REC 1 ($3,32 \text{ kg/m}^2$). Aby mohla být omítka použita jako sanační, musí mít hloubku penetrace vody max. 5 mm. Všechny receptury toto kritérium nespĺnilo výrazně. Nejmenší hloubku penetrace měla REF (24 mm). Z tohoto důvodu lze omítky použít jako podkladní vrstvu pro sanační systémy či jako obětovanou omítku. Pro jiné, než sanační omítky platí, že koeficient kapilární absorpce musí splňovat kategorii W 1 ($<0,4 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$). Nejvyšší hodnotu měla opět REC 1 ($0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$), což bezpečně splňuje požadavek. Vliv na tento parametr tak může mít použitý cement či použití běžného písku. Faktor difúzního odporu byl měřen metodou „DRY-CUP“ a naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí 6,1-8,9. Tyto hodnoty splňují i přísnější hodnocení dle směrnice WTA. Nejnižší hodnota byla naměřena u REC 2. Poslední laboratorní zkouškou bylo stanovení součinitele tepelné vodivosti. Pro TI omítky je to velmi důležitý parametr. Měření probíhalo na vysušených deskách, na kterých byla nejprve stanovena objemová hmotnost. Nejnižší součinitel tepelné vodivosti měla REC 3. Jeho hodnota byla $0,081 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ při objemové hmotnosti 340 kg/m^3 . Tuto recepturu lze zařadit do kategorie T 1. Nejvyšší hodnotu součinitele ($0,113 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) měla REC 4, což už předurčovala vyšší objemová hmotnost. Tato receptura byla zařazena do kategorie T 2, která je stále adekvátní při použití jako TI omítka. Součinitel tepelné vodivosti u ostatních receptur kolísá kolem hodnoty $0,1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Pokud bychom je chtěli zařadit do T 1, muselo by se provést měření na více vzorcích, či upravit samotný návrh receptur. Desky pro tepelnou vodivost u REC 3 měly nažloutlou barvu a při vrypu se snadno drolily. Také byly měkčí oproti ostatním. Jev byl pozorován na všech deskách REC 3. Avšak u jiných vzorků (trámečky, válce) se tato anomálie nevyskytovala. Důvodem může být nesprávná příprava desek, které byly vyráběny později než ostatní vzorky. Nebo lze také uvažovat fakt, že jednotlivé složky SOMS byly segregovány, protože se jednalo o zbytkové množství.

V další etapě byly připraveny omítky pro aplikaci na pórobetonové zdivo, které bylo zbaveno prachu a navlhčeno anebo bylo na něj nanášeno lepidlo na pórobeton. Všeobecně lze říct, že všechny omítky se zadaným vodním součinitelem (0,44) se relativně pracně aplikovaly. Bylo nutné stahovat omítku v několika krocích, protože odpadávala od zdiva. Při použití omítníku pro větší tloušťku omítky se tento problém částečně eliminoval. Tyto TI omítky mají velmi nízkou ρ_v a při nanášení na hladítko se chovají podobně jako „bílkový sníh“. Omítka byla lepivá, a to byl důvod trhání. Z tohoto důvodu byla namíchána nová směs s mírně vyšším množstvím vody. Tím se zvýšila ρ_v v čerstvém stavu a všechny předcházející problémy byly odstraněny. Směs měla tedy

více vody, kterou pórobeton mohl lépe nasát do své struktury a tím se zajistila lepší přilnavost. Detailní poznatky jsou zaznamenány v Kapitole 7.

Poslední etapou byl výběr optimální receptury pomocí výpočtu. Definoval jsem klíčové parametry, jako například součinitel tepelné vodivosti, aplikace na zdivo, faktor difúzního odporu, pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu. Optimalizační výpočet vyhodnotil za nejlepší recepturu REC 2, jejíž maximální zrno bylo 1 mm a obsahovala více jemnější frakce. Také zde byl použit bílý cement. Výsledné vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce a porovnány s některými komerčně vyráběnými omítkami na podobném materiálovém základu.

Tab. 24 Porovnání vybraných receptur s komerčními TI omítkami

	REC 2	REC 3	Salith MKL	Thermo Um Xtra	Baumit Termo	Hasit 852
Tepelná vodivost	0,102	0,081	0,12	0,09	0,11	0,12
Pevnost v tlaku	CS II	CS II	CS I	CS II	CS II	CS I
Přídržnost	0,33 (B)	0,24 (B)	min. 0,18 (B)	0,35 (B)	-	-
Objemová hmotnost zatvrdlé malty	450-470	400-420	1300-1460	380-400	460-480	480-500
Faktor difúzního odporu	<8	<8	≤15	<10	<10	≤15
Kapilární absorpce	W 1	W 1	W 0	W 1	-	W 1

Tab. 24 ukazuje, že obě receptury jsou konkurenceschopné některým vybraným komerčně vyráběným omítkám. REC 2 vyniká vysokými pevnostmi při relativně nízké tepelné vodivosti a propustnosti pro vodní páry. REC 3 zase disponuje nejnižší tepelnou vodivostí.

D. ZÁVĚR

První provedená změna oproti referenční receptuře byla náhrada bílého cementu šedým CEM I 42,5 R. Tento cement patří do nižší pevnostní třídy, má menší měrný povrch a nižší pevnosti po 28 dnech, ale také je výrazně levnější než bílý cement 52,5 R. Tato náhrada měla vliv na tyto vlastnosti v čerstvém stavu. Mírně se zvýšila objemová hmotnost (průměrně o 40 kg/m^3), o 3 % se zvýšila pórovitost a mírně se prodloužila doba zpracovatelnosti. V zatvrdlém stavu pak objemové hmotnosti byly takřka totožné. Avšak pevnost v tahu za ohybu i pevnost v tlaku se zvýšila poměrně výrazně. V tlaku o $1,4 \text{ N/mm}^2$. Hodnota koeficientu kapilární absorpce se u REC 1 zvýšila dvojnásobně. Faktor difúzního odporu se však snížil o více než 2 jednotky. Vliv na součinitel tepelné vodivosti je zanedbatelný. Při aplikaci na zdivo se omítka lepila, trhala se a bylo nutné použít větší tlak. Struktura se tvořila přijatelně a v zatvrdlém stavu se posléze netvořily trhliny. Pokud by tedy nebyl požadavek na bělost omítek a bylo by potřeba snížit náklady, varianta s šedým cementem je vhodnější než referenční receptura.

Rozdíl mezi REC 2 a REF byl pouze ten, že u REC 2 byla vynechána frakce 1-2 mm Poraveru a o hmotnost této frakce se zvýšila frakce 0,5-1 mm. Zvýšilo se rozlití o 7 mm, obsah vzduchu o 6 % a objemová hmotnost v čerstvém stavu se byla prakticky totožná. Vliv na objemovou hmotnost v zatvrdlém stavu tato úprava neměla. Výrazný rozdíl byl především v pevnostech. Zvýšení pevnosti v tlaku bylo více než dvojnásobné. Tato receptura dosáhla nejvyšších pevností ze všech zkoušených receptur. U REC 2 byla také naměřena nejnižší hodnota faktoru difúzního odporu (6,1). Tepelná vodivost byla prakticky totožná jako u předchozích dvou receptur. Výborně se tvořila struktura po zavaznutí a netvořily se v ní trhliny. Tyto skutečnosti definují REC 2 jako nejoptimálnější.

REC 3 obsahovala oproti referenční třetinové množství cementu a dvojnásobné množství vápna. Vlastnosti v čerstvém stavu byly podobné těm u REC 2. Rozdíl byl patrný až na zatvrdlých vzorcích. Objemová hmotnost zde byla nejnižší ze všech receptur (410 kg/m^3). To se podepsalo na pevnostech. Pevnost v tahu za ohybu byla nižší než u referenční, ale pevnost v tahu naopak vyšší. Koeficient kapilární absorpce byl prakticky stejný jako u REF. Faktor difúzního odporu se snížil. Nejvýraznější změnou byla však tepelná vodivost. U REC 3 byl naměřen nejnižší součinitel tepelné vodivosti a to $0,081 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Menší množství cementu a vyšší množství vápna tedy snížilo objemovou hmotnost, snížilo pevnosti a snížilo součinitel tepelné vodivosti.

U REC 4 byla objemově nahrazena nejjemnější frakce Poraveru kopaným pískem frakce 0-1 mm. Na vlastnosti v čerstvém stavu měla tato substituce vliv především na objemovou hmotnost. Ta byla nejvyšší ze všech receptur. Taktéž objemová hmotnost zatvrdlé omítky byla nejvyšší. Co se týče pevností, tak ty dosahovaly hodnot podobných u REC 1. Rozdíl byl pouze ten, že REC 4 (bílý cement 52,5 R) měla rychlejší náběh pevností než REC 1 (šedý cement 42,5 R). Rozdíl mezi kapilární absorpcí a difúzním odporem mezi REC 4 a REC 1 nebyl velký. Naopak součinitel tepelné vodivosti byl

nejvyšší ze všech receptur. S touto recepturou se velmi dobře pracovalo při aplikaci na zdivo, avšak bylo nutné přidat více vody oproti přípravě laboratorních těles.

Úprava REC 5 spočívala v poloviční dávce chemických přísad. Objemová hmotnost čerstvé malty byla totožná jako u referenční receptury. Prodloužila se doba zpracovatelnosti o 45 minut a zvýšil se obsah vzduchu. Při stejné objemové hmotnosti v zatvrdlém stavu se mírně zvýšily pevnosti, ale přídržnost zde byla nejmenší ze všech receptur. Koeficient kapilární absorpce a faktor difúzního odporu byl podobný jako u REC 2. Taktéž součinitel tepelné vodivosti byl stejný, jako např. u REF. Při původním vodním součiniteli se s omítkou špatně pracovalo (odpadávala od stěny). Po navýšení množství vody se tento problém eliminoval. Také tvorba struktury po zavadnutí šla lépe provést.

Vlákna v REC 6 snížila rozlití a obsah vzduchu v čerstvé maltě. Objemová hmotnost (čerstvý i zatvrdlý stav) byla prakticky totožná s referenční recepturou. Pevnosti zase dosahovaly podobných hodnot u REC 5. Tudíž se mírně zvýšily oproti REF. Stejných hodnot jako u REC 2 dosahoval koeficient kapilární absorpce. Vlákna také nijak neovlivnila hodnotu součinitele tepelné vodivosti.

Závěrem lze dodat, že testované omítky lze použít v jednovrstvém systému. Výztužná síť by se aplikovala pouze v kritických místech (např. v rozích otvorů, v místech styku dvou různých materiálů atd.). Bezproblémově lze nanášet omítku i při tloušťce cca 25 mm v jednom kroku.

E. SEZNAM ZDROJŮ

- [1] Cena energií. *Kurzy.cz* [online]. b.r. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/komodity/>
- [2] KULHÁNEK, František. *Navrhování a hodnocení budov dle EPBD II* [online]. In: . b.r. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/ekonomika/navrhovani-a-hodnoceni-budov-podle-epbd-ii_43081.html
- [3] *ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 2011.
- [4] EPBD II. In: *EkoWATT.cz* [online]. b.r. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/EPBD-II-Energy-performance-building-directive-II>
- [5] Zasedání Rady EU v červnu 2017. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. b.r. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/mezinarodni-spoluprace/evropska-energeticka-politika/rada-tte-prijala-obecny-pristup-ke-smernicim-o-energeticke-narocnosti-budov-a-energeticke-ucinnosti--229945/>
- [6] Udržitelný rozvoj. In: *TZB-info.cz* [online]. b.r. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4945-trvala-udrzitelnost-a-jeji-hodnoceni-ii>
- [7] DALY, Herman, John COBB a Clifford COBB. *For the common good: redirecting the economy toward community, the environment, and a sustainable future*. 2nd ed. Boston: Beacon Press, 1994. ISBN 0-8070-4705-8.
- [8] DONELLA H. MEADOWS, , DENNIS L. MEADOWS a Jørgen RANDERS. *Beyond the limits: confronting global collapse, envisioning a sustainable future*. [Pbk. ed.]. Vermont: Chelsea Green Publishing, 1992. ISBN 0930031628.
- [9] Living planet report. *Www.panda.org* [online]. b.r. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: http://assets.panda.org/downloads/living_planet_report.pdf
- [10] HURLEY, James. *A UK MARKET SURVEY FOR FOAM GLASS* [online]. b.r. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.glass-ts.com/userfiles/files/2003-03%20WRAP%20Report%20-%20UK%20Market%20Survey%20for%20Foam%20Glass.pdf>
- [11] TRINNER, Alexander. *Kamenivo* [online]. Plzeň, b.r. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.kme.zcu.cz/download/predmety/526-zcu-ma-05-kamenivo.pdf>. Západočeská univerzita v Plzni, Katedra mechaniky.
- [12] Refaglass: *Skelná moučka* [online]. b.r. [cit. 2017-08-12]. Dostupné z: <http://www.refaglass.cz/skelna-moucka/>

- [13] Poraver® sbalkované pěnové sklo. In: Poraver - expanded glass [online]. b.r. [cit. 2017-09-24]. Dostupné z: <http://poraver.com/>
- [14] BUBENÍK, Jan. Možnosti využití lehkého kameniva na bázi pěnového skla pro výrobu novodobých stavebních materiálů. Brno, 2017. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.
- [15] ŠUMBEROVÁ, Barbora. HYDROFILNÍ OMÍTKOVÝ SYSTÉM PRO VYSOUŠENÍ A DESALINIZACI ZDIVA. Praha, 2017. Diplomová práce.
- [16] ČSN EN 998-1 ED.3 Specifikace malt pro zdivo - Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky. 2017.
- [17] REICHEL, Alexander., Anette. HOCHBERG a Christine. KOPKE. Plaster, render, paint and coatings: details, products, case studies. 1. Basel: Birkhäuser [distributor], 2004. ISBN 3764371102.
- [18] CEMIX - Jednovrstvé a dvouvrstvé omítkové systémy [online]. b.r., , 1-36 [cit. 2017-09-24]. Dostupné z: http://www.cemix.cz/data/files/cemix_omitkove_systemy_2012.pdf
- [19] BLAHA, Martin. Omítky. 1. vyd. Praha: Grada, 2004. Profi & hobby. ISBN 80-247-0898-1.
- [20] VANĚK, Lukáš. Vývoj pokročilých tepelně izolačních omítek s možností uplatnění jako sanační omítky dle WTA. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D.
- [21] Lexikon: Omítání, lepení obkladů a spárování. Cihlářský cech Čech a Moravy [online]. b.r. [cit. 2017-09-24]. Dostupné z: <http://www.cscm.cz/lexikon/kap11.pdf>
- [22] Malty a omítky 2015: Skripta. ČVUT v Praze [online]. 2015 [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/MI%20I/studmat/malty_omitky.pdf
- [23] HOŠEK, Jiří a Ludvík LOSOS. Historické omítky: průzkumy, sanace, typologie. 1. vyd. Praha: Grada, 2007. Stavitel. ISBN 978-80-247-1395-3.
- [24] Vlhkost ve stavebních konstrukcích. In: ČVUT v Praze, fakulta stavební: Katedra konstrukcí pozemních staveb [online]. Praha, 2012 [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=3447
- [25] Obsah vodní páry ve vzduchu. In: TZB-info [online]. b.r. [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/docu/clanky/0091/009134o2.png>

- [26] FRIDRICHOVÁ, Marcela, Karel DVOŘÁK a Rudolf FRIDRICH. Omítky. 1. vyd. Brno: ERA group, 2004. Stavíme. ISBN 80-7366-004-0.
- [27] PAVLÍKOVÁ, Milena. Přísady k silikátovým materiálům a pucolánově aktivní materiály [online]. In: . b.r. [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/CHS/CHS6.pdf>
- [28] Foaming agent for plaster and cement compositions. b.r. Německo. US3926650 A.
- [29] DOLEŽELOVÁ, Magdalena. LIGHTWEIGHT GYPSUM BASED MATERIALS: METHODS OF PREPARATION AND UTILIZATION [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-12-03].
- [30] Expandovaný perlit. Perlit [online]. b.r. [cit. 2017-09-24]. Dostupné z: <http://www.perlit.cz/expandovany-perlit/>
- [31] RAJCHOT, Václav. VÝVOJ TEPELNĚ IZOLAČNÍCH A SANAČNÍCH OMÍTEK PRO PAMÁTKOVOU PÉČI. Brno, 2013. Diplomová práce. VUT v Brně.
- [32] DROCHYTKA, Rostislav. Lehké stavební látky. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1993, 124 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 8021405147.
- [33] Svaz výrobců suchých omítkových a maltových směsí [online]. b.r. [cit. 2017-12-03]. Dostupné z: <http://www.svsoms.cz/pages/otazky.php>
- [34] Energeticky efektivní sanace budov [online]. b.r. [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/energie/energeticky-efektivni-sanace-budov>
- [35] Energetická sanace při zachování vzhledu. Remmers [online]. b.r. [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/13045595-Energeticka-sanace-zatepleni-pri-zachovani-vzhledu.html>
- [36] Vnitřní zateplení [online]. b.r. [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.zateplujemezvnitr.cz/nabizene-sluzby/vnitрни-zatepleni-bez-parozabrany/jak-navrhovat-vnitрни-zatepleni/>
- [37] Tepelné mosty a jak vznikají [online]. b.r. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <http://www.tepelna-izolace.cz/tepelne-mosty-a-jak-vznikaji.html>
- [38] Omítky do koupelen [online]. b.r. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <http://www.strojnomitky.eu/koupelny-kuchyne>
- [39] Sanační omítky [online]. b.r. [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/omitky/sanacni-omitky>
- [40] Směrnice WTA 2-9-04/D Sanační omítkové systémy. In: . Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky z.s. – WTA CZ, 2005.

- [41] Struktury a zrnitosti omítky. In: Extherm: Fasády [online]. b.r. [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: https://www.extherm.cz/stavebni-systemy/fasady/jak-vybrat-povrchovou-upravu-fasady/attachment/strukt_omitky
- [42] Vápno Čerták. Lhoist: Vápenka Čertovy schody, a.s. [online]. b.r. [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: http://www.lhoist.com/cs_cs/v%C3%BDrobky-0
- [43] Cementárna Mokrá: CEM I 42,5 R [online]. b.r. [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <http://www.heidelbergcement.cz/cs/cement/baleny-cement/cemi425r>
- [44] Aalborg White: Bílý cement portlandský 52,5 R [online]. b.r. [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <http://www.avas-concrete.com/stavebni-hmoty-cementy/dansky-superbily-cement-portland.php>
- [45] Homogenizátor sypkých směsí [online]. In: . b.r. [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <http://www.homogenizer.cz/wp-content/uploads/P2264603.jpg>
- [46] Míchačka na malty [online]. In: . b.r. [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <https://dccf75d8gej24.cloudfront.net/images/products/06/060817071/A146B866-6241-4EED-8F6D-C7EDFE491BD4-large.jpg>
- [47] ČSN EN 1015-3 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku). 2000.
- [48] ČSN EN 1015-4 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo - Část 4: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím přístroje pro stanovení hodnoty penetrace). 1999.
- [49] ČSN EN 1015-6 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty. 1999.
- [50] ČSN EN 1015-7 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo - Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě. 1999.
- [51] ČSN EN 1015-10 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty. 2000. b.r.
- [52] ČSN EN 1015-11 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku. 2000. b.r.
- [53] ČSN EN 12667 (730569) Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku - Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu. 2001.
- [54] ČSN 72 7012-3 (727012) Stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů v ustáleném tepelném stavu. Metoda desky. Část 3: Metoda měřidla tepelného toku. 1994.

- [55] ČSN EN 1015-18 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo - Část 18: Stanovení koeficientu kapilární absorpce vody v zatvrdlé maltě. 2003.
- [56] ČSN EN 1015-12 (722400) Zkušební metody malt pro zdivo - Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu. 2017.
- [57] PYTLÍK, Petr. Vlastnosti a užití stavebních výrobků. Brno: VUTIUM, 1998. ISBN 80-214-1123-6.

F. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vývoj cen zemního plynu a elektřiny za poslední 2 roky [1].....	12
Obr. 2 Ekologická stopa [9].....	16
Obr. 3 Kamenivo z pěnového skla [10].....	18
Obr. 4 Bloky a tvarovky (vlevo), pelety (vpravo) [1].....	18
Obr. 5 Sbalkované pěnové sklo [13]	20
Obr. 6 Kapsové trhliny (vlevo) a smršťovací trhliny v čerstvé omítce (vpravo) [19].	32
Obr. 7 Smršťovací trhliny v ztvrdlé omítce [19]	33
Obr. 8 Rohové (vrubové) trhliny (vlevo) a spárové trhliny (vpravo) [19].....	34
Obr. 9 Zdroje vlhkosti [24].....	37
Obr. 10 Závislost nasycení vodní páry [g/m^3] na teplotě vzduchu [$^{\circ}\text{C}$] [25].....	38
Obr. 11 Příklady tepelných mostů [21] [37]	46
Obr. 12 Příklad struktury a zrnitosti omítek [41].....	50
Obr. 13 Diagram metodiky	52
Obr. 14 Homogenizátor sypkých směsí [45].....	54
Obr. 15 Míchačka na malty [46].....	55
Obr. 16 Stanovení konzistence čerstvé malty pomocí střešovacího stolku	57
Obr. 17 Penetrační váleček.....	58
Obr. 18 Stanovení doby zpracovatelnosti	60
Obr. 19 Přístroj pro měření součinitele tepelné vodivosti.....	62
Obr. 20 Zkušební kroužky (vlevo) a klimakomora (vpravo)	63
Obr. 21 Metoda DRY-CUP	64
Obr. 22 Měření koeficientu kapilární absorpce.....	65
Obr. 23 Přídržnost k podkladu.....	66
Obr. 24 Dva druhy podkladu – lepidlo Ytong (horní) a pórobeton (dolní).....	82
Obr. 25 Receptura 1	83
Obr. 26 Receptura 2	83
Obr. 27 Receptura 3	84
Obr. 28 Receptura 4 s vyšší dávkou vody.....	85
Obr. 29 Receptura 5	85
Obr. 30 Aplikace Receptury 6.....	86

G. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1	Hodnoty rozlití a penetrace.....	68
Graf 2	Naměřené hodnoty objemových hmotností	69
Graf 3	Obsah vzduchu v čerstvé maltě	69
Graf 4	Zpracovatelnost čerstvé omítky.....	70
Graf 5	Souhrn naměřených objemových hmotností.....	71
Graf 6	Pevnost v tahu za ohybu.....	72
Graf 7	Závislost pevnosti v tahu za ohybu na objemové hmotnosti.....	73
Graf 8	Pevnost v tlaku	73
Graf 9	Závislost pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti	74
Graf 10	Přídržnost k podkladu	75
Graf 11	Koeficient kapilární absorpce pro sanační omítky.....	76
Graf 12	Koeficient kapilární absorpce pro jiné než sanační omítky	76
Graf 13	Faktor difúzního odporu.....	77
Graf 14	Součinitel tepelné vodivosti	78
Graf 15	Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti.....	78
Graf 16	Závislost teploty prostředí na součiniteli tepelné vodivosti	79

H. SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Enviromentální prostor v Evropě (vybrané položky) [6]	16
Tab. 2 Chemické složení skelné moučky [12]	20
Tab. 3 Rozdělení dle vybraných vlastností [16]	25
Tab. 4 Druhy přísad pro výrobu omítek [19]	28
Tab. 5 Srovnání požadavků pro sanační omítky [16] [20] [40].....	48
Tab. 6 Souhrn požadavků na tepelně-izolační malty [16].....	49
Tab. 7 Přehled jednotlivých receptur	55
Tab. 8 Složení receptur	56
Tab. 9 Souhrn naměřených hodnot zkoušek na čerstvé maltě	67
Tab. 10 Přehled objemových hmotností	71
Tab. 11 Přehled mechanických vlastností	72
Tab. 12 Přídržnost k podkladu	74
Tab. 13 Koeficient kapilární absorpce a hloubka penetrace vody.....	75
Tab. 14 Faktor difúzního odporu	77
Tab. 15 Naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti a příslušné objemové hmotnosti.....	77
Tab. 16 Součinitel tepelné vodivosti při různých teplotách.....	79
Tab. 17 Hodnocení konzistence omítek	80
Tab. 18 Hodnocení přilnavosti ke zdivu.....	81
Tab. 19 Tvorba struktury.....	81
Tab. 20 Trhliny v zatvrdlých omítkách	81
Tab. 21 Vyhodnocení praktické aplikace omítek.....	87
Tab. 22 Rozhodovací matice pro optimalizační výpočet.....	88
Tab. 23 Výsledky optimalizačního výpočtu	89
Tab. 24 Porovnání vybraných receptur s komerčními TI omítkami	93

I. POUŽITÉ ZKRATKY

SOMS	suché omítkové směsi
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
TI	tepelná izolace, popř. tepelně-izolační