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

STUDIUM VLHKOSTNĚ–TRANSPORTNÍCH VLASTNOSTÍ POLYMER–CEMENTOVÝCH STĚREK PRO VNĚJŠÍ KONTAKTNÍ ZATEPLOVACÍ SYSTÉMY BUDOV

STUDY OF THE MOISTURE-TRANSPORT PROPERTIES OF POLYMER CEMENTIOUS SCREED FOR EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Vít Janíček

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. RNDR. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK, CSc., Ph.D.

BRNO 2019

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. Vít Janíček
Název	Studium vlhkostně-transportních vlastností polymer-cementových stěrek pro vnější kontaktní zateplovací systémy budov
Vedoucí práce	prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA Vedoucí ústavu	prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc. Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

STEUER, R. Studium fyzikálních vlastností materiálů vnějšího zateplení budov z hlediska snížení vlhkostní zátěže. Disertační práce. Brno, 2008. 134 s. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců.
ETAG 004, GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL of EXTERNAL THERMAL INSULATION, COMPOSITE SYSTEMS (ETICS) WITH RENDERING European Organisation for Technical Approvals, 2013, BRUSSEL
ŠTENKO, M., Použití 2-paprskové laserové dilatometrie při sledování objemových změn stavebních materiálů ve fázi zrání a vlivem vlhkosti. XII. symposium SILICHEM, Brno, 2007
TAYLOR, H.,F.,W. Cement chemistry. [2nd pr.]. London: Academic Press, 1990. ISBN 01-268-3900-X.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Polymercementové stěrkovací hmoty tvoří nedílnou součástí venkovních kontaktních zateplovacích systémů. Při zateplování budov se využívá celé spektrum tepelných izolantů od pro vodní páry špatně prostupných pěnových či extrudovaných polystyrénů až po difuzně propustné vrstvy minerálních či organických vláken. Na všech těchto izolantech tvoří stěrkovací hmota vyztužená skelnou síťovinou nosnou vrstvu pro povrchové ochranné hydrofobní omítky. Novým trendem v oblasti dřevostaveb a nízkoenergetických domů je vytváření difuzně otevřených zateplovacích systémů, což vyžaduje, mimo užití vláknité izolace a parozábran na vnitřním povrchu, i použití stěrkovací hmoty s nízkým difuzním odporem pro vodní páru.
V této souvislosti proveďte:
1. Sestavte přehled o stavu dostupných a v současnosti užívaných difuzně otevřených systémů ETICS,
2. Porovnejte vlhkostně-transportní vlastnosti „klasické" neprovzdušněné polymercementové stěrky s vlastnostmi difuzně propustné provzdušněné polymer cementové stěrky,
3. Porovnání proveďte při třech různých stupních modifikace stěrek redispergovatelným polymerním práškem (v dávkách 0,75%, 1,5% a 3% z celkové hmotnosti suché směsi),
4. Vlhkostně transportní parametry zahrnují a) stanovení propustnosti pro vodní páru metodikou ETAG 004 (respektive ČSN EN ISO 7783), a dále b) stanovení vodní absorpce stěrkovací hmoty dle ETAG 004 (odst. 5.1.3.1),
5. Vyhodnoťte vlivy provzdušnění a obsahu redispergovatelného polymerního prášku na vlhkostně-transportní vlastnosti stěrek zateplovacích systémů,
6. Zhodnoťte dopad velikosti faktoru difuzního odporu stěrkovací hmoty vzhledem k riziku vnitřního hromadění vlhkosti (roční bilance zkondenzované a vypařitelné vlhkosti) pro zateplovací systém s izolantem na bázi vlny (minerální či organické).
Při vypracování diplomové práce dbejte zásad platných na FAST VUT Brno; požadovaný rozsah diplomové práce 70 - 80 stran včetně tabulek a grafů.

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).

prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá studiem vlhkostně transportních vlastností polymercementových stěrek pro ETICS při různých dávkách redispergovatelného polymerního prášku. Rovněž se v práci zkoumá vliv provzdušnění na tyto stěrky. V práci je také zhodnocen vliv použití různých vnějších povrchových úprav vzhledem k riziku hromadění vlhkosti v obvodové konstrukci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vlhkost ve stavebních konstrukcích, kondenzace, polymercementová stěrka, redispergovatelný polymerní prášek, tepelně izolační systém, ETICS.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with study of the moisture-transport properties of polymer cementious ETICS mortars at different doses of redispersible polymer powder. The effect of aerate on these screeds is also investigated. The thesis also evaluates the effect of use various external surface treatments due to risk of cumulate moisture in the perimeter structure.

KEYWORDS

Moisture in building construction, condensation, polymer cementious ETICS mortars, redispersible polymer powder, thermal insulation system, ETICS.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Vít Janíček *Studium vlhkostně-transportních vlastností polymer-cementových stěrek pro vnější kontaktní zateplovací systémy budov.* Brno, 2018. 74 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Studium vlhkostně-transportních vlastností polymer-cementových stěrek pro vnější kontaktní zateplovací systémy budov* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2019

Bc. Vít Janíček
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Studium vlhkostně-transportních vlastností polymer-cementových stěrek pro vnější kontaktní zateplovací systémy budov* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2019

Bc. Vít Janíček
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě chci poděkovat především svým rodičům, díky kterým jsem měl možnost studovat a dokončit vysokoškolská studia.

Také bych rád poděkoval mému vedoucímu diplomové práce panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkovi, CSc., Ph.D. a zaměstnancům firmy Profibaustoffe za odborné vedení, cenné rady, užitečné připomínky a za trpělivost při konzultacích.

OBSAH

ÚVOD **10**
CÍL PRÁCE **12**
TEORETICKÁ ČÁST **13**
1 ZATEPLOVACÍ SYSTÉM OBVODOVÝCH STĚN 13
1.1 Druhy zateplovacích systémů 13
1.2 Složení ETICS 14
1.2.1 Lepicí hmota 15
1.2.2 Mechanické kotvící prvky 15
1.2.3 Tepelně izolační materiál 15
1.2.4 Základní vrstva s výztuží ze skelné síťoviny 17
1.2.5 Konečná povrchová úprava 18
2 DIFUZNĚ OTEVŘENÉ ZATEPLOVACÍ SYSTÉMY 19
2.1 Zateplovací sytém Weber – diffusheet 19
2.2 Zateplovací systém Cemixtherm DIFU MW 21
2.3 Zateplovací systém Baumit Pro Mineral 22
2.4 Zateplovací systém Baumit open 23
3 VLHKOST V ZATEPLOVACÍM SYSTÉMU A OBVODOVÝCH STĚNÁCH 25
3.1 Kapilární vodivost 25
3.2 Sorpce 26
3.3 Difuze vodní páry 26
4 ZKOUŠENÍ ZATEPLOVACÍCH SYSTÉMŮ 27
4.1 Mechanická odolnost a stabilita 27
4.2 Požární bezpečnost 27
4.3 Hygiena, zdraví a životní prostředí 28
4.4 Bezpečnost při užívání 28
4.5 Ochrana proti hluku 28
4.6 Úspory energie a ochrana tepla 29
4.7 Hlediska trvanlivosti a použitelnosti 29
5 LEPICÍ A STĚRKOVACÍ HMOTY 30
5.1 Plnivo 31
5.2 Pojivo 31
5.3 Přísady 31
5.3.1 Redispergovatelný polymerní prášek (RPP) 31
5.3.2 Ethery celulózy 32
5.3.3 Hydrofobizéry 32

PRAKTICKÁ ČÁST 33
6 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ 33
6.1 Popis zkoušených stěrkovacích hmot 33
6.2 Výroba zkušebních těles 35
6.2.1 Příprava malty 35
6.2.2 Příprava zkušebních trámků 36
6.2.3 Příprava základní zkušební vrstvy na izolantu 36
6.2.4 Příprava vzorků pro zkoušky soudržnosti 36
6.3 Popis provedených zkoušek 36
6.3.1 Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty 37
6.3.2 Stanovení množství vzduchu v čerstvé maltě 37
6.3.3 Stanovení konzistence čerstvé malty 38
6.3.4 Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlé malty 39
6.3.5 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu 40
6.3.6 Stanovení pevnosti v tlaku 41
6.3.7 Stanovení soudržnosti mezi lepicí hmotou a podkladem 41
6.3.8 Stanovení soudržnosti mezi stěrkovací hmotou a izolačním výrobkem 42
6.3.9 Stanovení kapilární nasákavosti – zjednodušená 43
6.3.10 Stanovení kapilární nasákavosti dle ETAG 004 44
6.3.11 Stanovení propustnosti vzorků pro vodní páru 45
6.4 Výsledky měření a související grafická vyobrazení 47
6.5 Zhodnocení výsledků 52
7 VÝPOČTOVÁ ČÁST 55
7.1 Princip výpočtu šíření vodní páry v konstrukci 56
7.2 Řešené povrchové úpravy a obvodové konstrukce 57
7.3 Výsledky výpočtů a jejich zhodnocení 62
7.4 Shrnutí výsledků 66
ZÁVĚR 68
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 70
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK 72
SEZNAM OBRÁZKŮ 73
SEZNAM GRAFŮ 73
SEZNAM TABULEK 74

ÚVOD

V dnešní době se stále více upírá pozornost na energetickou náročnost staveb. S tím bezprostředně souvisí zateplení budov, které v posledních několika desítkách let prošlo velkým vývojem. Na trhu jsou dnes dostupné systémy, které bychom si dříve neuměli ani představit. Tento technologický posun je způsoben nejen rychlejší a efektivnější výrobou kvalitnějších tepelně izolačních materiálů, ale také díky novým poznatkům spolupůsobení těchto materiálů s ostatními materiály v konstrukci. Zateplovací systémy budov jsou v dnešní době natolik vyvinuté, že už nás nezajímá jen jejich tepelně izolační stránka, ale zabýváme se stále víc i jinými doprovodnými vlastnostmi zateplovacích systémů, které mohou výrazně ovlivnit výsledné chování budovy. Tento posun požadavků na konečné chování obvodových konstrukcí je zřetelně vidět na trendu posledního desetiletí, kdy s příchodem stále populárnější výstavby dřevostaveb, které začínají zaujímat zejména ve výstavbě rodinných domů významný podíl, se klade větší důraz na odvádění vlhkosti z interiéru do exteriéru. Začínají se rozvíjet tzv. difuzně otevřené systémy. Za difuzně otevřený systém je považovaný takový systém, který umožňuje šíření vodní páry skrz stavební konstrukci bez nežádoucí kondenzace. Pro vytvoření funkčních difuzně otevřených systémů je nutné, aby se difuzní odpor jednotlivých skladebných vrstev konstrukce směrem z interiéru do exteriéru v ideálním případě postupně snižoval.

V případě kontaktních zateplovacích systémů se u difuzně otevřených konstrukcí jako izolant používá vláknitá tepelná izolace či pěnový polystyrén opatřený perforacemi, které sice umožní šíření vodní páry, ovšem problém nastává s difuzním odporem krycích povrchových vrstev.

Stěžejní krycí povrchovou vrstvou je vrstva, která sestává z polymercementové stěrkovací hmoty a výztužné skelné síťoviny a finální omítky. K tomu, aby byl celý systém funkční, je nutné zajistit, aby i tato stěrka zaujímala co nejnižší difuzní odpor a zároveň splňovala i všechny související požadavky, které jsou na ni kladeny. Proto se tato diplomová práce zabývá problematikou stěrek s nízkým difuzním odporem.

Diplomová práce byla tvořena ve spolupráci s firmou Profibaustoffe, která poskytla návrhy receptur i směsi stěrek pro zkoušení, a je rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části je shrnuta problematika šíření vlhkosti a vlhkostního stavu v obvodových konstrukcích, dále se práce zabývá zateplovacím systémem ETICS, kde jsou popsány jeho jednotlivé skladebné vrstvy a funkce, které zastávají. Také je zde

krátká rešerše difuzně otevřených zateplovacích systémů dostupných na našem trhu. Dále jsou v práci popsány požadavky, které jsou na zateplovací systémy kladeny a závěr teoretické části je věnován lepicím a stěrkovacím hmotám a jejich složení.

Praktická část je rozdělena na dvě části. V první části je věnována pozornost polymercementovým stěrkám, výrobě zkušebních těles, popisu zkoušek, dosaženým výsledkům a jejich hodnocení. Jsou zde měřeny a porovnávány vlastnosti stěrkovací hmoty lišící se ve třech různých množstvích redispergovatelného polymerního prášku. Zcela inovativním prvkem je provzdušnění struktury stěrek, proto je zde také zkoumán vliv napěnění stěrkovací hmoty pomocí provzdušňovací přísady. Ve výsledku se tedy neporovnávají jen tři různé druhy směsí, ale rovněž rozdíly mezi stěrkou klasickou a provzdušněnou.

Druhý díl praktické části diplomové práce se zabývá výpočty roční bilance vypařitelné a zkondenzované vodní páry v konstrukci, údaji o maximálním množství zkondenzované vlhkosti v konstrukci, šířce a umístění kondenzační zóny. Tyto výpočty byly provedeny na čtyřech typech obvodových konstrukcí s vláknitými či difuzně propustnými izolanty, které byly postupně výpočtově opatřeny třemi druhy povrchových úprav. Ve výsledku je tedy porovnáváno 12 různých konstrukčních skladeb. Tyto výpočty byly provedeny s cílem prokázat, zda má význam se zabývat difuzně otevřenými povrchovými úpravami a případně na jakých typech obvodových konstrukcí je jejich použití přípustné.

CÍL PRÁCE

Cíle diplomové práce jsou uvedeny v následujícím výčtu:

- Sestavit přehled difuzně otevřených systémů ETICS dostupných v ČR,
- Porovnat a vyhodnotit vliv množství redispergovatelného polymerního prášku na výsledné vlhkostně transportní vlastnosti stěrkovacích hmot,
- Porovnat a vyhodnotit vliv provzdušnění stěrkovacích hmot na jejich výsledné vlhkostně transportní vlastnosti,
- Zhodnotit vliv velikosti difuzního odporu stěrkovací hmoty a druhu povrchové úpravy vzhledem k riziku vnitřního hromadění vlhkosti v konstrukci.

TEORETICKÁ ČÁST

1 ZATEPLOVACÍ SYSTÉM OBVODOVÝCH STĚN

Zateplovací systém obvodových stěn je stavební úprava, která je navržena a provedena tak, aby primárně omezila tepelné ztráty budovy zlepšením tepelně izolačních vlastností stěn, což má za následek snížení energetické náročnosti budovy a s tím spojené náklady na vytápění. Správně provedený zateplovací systém stěn dále zamezuje vzniku tepelných mostů, brání vzniku plísní na vnitřních površích stěn a chrání objekt před nepříznivými vlivy počasí, čímž v konečném důsledku dochází k prodloužení životnosti budovy.

1.1 Druhy zateplovacích systémů

Pro zateplování fasád se obecně používají dva typy zateplení. Prvním a mnohem častěji používaným zateplovacím systémem je tzv. vnější kontaktní zateplovací systém, také známý pod zkratkou ETICS (External Thermal Insulation Composite System). Tento systém je typický tím, že se izolační materiály lepí přímo na povrch obvodových zdí objektu, který má být zateplen, a jednotlivé skladebné vrstvy jsou v bezprostředním kontaktu. Druhým typem zateplovacího systému je tzv. nekontaktní zateplovací systém. Tento druh zateplování budov není tak hojně užívaný jako první, kontaktní zateplovací systém spočívá v tom, že se mezi izolační vrstvou z difuzně otevřeného materiálu, jako je například minerální vlna, která je připevněna k obvodové konstrukci a povrchovými krycími vrstvami obvodové stěny vytvoří vzduchová mezera, kterou se odvětráváním odvádí vlhkost. Tento bezkontaktní systém se užívá především u obvodových konstrukcí, které mají malý difuzní odpor, a použitím kontaktního zateplovacího systému by mohlo docházet ke srážení vlhkosti ve vrstvě tepelného izolantu.

Občas se ve stavební praxi užívá také interiérového zateplení, kdy je izolační materiál upevněn k vnitřní straně obvodové konstrukce. Tento typ zateplení se používá jen výjimečně, neboť velmi často u něj dochází k problematické kondenzaci vlhkosti, což následně způsobuje vegetaci plísní.

Výhody kontaktního zateplovacího systému spočívají především v jeho nižší pořizovací cenně, také redukce tepelných mostů, které jsou u nekontaktního systému způsobeny kotvícími prvky, a také zmenšují výslednou tloušťku stěny. Naopak

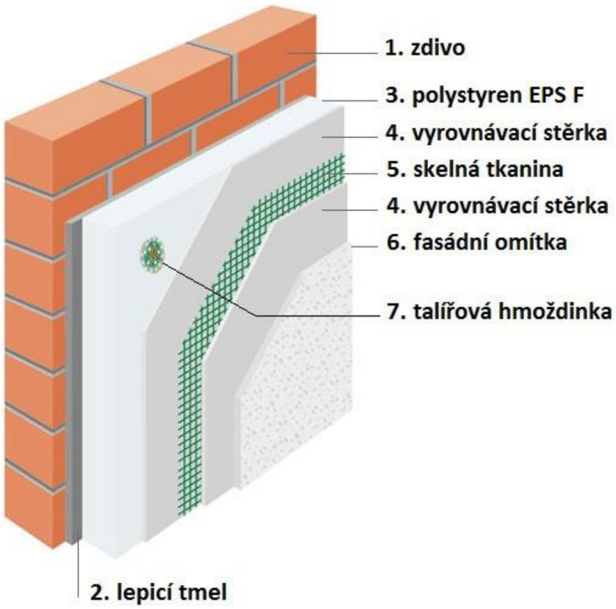
nevýhodou kontaktního oproti nekontaktnímu systému spočívá v jeho horší difuzní propustnosti. Právě tomuto problému se diplomová práce věnuje.

1.2 Složení ETICS

Vnější kontaktní zateplovací systém sestává z několika předem průmyslově vyráběných výrobků, které jsou většinou prodávány výrobci nebo distributory jako jeden celek. Jednotlivé systémy jsou výrobci navrženy tak, aby všechny komponenty spolupůsobily a vytvářely fungující celek, proto je možné, že záměnou některé komponenty za produkt od jiného výrobce nemusí výsledný systém splňovat požadavky, které jsou na něj kladeny.

ETICS je ve většině případů složen z komponent, které jsou uvedeny následujícím výčtem:

- Lepicí hmota,
- Mechanické kotvící prvky,
- Tepelně izolační materiál,
- Základní vrstva s výztuží ze skelné síťoviny,
- Penetrační nátěr,
- Konečná povrchová úprava.



Obrázek 1 *Schéma uspořádání materiálových vrstev ETICS* [4]

1.2.1 Lepicí hmota

Lepicí hmota slouží k upevnění tepelně izolačního materiálu ke stavební konstrukci. Způsob lepení závisí na typu lepidla, respektive zda se jedná o lepidlo na bázi cementu anebo o lepidlo polyuretanové. Pro lepení tepelné izolace v systému ETICS se nejčastěji používá lepicí hmota na bázi polymercementové stěrky. Základem této stěrky je cement, jemnozrnné plnivo a polymerní přísada, jejíž hlavní úkolem je zlepšit přídržnost stěrky k podkladu. V ČR nejčastěji tvoří lepicí hmota a stěrka v základní povrchové vrstvě zateplovacího systému tentýž výrobek. Pro upevnění tepelné izolace většinou nestačí pouze přilepení lepicí hmotou, obvykle se používá kombinace lepení a mechanického kotvení.

1.2.2 Mechanické kotvící prvky

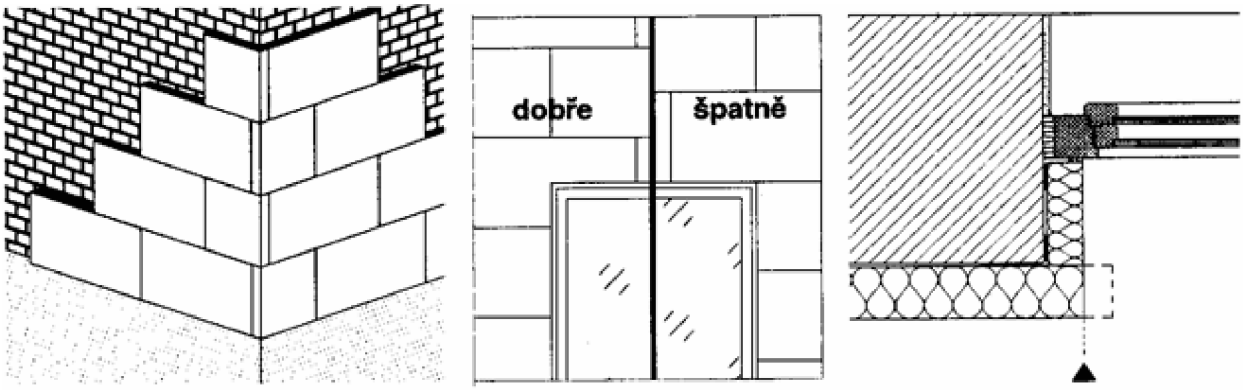
Pro mechanické ukotvení izolantu se nejčastěji používají tzv. talířové hmoždinky, jejichž druh a počet je stanoven v projektové dokumentaci ETICS.

1.2.3 Tepelně izolační materiál

Tato vrstva je u systému ETICS stěžejní a jejímu výběru by se měla věnovat největší pozornost. Nejdůležitější je vybrat ideální materiál pro daný typ konstrukce a pro požadavky, které jsou na ni kladeny. Hlavními požadavky na tepelně izolační materiál jsou jeho tepelně izolační vlastnosti a jeho nasákavost. Nevhodný výběr tepelného izolantu může mít za následek to, že zateplovací systém nebude fungovat tak, jak se od něj očekává.

V dnešní době se nejčastěji, jako tepelný izolant obvodových stěn, používá desek z expandovaného polystyrenu nebo minerálních vláken, ale na stavebním trhu jsou také nabízeny izolanty z organických materiálů, jako jsou například z konopí, slámy nebo ovčí vlny.

Pro stabilitu zateplovacího systému a předcházení budoucím problémům je také nutná správná vazba tepelně izolačních desek tak, aby nedošlo ke vzniku svislé spáry. Zvláštní pozornost se poté věnuje uložení izolačních desek v okolí stavebních otvorů, jako jsou okna nebo dveře.

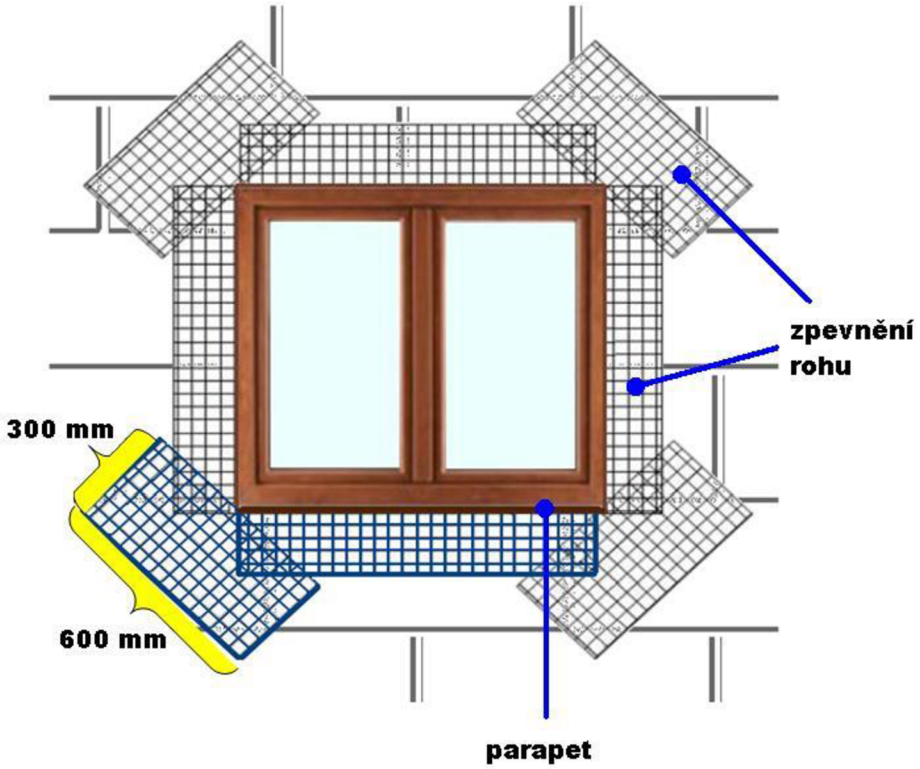


Obrázek 2 Znázornění vazby izolačních desek v oblasti rohů budovy, oken a u okenního rámu *[12]*

1.2.4 Základní vrstva s výztuží ze skelné síťoviny

Tato vrstva je tvořena stěrkovací hmotou a výztuhou ze skelné síťoviny. Šířka základní vrstvy se pohybuje mezi 3 až 6 mm. Tato vrstva se aplikuje tak, že se nejdříve nanese vrstva stěrky rovným hladítkem na izolant a do ní se následně plošně vtlačí skleněná síťovina se vzájemným přesahem minimálně 100 mm. Hmota, která prostoupí oky síťoviny, se zahladí do požadované rovinnosti, ovšem vrstva stěrkovací hmoty, která kryje skelnou síťovinu, musí mít tloušťku minimálně 1 mm, v místě vzájemného přerytí sítí pak minimálně 0,5 mm. Proto se někdy přidává druhá vrstva stěrkovací hmoty, která se aplikuje do čerstvé, nezatuhlé první vrstvy. Zvláštní pozornost se musí věnovat překrytí síťoviny u oken a dveří, jak je ukázáno na obrázku 3.

Hlavním úkolem základní vrstvy je ochrana izolantu před mechanickým poškozením. Tato vrstva také ztužuje zateplovací systém, zajišťuje jeho stabilitu a zvyšuje jeho celkovou životnost.



Obrázek 3 Detail překrytí síťoviny u oken *[5]*

1.2.5 Konečná povrchová úprava

Konečná povrchová úprava je tvořena buď omítkou nebo obkladem, většinou keramickým, přičemž nejčastější povrchovou úpravou ETICS je omítka na bázi organických pojiv, případně polymer-cementová omítka. Jejich tloušťka bývá zpravidla 1 až 4 mm a obecně se dělí na silikátové, silikonové, silikon silikátové, akrylátové a minerální. Konečné povrchové úpravy mají za cíl ochránit ostatní vrstvy zateplovacího systému před nepříznivými vlivy okolí, jako jsou například účinky vnějšího klimatu, prachu, a zároveň by měly splňovat estetická kritéria investora. Z vizuálního hlediska se omítky dělí na hladké, škrábané, drásané a mozaikové.

2 DIFUZNĚ OTEVŘENÉ ZATEPLOVACÍ SYSTÉMY

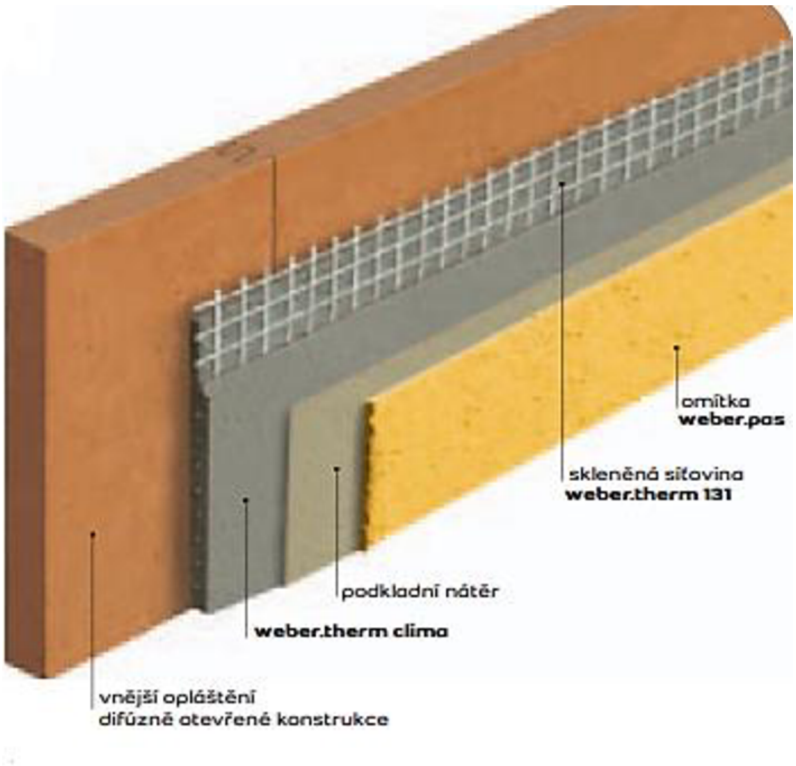
Tato kapitola se věnuje difuzně otevřeným zateplovacím systémům, které jsou běžně dostupné v České republice. Konkrétně se jedná o produkty výrobců Weber, Cemix a Baumit.

Difuzně otevřený kontaktní zateplovací systém je takový systém, kdy se difuzní odpor jednotlivých vrstev směrem z interiéru do exteriéru snižuje. V praxi a v reálné konstrukci to znamená, že žádná z vrstev zateplovacího systému by neměla vykazovat vyšší difuzní odpor než difuzní odpor samotného zdiva, respektive vnitřní povrchové vrstvy, která by měla zaujímat tento odpor největší ze všech vrstev. Z předchozí definice plyne, že vnější povrchová vrstva by měla být nejvíce difuzně propustná, ovšem musí zamezit pronikání vody z venkovního prostředí do konstrukce. [6]

2.1 Zateplovací sytém Weber – diffusheet

Prvním ze zástupců zateplovacích systémů dostupných v České republice je difuzně otevřený zateplovací systém Weber – diffusheet.

Tento systém je určen na dřevostavby tvořené z dřevěných hranolů a prodyšné vláknité izolace, přičemž z vnitřní strany této konstrukce je připevněna tzv. parobrzda a vnitřní předstěna na laťovém roštu. Samotný zateplovací systém je potom tvořen dřevovláknitými deskami Pavatex s hodnotou faktoru difuzního odporu μ = 5. Na tyto desky je aplikována základní vrstva o tloušťce 5 – 6 mm s maximální hodnotou faktoru difuzního odporu μ = 14 a je složená ze stěrkovací hmoty weber.therm clima a vyztužená skelnou síťovinou weber.therm 117 nebo weber.therm 131. Na finální úpravu se podle výrobce použije hmota weber.pas silikát, weber.pas silikon, weber.pas topDry, weber.pas extraClean, s podkladním nátěrem weber.pas podklad UNI. [7]



Obrázek 4 Znázornění skladby difuzně otevřeného systému Weber *[7]*

Tabulka 1 *Přehled faktorů difuzního odporu μ jednotlivých vrstev sytému Weber – diffusheet* [7]

vrstva	komerční název	μ [–]
Izolant – dřevovláknitá deska	Pavatex	5
Lepicí a stěrkovací hmota	Weber.therm clima LSZ 750	14
Penetrace	Weber.pas podklad UNI	*)
Vnější omítka	Weber.pas extraClean	20 – 30

Poznámka k označení *): Technický list hodnotu μ ani s_d neuvádí.

2.2 Zateplovací systém Cemixtherm DIFU MW

Dalším příkladem difuzně otevřeného zateplovacího systému je systém firmy Cemix, konkrétně se jedná o produkt Cemixtherm DIFU MW.

Jak název napovídá, jedná se o zateplovací systém, u něhož je jako tepelný izolant použita minerální vata. Na tuto vatu je natažena stěrkovací hmota DIFUZNÍ 185 s výztužnou skelnou síťovinou o tloušťce 3 – 5 mm. Tato stěrkovací hmota má deklarovaný faktor difuzního odporu o hodnotě $\mu \leq 8$. Jako finální úprava je použita omítka ACTIVCEM s hodnotou faktoru difuzního odporu $\mu \leq 65$. [8]

Obrázek 5 Znázornění uspořádání skladby difuzně otevřeného systému Cemix *[8]*

Tabulka 2 *Přehled faktorů difuzních odporů jednotlivých vrstev sytému Cemixtherm DIFU MW [8]*

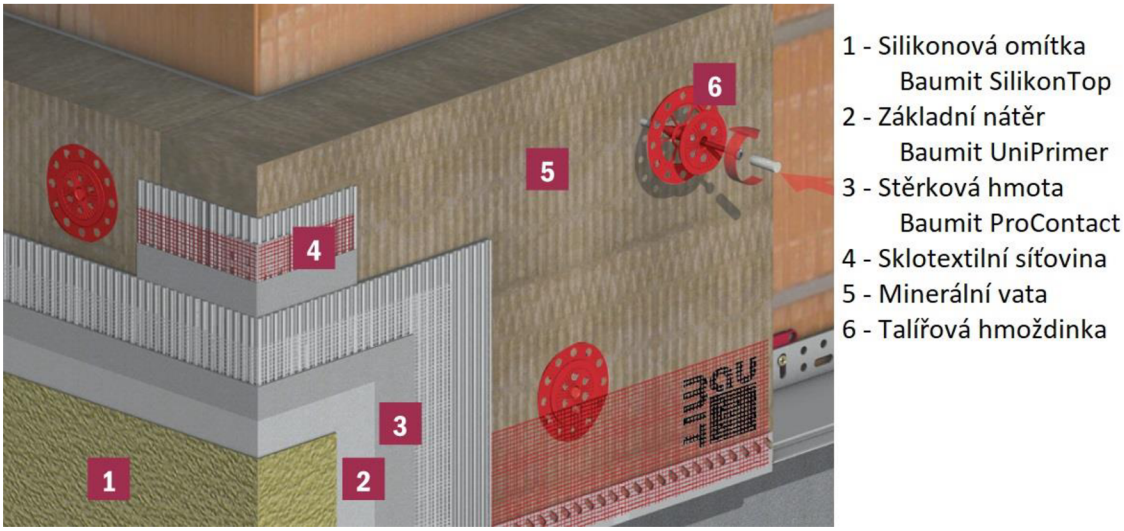
vrstva	komerční název	μ [–]
Izolant – deska z minerální vaty	Isover TRAM MW	1 – 3
Lepicí a stěrkovací hmota	Cemix DIFUZNÍ	≤ 8
Penetrace	Cemix ASN color	*)
Vnější omítka	Cemix ACTIVEM	≤ 65

Poznámka k označení *): Technický list hodnotu μ ani s_d neuvádí.

2.3 Zateplovací systém Baumit Pro Mineral

Dalším difuzně otevřeným zateplovacím systémem na našem území je systém od firmy Baumit s názvem Baumit Pro Mineral.

Tento zateplovací systém je určen pro zateplení zděných konstrukcí za použití minerální vaty. Na vatu se aplikuje základní vrstva sestávající ze stěrkovací hmoty Baumit ProContact, sklotextilní síťoviny o minimální tloušťce 2 mm a s hodnotou faktoru difuzního odporu cca 18. Následuje základní nátěr Baumit UniPrimer s hodnotou $\mu = 150$ a silikonová omítka Baumit SilikonTop s hodnotou $\mu = 40 - 60$. [9]



Obrázek 6 Znázornění skladby difuzně otevřeného systému Baumit Pro Mineral *[9]*

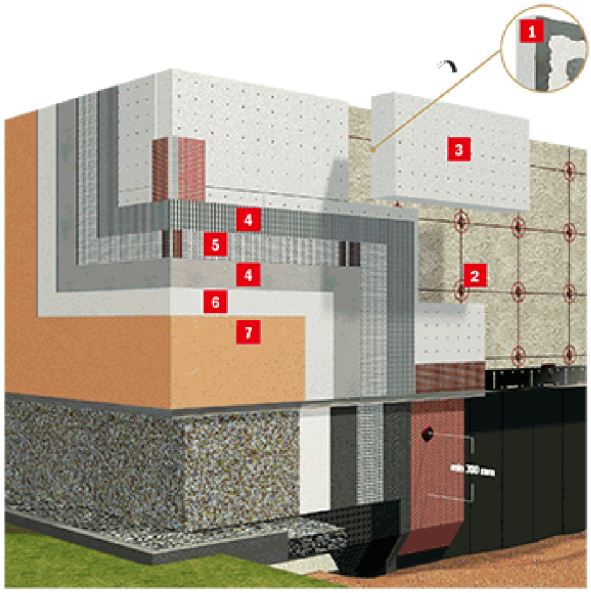
Tabulka 3 *Přehled faktorů difuzních odporů jednotlivých vrstev sytému Baumit Pro Mineral* [9]

vrstva	komerční název	μ [–]
Izolant – deska z minerální vaty	Baumit minerální fasádní deska	1 – 3
Lepicí a stěrkovací hmota	Baumit ProContact	18
Penetrace	Baumit UniPrimer	150
Vnější omítka	Baumit SilikonTop	40 – 60

2.4 Zateplovací systém Baumit open

Posledním zástupcem difuzně otevřeného kontaktního zateplovacího systému, vyskytujícím se na našem území, je opět systém od firmy Baumit, ovšem v tomto případě se jedná o skladbu vrstev, kdy je prodyšná minerální vlna nahrazena děrovaným polystyrenem, konkrétně se jedná o výrobek Baumit openTherm. Tyto desky jsou opatřeny pravidelnou sítí otvorů, které jsou dle výrobce navrženy a provedeny tak, aby umožňovaly rychlý odvod vlhkosti z konstrukce, ale zároveň v nich nedocházelo k proudění vzduchu a nesnižovaly tepelně izolační vlastnosti.

Kompletní zateplovací systém je určen především na zděné konstrukce a skládá se z vrstev již zmíněného děrovaného polystyrenu, základní vrstvy obsahující stěrkovací hmotu Baumit openContact a sklotextilní síťoviny o minimální tloušťce 2 mm s hodnotou faktoru difuzního odporu μ = 18, základní nátěr Baumit PremiumPrimer s hodnotou μ = 150 a finální tenkovrstvou omítku Baumit openTop s hodnotou faktoru difuzního odporu μ = 20 – 30. [10]



1 - Lepící hmota Baumit openContact
2 - Kotevní prvky
3 - Izolační desky Baumit openTherm
4 - Základní vrstva Baumit openContact
5 - Sklotextilní síťovina Baumit openTex
6 - Základní nátěr Baumit PremiumPrimer
7 - Povrchová úprava Baumit openTop

Obrázek 7 Znázornění skladby difuzně otevřeného systému Baumit open *[10]*

Tabulka 4 *Přehled faktorů difuzního odporu μ jednotlivých vrstev sytému Baumit open* [10]

vrstva	komerční název	μ [–]
Izolant – děrovaný polystyren	Baumit openTherm	5
Lepicí a stěrkovací hmota	Baumit openContact	18
Penetrace	Baumit PremiumPrimer	150
Vnější omítka	Baumit openTop	20 – 30

3 VLHKOST V ZATEPLOVACÍM SYSTÉMU A OBVODOVÝCH STĚNÁCH

Vlhkost se ve stavebních konstrukcích nachází téměř vždy. Určitá malá míra vlhkosti je přijatelná, ovšem nesmí překročit povolené množství. Nárůst vlhkosti v konstrukci způsobuje řadu nežádoucích důsledků, jako jsou například pokles tepelného odporu konstrukce, vegetace hub a plísní na povrchu konstrukce, degradace povrchových vrstev, možné objemové změny materiálů, a zejména celkové snížení životnosti konstrukcí.

Výčet příčin původu vlhkosti ve stavebních konstrukcích:

- Technologická – dostává se do konstrukce při realizaci stavby,
- Zemní – dostává se do konstrukce při jejím styku se zeminou,
- Srážková – původcem této vlhkosti jsou deště, sníh a námraza,
- Sorpční – konstrukce ji získává z ovzduší v důsledku hygroskopických vlastností,
- Zkondenzovaná – dostává se do konstrukce kondenzací vodní páry obsažené ve vzduchu,
- Provozní – vyskytuje se v prostorech, kde probíhají mokré procesy. [1]

K šíření vlhkosti ve stavbách dochází několika způsoby, a to v závislosti na jejím skupenství. Konkrétně se jedná o šíření kapalné vlhkosti sítí otevřených kapilár a šíření vzdušné vlhkosti pomocí difuze vodní páry. [1] [2]

3.1 Kapilární vodivost

Kapilární vodivost představuje způsob šíření kapalné vlhkosti stavebními konstrukcemi. K přesunu kapalné vody dochází vlivem rozdílného vlhkostního obsahu v různých místech konstrukce skrze kapiláry vyskytující se v materiálu. Na základě tohoto principu může docházet k pronikání kapalné vody pouze v pórovém systému, jehož kapiláry mají velikost asi 10^{-7} až 10^{-3} m. Pokud je průměr kapilár menší, voda se jimi nemůže pohybovat. Pokud je průměr kapilár větší, pak převládá gravitační tíha sloupce kapaliny nad kapilárním tlakem.

Pro určení schopnosti materiálu vést kapalnou vodu se pomocí zkoušek zjišťuje nasákavost, vzlínavost a rovnovážná vlhkost materiálu při dotyku vzorku s vodní hladinou. [1] [2]

3.2 Sorpce

Sorpcí se rozumí jev, kdy materiál přijímá vlhkost pohlcováním vodní páry ze vzduchu. Sorpční schopnost se projevuje adsorpcí, absorpcí a chemisorpcí [1] [2].

Adsorpcí se nazývá jev, kdy dochází pomocí van der Waalsových sil ke vzájemnému přitahování molekul pevných látek a vodní páry, čímž dochází k vytvoření molekulární vrstvy vodní páry na stěnách pórů.

Pokud dochází ke vstřebávání kapalné nebo plynné vlhkosti pomocí difuze, jedná se o absorpci.

Chemisorpcí je míněno uplatnění chemických vazeb vody a tuhé fáze materiálu.

3.3 Difuze vodní páry

K difuzi vodní páry stavební konstrukcí dochází, pokud tato konstrukce odděluje dva prostory o různých koncentracích vodní páry, a to ve směru z prostoru s vyšším tlakem do prostoru s nižším částečným tlakem vodní páry.

Vodní pára může difundovat každou látkou, která má mezimolekulární prostory větší než 2,78 nm. Pro určení schopnosti látky vést vodní páru se používá faktoru difuzního odporu μ. Faktor difuzního odporu látky μ je bezrozměrná veličina a informuje, kolikrát hůře daná látka šíří vodní páru než stejná vrstva vzduchu. Jinak řečeno, kolikrát silnější by musela být vrstva vzduchu, aby propouštěla stejné množství páry jako daná látka. [3]

4 ZKOUŠENÍ ZATEPLOVACÍCH SYSTÉMŮ

Zateplovací systémy jako celek i jeho jednotlivé části musí, stejně tak jako dílčí stavební výrobky, splňovat určité požadavky, které jsou na ně kladeny. Zda jsou tyto požadavky splněny, se zjišťuje pomocí předepsaných zkušebních postupů a hodnocení. Celkovým souhrnem požadavků, které jsou na zateplovací systémy a jejich materiály kladeny, a výčtem norem, ve kterých je uvedený související zkušební postup pro potvrzení, že materiál daný požadavek splňuje, předepisuje evropský předpis ETAG 004 nebo EAD 040089-00-0404.

Přehled požadavků, podle kterých jsou zateplovací systémy a jejich materiály hodnoceny:

- Mechanická odolnost a stabilita,
- Požární bezpečnost,
- Hygiena, zdraví a životní prostředí,
- Bezpečnost při užívání,
- Ochrana proti hluku,
- Úspory energie a ochrana tepla,
- Hlediska trvanlivosti a použitelnosti.

4.1 Mechanická odolnost a stabilita

Tyto požadavky u nenosných částí stavby nejsou zahrnuty, ale jsou řešeny v základním požadavku na bezpečnost při užívání.

4.2 Požární bezpečnost

Podle tohoto požadavku musí být stavby navrženy a postaveny tak, aby v případě požáru splňovaly požadavky v následujícím výčtu:

- Aby byl omezen vznik a rozšiřování ohně a kouře uvnitř stavby,
- Aby bylo omezeno rozšiřování ohně na sousední konstrukce,
- Aby mohli obyvatelé opustit stavbu nebo aby z ní mohli být vyproštěni,
- Aby byla brána v úvahu bezpečnost záchranného týmu.

Vlastností, kterou se ověřuje splnění tohoto požadavku, je zkouška reakce na oheň a klasifikuje se podle normy ČSN EN 13051-1+A1 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace výsledků zkoušek reakce na oheň.

4.3 Hygiena, zdraví a životní prostředí

Podle tohoto požadavku nesmí konstrukcí pronikat zemní vlhkost, déšť ani sníh. Dále nesmí docházet ke škodlivé kondenzaci, k porušení systému vlivem náhodného nebo úmyslně způsobeného běžného nárazu, uvolňování znečišťujících látek do nejbližšího okolí nebo uvolňování nebezpečných látek. Proto se v rámci těchto požadavků posuzují vlastnosti dle následujícího výčtu:

- Nasákavost,
- Vodotěsnost,
- Odolnost proti mechanickému poškození,
- Nepropustnost vodních par,
- Tepelné charakteristiky,
- Přítomnost nebezpečných látek ve výrobku.

4.4 Bezpečnost při užívání

Požadavek bezpečnosti při užívání zahrnuje odolnost ETICS při kombinaci zatížení vlastní tíhou, teplotou, vlhkostí, smršťováním, pohybem nosné konstrukce a větrem. Pro ověření se provádějí zkoušky na:

- Soudržnost,
- Pevnost připevnění (příčný posuv),
- Odolnost proti zatížení větrem u mechanicky připevněného ETICS.

4.5 Ochrana proti hluku

Tento požadavek je stanoven pro celou stěnu včetně oken jako konstrukční požadavek, proto nejsou požadavky na ochranu proti hluku pro ETICS stanoveny.

4.6 Úspory energie a ochrana tepla

Primárním účelem použití ETICS je zvýšit tepelnou izolaci obálky budovy, což má za následek snížení spotřeby energie nutné na vytápění či chlazení objektu. Tato úspora energií je spojena také s nižšími finančními náklady na spotřebované energie. Aby mohlo dojít ke stanovení přínosnosti ETICS pro stěnu musí být kvantifikovány charakteristiky z následujícího výčtu:

- Tepelná vodivost a tepelný odpor,
- Propustnost pro vodní páry,
- Nasákavost.

4.7 Hlediska trvanlivosti a použitelnosti

Trvanlivost systému i jednotlivých materiálů je základním předpokladem pro jejich použití. Trvanlivostí ETICS jako celku se myslí to, že nedojde k žádnému destruktivnímu nebo nevratnému přetvoření při nízkých (-20 °C) ani vysokých (+50 °C) teplotách vzduchu, při vystavení povrchu systému slunečnímu záření nebo při prudké změně povrchové teploty. K těmto prudkým změnám povrchových teplot může dojít zejména v letních měsících, kdy povrchové teploty ETICS, který je opatřen tmavou barevnou úpravou a je vystaven přímému slunečnímu záření, mohou dosahovat 70 – 80 °C. Přívalový déšť potom může takto rozpálenou konstrukci skokově ochladit i na 15 °C.

Trvanlivostí jednotlivých součástí ETICS je myšleno, že všechny součásti by měly ideálně být chemicky stabilní, ale pokud dojde k reakcím dotýkajících materiálů, tak by tyto reakce měly probíhat pomalu. Stejně tak všechny materiály musí být odolné proti korozi nebo být proti korozi patřičně ošetřeny. A v neposlední řadě by všechny materiály měly být vzájemně slučitelné. [11]

5 LEPICÍ A STĚRKOVACÍ HMOTY

Jedním z hlavních cílů této diplomové práce je posoudit vliv různého složení stěrkovacích hmot, určené pro zateplovací systémy, na jejich výsledné vlastnosti. Tato kapitola je věnována právě těmto hmotám, zejména recepturám stěrek.

Stěrkovací hmoty obsahují tři hlavní složky, plnivo, pojivo a přísady. [21] [22] [23]. V tabulce 5 je uvedeno zastoupení jednotlivých složek ve směsích výrobců Wacker, Ashland, Dow a Shin-Etsu.

Tabulka 5 *Přehled receptur stěrkovacích hmot firem Wacker, Ashland, Dow a Shin-Etsu* [18] [19] [22] [23]

Složka	Wacker	Ashland	Dow	Shin-Etsu
Portlandský cement (CEM I 42,5 nebo CEM I 52,5)	25 – 30	25	20 – 35	20 – 30
Vápencová moučka	5 – 10	X	10 – 15	5 – 10
Křemičitý písek (0,1 – 0,5 mm nebo 0,1 – 1,0 mm)	60 – 70	70 – 73	65 – 75	60 – 70
Methylcelulóza	0,15 – 0,2	0,15 – 0,3	0,15 – 0,25	0,15 – 0,25
RPP	1 – 2	2 – 5	3 – 6	2 – 4
Strukturální hydrofobizant	0,2	0,2 – 0,5	Ano/hydrofob. RPP	0,15 – 0,25
Vápenný hydrát	2 – 3	2 – 4	3 – 5	X
Další vedlejší aditiva (vlákna, akcelerátory, záhustky)	x	0,1	x	0,5 – 1,2
Všechny hodnoty jsou uvedeny v hmotnostních procentech				

Jak už bylo zmíněno výše, lepicí a stěrkovací hmotou je v ČR většinou míněn jeden a tentýž produkt, používá se jak k přilepení izolačního materiálu k podkladu, tak i jako základní vrstva s výztužnou skelnou síťovinou nacházející se na vnější straně tepelného izolantu. Samotné lepicí hmoty, používané na přilepení izolantu k podkladu, lze rozdělit podle jejich složení na polymer-cementová, polyuretanová a disperzní. Stěrkovací hmoty se pak rozdělují na levné a velmi často používané polymer-cementové a na drahé, výjimečně používané disperzní. Ve většině aplikací se používají lepidla na bázi cementu.

Tyto hmoty jsou také zkoumány v praktické části této práce, tak se následující text bude věnovat pouze jim.

5.1 Plnivo

Jako plnivo se používá praný křemenný písek v kombinaci s mletým vápencem nebo samotný mletý a drcený vápenec. Plnivo má největší zastoupení ve stěrkovacích hmotách, jeho podíl se pohybuje v rozmezí 60 – 70 %. Použité zrno je limitováno maximálním rozměrem 1 mm, ale častěji se používá plnivo s velikostí zrna do 0,7 mm. [21] [22] [23]

5.2 Pojivo

Pojivem v lepicích a stěrkovacích hmotách bývá rychlovazný portlandský cement třídy CEM I 42,5 nebo CEM I 52,5. Jeho objemový podíl ve směsi činí 25 – 30 %. [21] [22] [23]

5.3 Přísady

Přísady, které lepicí a stěrkovací hmoty určené pro ETICS obsahují, se rozdělují na redispergovatelný polymerní prášek (dále jen RPP), ethery celulózy a hydrofobizéry. [21] [22] [23]

5.3.1 Redispergovatelný polymerní prášek (RPP)

Zastoupení RPP v celkovém složení stěrkovacích a lepicích směsí se pohybuje v rozmezí 1 – 6 % z hmotnosti suché směsi. Z hlediska chemického složení jsou tyto prášky nejčastěji vystavěny na kopolymeru vinylacetát/ethylen, případně terpolymerech či kopolymerech na bázi vinylacetát/vinylversatát. Hlavním úkolem tohoto polymerního pojiva je zlepšit adhezivní vlastnosti cementové malty. Kromě tohoto hlavního požadavku, RPP také do určité míry zvyšuje flexibilitu struktury a tím napomáhá k vyšší mechanické odolnosti základní vrstvy.

RPP je nejdražší složkou stěrkovacích směsí, proto se někteří výrobci suchých maltových směsí nedrží optimálních doporučovaných hodnot obsahu prášku ve směsi

2 – 4 %, ale dávkují ve svých recepturách pouze 0,3 – 1,0 % RPP ze suché směsi. Tímto krokem sice výrazně sníží výslednou cenu produktu oproti konkurenci, ovšem také dochází ke zhoršení adhezivních účinků stěrkovacích hmot obzvláště k izolantům a zejména pak ke vzniku trhlin v základní vrstvě při opakujícím se namáhání fasády teplotními a vlhkostními změnami. [21] [22] [23]

5.3.2 Ethery celulózy

Zastoupení esterů celulózy ve směsi se obvykle pohybuje v rozmezí 0,15 – 0,3 %. Důvodem přidávání do lepidel a stěrek je to, že zlepšují zpracovatelnost směsi, ale především dokáží zadržet vodu, což je velmi potřebné zejména v letních měsících, kdy vlivem vysokých teplot a malé mocnosti vrstvy stěrek by bez přítomnosti této přísady a její schopnosti retence záměsové vody docházelo k rychlému vysoušení stěrky, jejímu popraskání a nedošlo by k dostatečné hydrataci cementu a získání adhezivních účinků. Případné snížení dávky celulózy ve směsi by mohlo mít nežádoucí účinky, proto se její množství ve směsi napříč výrobci příliš neliší. [21] [22] [23]

5.3.3 Hydrofobizéry

Zastoupení hydrofobizérů ve směsi se pohybuje v rozmezí 0,2 – 0,5 % a jejich úkolem je snížit nasákavost materiálu. [21] [22] [23]

PRAKTICKÁ ČÁST

Následující část diplomové práce je rozdělena na dvě kapitoly. První kapitola se věnuje lepicím a stěrkovacím hmotám, a výsledkům souvisejících zkoušek. Druhá kapitola se věnuje výpočtům roční bilance vlhkosti na vybraných typech obvodových konstrukcích při použití různých povrchových úprav.

6 PRAKTICKÁ MĚŘENÍ

6.1 Popis zkoušených stěrkovacích hmot

Jak již bylo popsáno v teoretické části, stěrkovací hmoty použité v zateplovacím systému mají velký vliv na funkčnost celého systému, proto se jim věnuje velká část této diplomové práce. Jejich funkcí není jen ochrana tepelného izolantu a vnitřních částí stavby, nýbrž měly by také umožnit šíření vodní páry z budovy do okolí bez rizika nežádoucí vnitřní kondenzace. Tato funkce stěrkovacích hmot, respektive povrchových úprav obecně, je velmi žádoucí obzvláště u konstrukcí, u kterých by zvýšená kondenzace vodních par mohla způsobit značné problémy. Těmito konstrukcemi jsou myšleny zejména stále populárnější dřevostavby či budovy, u nichž je použit tepelný izolant na organické bázi. Z tohoto důvodu by měla být povrchová úprava taková, aby dostatečně ochránila stavební konstrukci před vlivy vnějšího prostředí a zároveň byla, pokud možno co nejvíce, difuzně otevřená pro odchod vodních par z interiéru budovy i vnitřní vlhkosti z obvodových stěn.

Stěrkovací hmoty jsou složeny z různých složek, a tak jako u všech stavebních výrobků, tak i u těchto stěrek, je primárním kritériem pro volbu té či oné stěrky finanční stránka, tak se spousta výrobců snaží její cenu stlačit na minimum. Tohoto cíle lze lehce dosáhnout tím, že se omezí množství nejdražší komponenty, která se v lepicích a stěrkovacích hmotách nachází. V tomto případě se jedná o redispergovatelný polymerní prášek. Jeho doporučené množství ve směsi je 2 – 4 %, ovšem vlivem konkurenčního boje se na trhu objevují stěrkovací hmoty s obsahem tohoto prášku pod 1 %. Snížením dávky RPP dochází ke zhoršení adhezivních účinků stěrky a také ke zhoršení mechanické odolnosti výsledného produktu. Z tohoto důvodu bylo snahou zjistit, jaký vliv nedodržení a snížení doporučených hodnot obsahu RPP ve stěrkách má na jejich konečné vlastnosti. Proto byly navrženy směsi stěrkovacích hmot s různým obsahem RPP a vzorky z nich

byly podrobeny požadovaným zkouškám. Konkrétně se jedná o směs s doporučenou hodnotou 3 % RPP, dále běžně se vyskytujícím 1,5 % RPP a minimálním množstvím 0,75 % RPP.

Druhou požadovanou vlastností stěrkovacích hmot byla její difuzní otevřenost. Ke zlepšení této vlastnosti bylo použito provzdušňovací přísady, jež umožnila napěnění stěrky. Jedná se o zcela inovativní způsob vylepšení stěrkovacích hmot ve vztahu ke startovacím recepturám od firem Wacker, Ashland, Dow a Shin-Etsu. Tímto zásahem do struktury výsledného výrobku se očekávalo, že nastane snížení faktoru difuzního odporu a zároveň nedojde k výraznému zhoršení mechanických a adhezivních vlastností. Pro porovnání byly tedy sestaveny další dva druhy stěrek, a to označené jako KLA (pro stěrky klasické bez provzdušňovací přísady) a stěrky provzdušněné označené jako PRO (s provzdušňovací přísadou).

Variací stěrek s různým množstvím redispergovatelného polymerního prášku a provzdušněním/neprovzdušněním bylo celkem navrhnuto a získáno šest druhů hmot, jejichž vlastnosti byly vzájemně porovnány. Označení, typ a složení porovnávaných směsí je uvedeno v následující tabulce:

Tabulka 6 *Přehled posuzovaných hmot, jejich označení, typ a použité množství RPP*

Označení hmoty	Provzdušnění	Množství RPP [%]
KLA 0,75	NE	0,75
KLA 1,5	NE	1,5
KLA 3,0	NE	3,0
PRO 0,75	ANO	0,75
PRO 1,5	ANO	1,5
PRO 3,0	ANO	3,0

V tabulce 7 jsou uvedeny receptury zkoušených hmot dle návrhu firmy Proffibaustoffe a vycházejí z doporučených receptur výrobců Wacker, Dow, Ashland a Shin-Etsu uvedených v tabulce 5.

Tabulka 7 *Přehled receptur zkoušených směsí*

Surovina	Specifikace suroviny	Stěrky KLA	Stěrky PRO
Portlandský cement	Třída CEM I 52,5 N	30	32
Mletá vápencová moučka	-	7	X
Křemičitý písek	Těžený a praný, frakce 0,1 – 0,5 mm	60 – 62	63 – 65
Ether celulózy	Methylhydroxyethylcelulóza, viskozita 21000 mPa·s	0,3	0,3
Redispergovatelný polymerní prášek	Terpolymer na bázi vinylacetát/VeoVa/akrylát	0,75; 1,5 a 3,0	0,75; 1,5 a 3,0
Vápenný hydrát	-	X	1
Vedlejší aditiva	Vlákna, akcelerátory, minerální záhustky	X	0,5
Provzdušňující přísada	Laurylethersulfát sodný	X	0,04
Všechny hodnoty jsou uvedeny v hmotnostních procentech ze suché směsi			

6.2 Výroba zkušebních těles

6.2.1 Příprava malty

Příprava malty se liší podle typu stěrky. Pokud se jedná o stěrku klasickou, potom byl dodržen následující postup:

- Do míchací nádoby s práškem se přidalo přesně odměřené množství vody,
- Míchání 0,5 minuty pomocí ručního elektrického míchadla na nízké otáčky,
- Setření malty gumovou stěrkou ze stěn nádoby a její prohrábnutí,
- Míchání 1 minutu ručním elektrickým míchadlem na nízké otáčky,
- Odležení směsi po dobu 5 minut,
- Promíchání hmoty ručním elektrickým míchadlem po dobu 15 vteřin,
- Aplikace hmoty.

Pokud byla směs definována jako provzdušněná, pak byl použit postup následující:

- Do míchací nádoby s práškem se přidalo přesně odměřené množství vody,
- Míchání 0,5 minuty pomocí ručního elektrického míchadla na nízké otáčky,
- Setření malty gumovou stěrkou ze stěn nádoby a její prohrábnutí,
- Míchání 1 minutu ručním elektrickým míchadlem na vyšší otáčky,
- Odležení směsi po dobu 5 minut,
- Aplikace hmoty.

6.2.2 Příprava zkušebních trámků

Zkušební trámky o předepsaných rozměrech se vytvořily pomocí kovových forem, do nichž se zkoumaná hmota plnila ve dvou vrstvách. Každá vrstva se hutnila střídavým pádem stran formy z výšky přibližně 5 mm na stůl o četnosti 25 úderů na každou vrstvu. Povrch zkušebních vzorků byl urovnán kovovým hladítkem a přikryt skleněnou deskou, aby nedocházelo k rychlému vysychání povrchové vrstvy. Po 48 hodinách byly všechny vzorky odformovány a uloženy na 26 dní do místnosti s teplotou 23 ± 2 °C a relativní vlhkostí 50 ± 5 %.

6.2.3 Příprava základní zkušební vrstvy na izolantu

Pomocí ocelového hladítka se na desku izolantu nanesla vrstva stěrky o tloušťce 2 – 3 mm. Na tuto vrstvu se položila a lehce zatlačila skelná síťovina, která se následně zahladila ocelovým hladítkem. Nakonec se přidala cca 1 mm silná vrstva stěrky a její povrch se opět urovnal ocelovým hladítkem. Vytvořené zkušební vzorky se umístily na 28 dní do místnosti s teplotou 23 ± 2 °C a relativní vlhkostí 50 ± 5 %.

6.2.4 Příprava vzorků pro zkoušky soudržnosti

Namíchaná stěrková hmota se pomocí ocelového hladítka aplikovala v tloušťce 3 – 6 mm na povrchy betonové dlaždice nebo izolační desky. Povrch byl zarovnán a vytvořené vzorky byly uloženy na 28 dní do místnosti s teplotou 23 ± 2 °C a relativní vlhkostí 50 ± 5 %.

6.3 Popis provedených zkoušek

U posuzovaných hmot byly provedeny zkoušky v následujícím přehledu:

- Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty,
- Stanovení množství vzduchu v čerstvé maltě,
- Stanovení konzistence čerstvé malty,
- Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlé malty,
- Stanovení pevnosti v tahu za ohybu,
- Stanovení pevnosti v tlaku,
- Stanovení soudržnosti mezi lepicí hmotou a podkladem,
- Stanovení soudržnosti mezi lepicí hmotou a izolačním výrobkem,

- Stanovení kapilární nasákavosti – zjednodušená,
- Stanovení kapilární nasákavosti dle ETAG 004,
- Stanovení propustnosti vodních par.

6.3.1 Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty

Stanovení objemové hmotnosti čerstvé stěrky je jednou ze základních zkoušek. Zjištěná hodnota může naznačit, zda došlo k provzdušnění u těch směsí, u kterých to bylo požadováno. Postup zkoušky stanovení objemové hmotnosti byl proveden v souladu s normou ČSN EN 1015-6 Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty [13].

Namíchanou čerstvou maltou se naplnila ve dvou vrstvách nádoba o objemu 1 litr tak, že každá vrstva byla zhutněna zvednutím a spadnutím nádoby na pevnou podložku z výšky asi 5 mm. Povrch byl zarovnán s horním okrajem nádoby a nádoba i s hmotou byla zvážena. Ze zjištěných údajů pak byla vypočítána objemová hmotnost směsi podle následujícího vzorce:

$$\rho_{\check{c}} = \frac{m_2 - m_1}{V_v} \; [kg \cdot m^{-3}] \qquad (1)$$

kde: $\rho_{\check{c}}$ – objemová hmotnost malty [kg·m^{-3}],
m_2 – hmotnost měřicí nádoby se vzorkem [kg],
m_1 – hmotnost prázdné měřicí nádoby [kg],
V_v – objem měřicí nádoby [m^3].

Výsledek byl zaokrouhlen s přesností na 10 kg·m^{-3}.

6.3.2 Stanovení množství vzduchu v čerstvé maltě

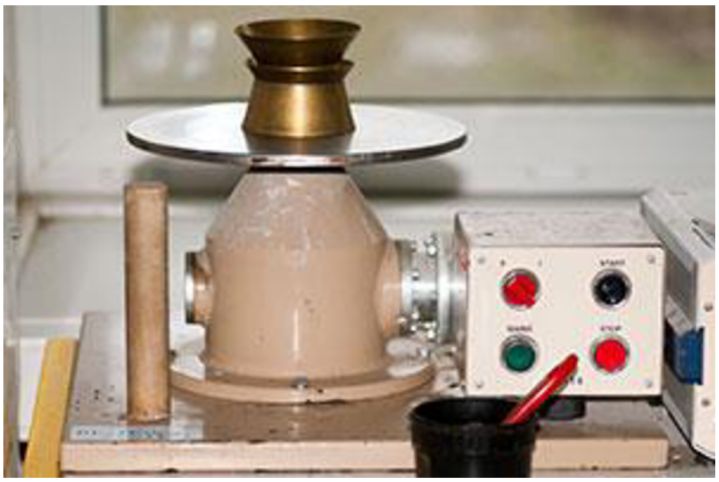
Tato zkouška byla prováděna, aby se ověřilo, zda skutečně došlo k provzdušnění u hmot, u kterých to bylo požadováno a také v jaké míře k němu došlo. Postup zkoušky byl v souladu s normou ČSN EN 1015-7 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě. K této zkoušce byl použit tlakoměrný přístroj.

Obrázek 8 Fotografie přístroje pro stanovení obsahu vzduchu v maltě *[14]*

Nádoba o objemu 1 litr se zcela zaplnila hmotou ve dvou vrstvách, přičemž každá vrstva byla zhutněna několika lehkými údery nádobou o stůl. Povrch byl zarovnán s horní hranou nádoby a vnější část nádoby byla očištěna. Pomocí svorek bylo na nádobu s hmotou připevněno víko. Uzavřel se vyrovnávací ventil mezi vzduchovou komorou a nádobou. Prostor mezi víkem a maltou se naplnil vodou. Do vzduchové komory se natlačil vzduch do dosažení stejného tlaku, jaký byl použit při kalibraci. Uzavřely se vstupní a výstupní ventily pro vodu a otevřel se vyrovnávací ventil. Po dosažení rovnovážného stavu se na ukazateli odečetla hodnota obsahu vzduchu. [15]

6.3.3 Stanovení konzistence čerstvé malty

Stanovením konzistence čerstvé směsi bylo ověřeno, zda zkoušená hmota vyhovuje požadavkům zpracovatelnosti. V mém případě jsem použil metodu se střásacím stolkem v souladu s ČSN EN 1015-3.



Obrázek 9 Fotografie střásacího stolku s kovovým kuželem *[14]*

Kovový prstenec se umístil na střed střásací desky a ve dvou vrstvách se naplnil maltou, přičemž každá vrstva byla zhutněna 10 lehkými údery dusadla. Povrch se zarovnal s horním okrajem kovového prstence. Prstenec se asi po 15 vteřinách od naplnění hmotou zvedl kolmo vzhůru. Spustil se přístroj na střásání a po 15 rázech jsem změřil rozměry rozlití koláče malty ve dvou na sebe kolmých směrech s přesností na 1 mm. [16]

6.3.4 Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlé malty

Stanovením objemové hmotnosti ztvrdlé malty lze ověřit, zda skutečně došlo k provzdušnění hmot, u kterých to bylo požadováno. Tato zkouška byla prováděna na standardních zkušebních trámcích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Jednotlivé vzorky byly v hlavních rozměrech změřeny a následně zváženy. Výsledná objemová hmotnost byla následně vypočítána podle vzorce:

$$\rho_z = \frac{m_s}{l \cdot h \cdot v} \; [kg \cdot m^{-3}] \qquad (2)$$

kde: ρ_z – objemová hmotnost ztvrdlé malty [kg·m^{-3}],

m_s – hmotnost suchého vzorku [kg],

l, h, v – délka, šířka a výška vzorku [m].

Výsledek byl zaokrouhlen na 10 kg·m^{-3}.

Obrázek 10 Fotografie zkoušených trámců

6.3.5 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

Provedením zkoušky pevnosti v tahu za ohybu bylo zjišťováno, jaké mechanické vlastnosti výrobky mají a zda jsou dostatečně mechanicky odolné. Postup zkoušky byl v souladu s normou ČSN EN 1015-11.

Zkušební trámeček se umístil do zkušebního stroje kolmo na směr plnění a poté se zatěžoval trojbodovým ohybem s nárůstem zatěžovací síly 0,03 $kN \cdot s^{-1}$ až do zlomení. Tímto byla zjištěna síla nutná k přelomení trámečku a z ní se následně vypočítala pevnost v tahu za ohybu podle vzorce:

$$R_f = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2} \; [MPa] \qquad (3)$$

kde: R_f – pevnost v tahu za ohybu [MPa],

F – lomové zatížení [N],

b, h – rozměry bočních stran trámečku [mm],

l – vzdálenost podpor [mm].

Výsledek byl zaokrouhlen na 0,1 MPa.

6.3.6 Stanovení pevnosti v tlaku

Zkouškou pevnosti v tlaku se stejně jako u pevnosti v tahu za ohybu zjišťují mechanické vlastnosti materiálu a ověřuje se, zda je dostatečně mechanicky odolný. I v tomto případě byly zkoušky v souladu s normou ČSN EN 1015-11.

Zkušební vzorek se umístil do zkušebního stroje kolmo ke směru plnění a poté se začal zatěžovat tlakem s nárůstem zatěžovací síly rychlostí 400 $N \cdot s^{-1}$ až do jeho porušení. Tímto byla zjištěna potřebná síla F k porušení vzorku, odtud se vypočítá pevnost v tlaku podle vzorce:

$$R_c = \frac{F}{1600}\ [MPa] \qquad (4)$$

kde: R_c – pevnost v tlaku [MPa],

F – síla potřebná k porušení vzorku [N],

1600 – referenční zatěžovací plocha [mm^2].

Výsledek byl zaokrouhlen s přesností na 0,1 MPa. [17]

6.3.7 Stanovení soudržnosti mezi lepicí hmotou a podkladem

Zkouškou stanovení soudržnosti mezi lepicí hmotou a podkladem jsem zjistil, zda má zkoušená hmota dostatečnou adhezivní schopnost k podkladu. Tato zkouška byla prováděna na betonové dlaždici tvořící podklad. Postup zkoušení byl v souladu s normou ETAG 004.

Na zkušební vzorky byly nalepeny a obřezány trhací terče. Druhý den se provedla polovina odtrhů na všech vzorcích v suchých podmínkách a zbytek vzorků byl uložen do vodního prostředí. Po dvou dnech se vzorky vytáhly z vody a po dvou hodinách od jejich vyjmutí z vody byly provedeny zbývající odtrhy. Výsledky byly zprůměrovány a zaokrouhleny s přesností na 0,01 MPa. [11]

Obrázek 11 Fotografie vzorků ze zkoušky stanovení soudržnosti mezi lepicí hmotou a podkladem

6.3.8 Stanovení soudržnosti mezi stěrkovací hmotou a izolačním výrobkem

Stanovením soudržnosti mezi stěrkovací hmotou a izolačním výrobkem se prokázalo, zda navržené stěrkovací hmoty mají dostatečnou soudržnost s izolantem a nenastane porušením celistvosti systému. Ačkoliv jsou zkoušené hmoty navrhovány ve většině případů k použití na minerální vaty nebo organické materiály, tak tyto zkoušky byly provedeny při nanesení hmoty na desky z fasádního pěnového polystyrenu EPS 70. Tato úprava byla učiněna z důvodu vybavení zkušební laboratoře a po konzultaci s pracovníky firmy Profibaustoffe i z TZÚS bylo potvrzeno, že materiál, který splní požadavky soudržnosti s izolačním materiálem z EPS, také splní požadavky soudržnosti i s izolačním materiálem z minerální vaty. EPS je ve srovnání s minerální vatou málo nasákavý a hladký a má obvyklou pevnost v tahu 0,08 – 0,15 MPa, zatímco minerální vata bývá nasákavá, její povrch je členitý a disponuje pevností v tahu 0,02 – 0,06 MPa. Postup zkoušení byl dodržen v souladu s normou ETAG 004.

Na zkušební vzorky byly nalepeny a obřezány trhací terče. Druhý den se provedla polovina odtrhů na všech vzorcích v suchých podmínkách a zbytek vzorků byl uložen do vodního prostředí. Po dvou dnech se vzorky vytáhly z vody a po dvou hodinách od jejich

vyjmutí z vody byly provedeny zbývající odtrhy. Výsledky byly zprůměrovány a zaokrouhleny s přesností na 0,01 MPa. [11]

Obrázek 12 Fotografie zkušebních vzorků ze zkoušky stanovení soudržnosti mezi lepicí hmotou a izolačním výrobkem

6.3.9 Stanovení kapilární nasákavosti – zjednodušená

Zkouškou kapilární nasákavosti byla zjištěna schopnost materiálu pojmout a vést kapalnou vodu. Tato zkouška byla prováděna na zlomcích zkušebních trámečků po zkoušce stanovení pevnosti v tahu za ohybu. Tyto zlomky byly ze čtyř stran opatřeny minimálně dvěma vrstvami hydroizolačního nátěru. Poté byly vzorky zváženy a postaveny nenatřenou lomovou stranou na rošt umístěný v nádobě, do které bylo nalito tolik vody, aby spodní strana rámečku byla ponořena asi 1 cm pod povrchem hladiny. Vzorky se postupně vyndaly z vody, otřely navlhčeným hadrem a zvážily po 30 minutách, 240 minutách a po 24 hodinách. Z těchto údajů se následně vypočetlo, jaké množství vody byly vzorky schopny nasáknout. Výsledky se mezi sebou porovnaly a zhodnotil se vliv provzdušnění a množství RPP ve směsi vzhledem na kapilární nasákavost materiálu.

Obrázek 13 Fotografie zkušebních vzorků při zkoušce stanovení kapilární nasákavosti

6.3.10 Stanovení kapilární nasákavosti dle ETAG 004

Touto zkouškou se zjišťovalo množství vody, které je materiál aplikovaný na izolační desce schopen pojmout při jeho ponoření do vody. Postup zkoušení byl v souladu s normami ETAG 004.

Izolační deska z EPS s nanesenou základní vrstvou byla opatřena z boku hydroizolačním nátěrem. Takto vytvořený zkušební vzorek byl podroben 3 cyklům kondiciování, které zahrnovaly 1 den ponoření spodní strany vzorku pod hladinu vody a 1 den sušení při teplotě 50 °C. Po těchto cyklech kondiciování se přistoupilo k samotnému zkoušení, které spočívalo ve zvážení suchého vzorku, ponoření spodní strany vzorku pod vodní hladinu a následným vážením vzorku po 1 hodině a po 24 hodinách. Z naměřených hodnot byla vypočítána nasákavost při částečném ponoření po 1 a po 24 hodinách podle vzorce:

$$W_p = \frac{m_t - m_0}{A_p} \; [kg \cdot m^{-2}] \quad (5)$$

kde: W_p – nasákavost při částečném ponoření [kg·m^{-2}],

m_t – hmotnost vzorku po určitém časovém období t [kg],

m_0 – počáteční hmotnost vzorku [kg],

A_p – zkušební plocha vzorku [m^2].

Vypočítané hodnoty byly zaokrouhleny s přesností na 0,01 kg·m^{-2}. [11]

6.3.11 Stanovení propustnosti vzorků pro vodní páru

Zkouškou stanovení propustnosti vodních par byl zjišťován vliv provzdušnění a množství RPP ve směsi na jeho výsledné difuzní vlastnosti. Postup zkoušky byl proveden v souladu s normami ETAG 004 a ČSN EN ISO 7783.

Základní vrstva tepelně izolačního systému byla zbavena tepelně izolačního materiálu a byla vyřezána do požadovaného kruhového tvaru. Získanými zkušebními vzorky byly přikryty kovové misky, které byly naplněny nasyceným roztokem dihydrogenfosforečnanu amonného. Tento roztok vytvořil požadované klima uvnitř misky o relativní vlhkosti 93 %. Spára mezi okrajem kovové misky a zkoušeným vzorkem stěrkovací hmoty byla neprodyšně uzavřena. Miska s roztokem a zkoušeným materiálem byla vložena do klimatizační komory, ve které byla nastavena teplota na 21 °C a relativní vlhkost na 53 %. Misky se vzorky byly ve stanovených časových intervalech váženy, aby se zjistil jejich hmotnostní úbytek. Z naměřených hodnot se následně vypočítal součinitel difuze vodní páry pro zkoumané vzorky, který vyjadřuje množství vodní páry, které prošlo v důsledku rozdílu parciálních tlaků vodní páry skrz vzorek o známé tloušťce a ploše za určitý čas. Faktor difuzního odporu μ jednotlivých materiálů se následně vypočítal jako poměr součinitele difuze vodní páry pro vzduch o teplotě 21 °C a součinitele difuze vodní páry pro zkoušený vzorek. Výsledné hodnoty byly porovnány a zhodnotil se vliv provzdušnění a množství RPP ve směsi na difuzní vlastnosti materiálu. [11] [20]

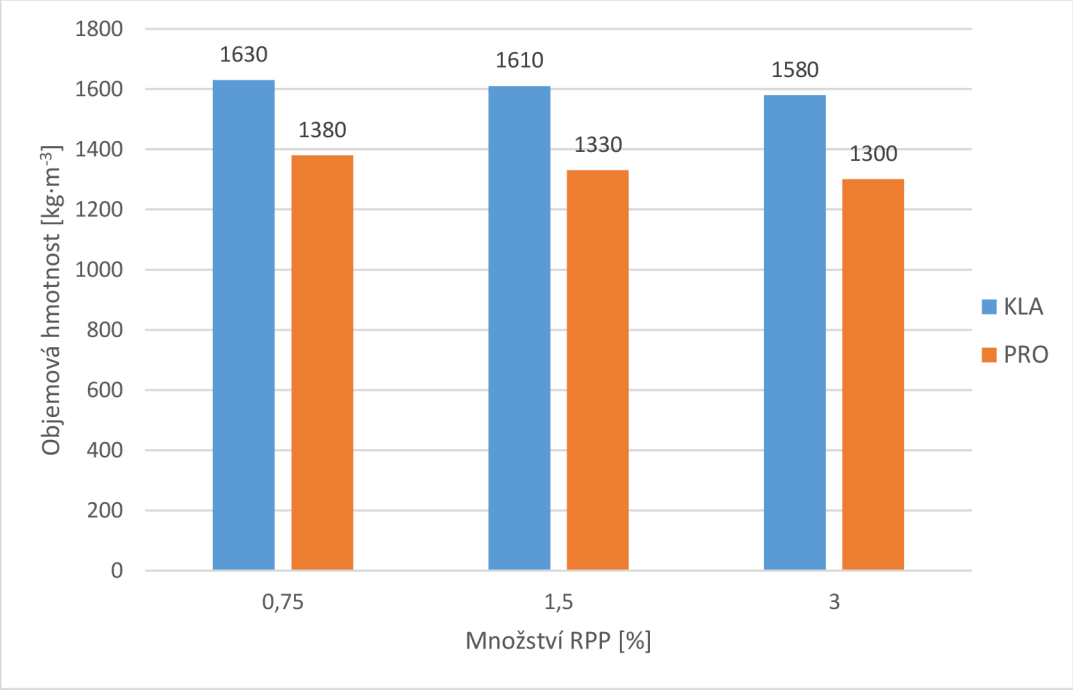
Obrázek 14 *Fotografie vzorků ze zkoušky stanovení propustnosti vodních par*

6.4 Výsledky měření a související grafická vyobrazení

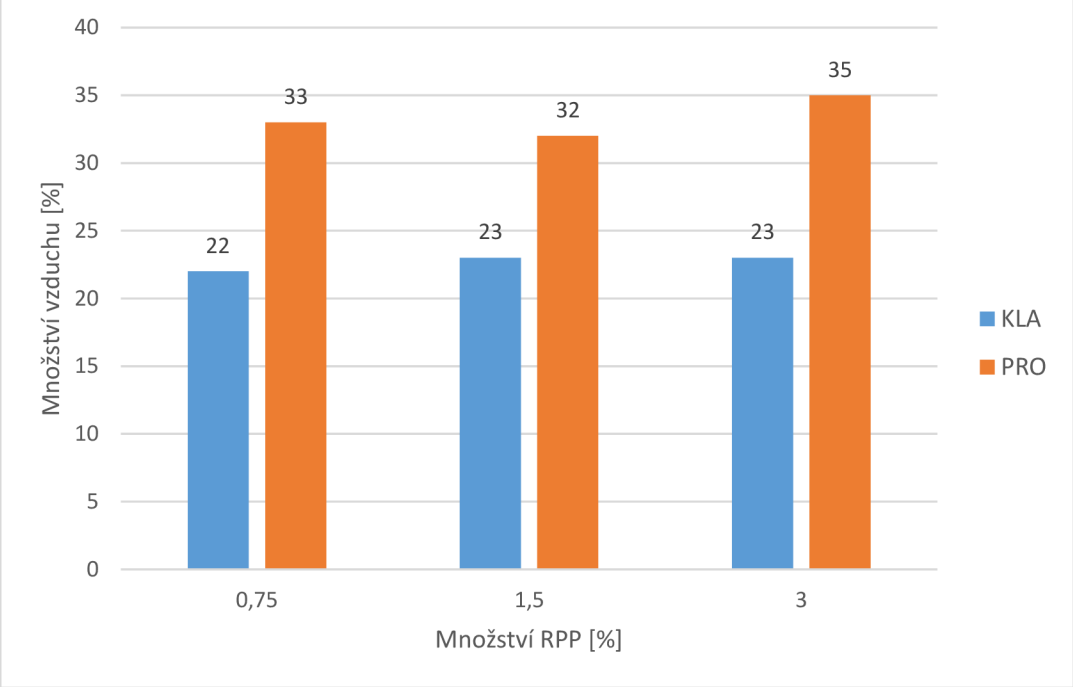
Výsledky měření jsou sestaveny v následujících tabulkách 8 až 12, grafická vyobrazení v grafech 1 až 7.

Tabulka 8 *Přehled naměřených hodnot u čerstvých hmot*

Označení hmoty	$\rho_č$ [kg·m^{-3}]	Množství vzduchu [%]	Konzistence (rozlití) [mm]	Množství záměsové vody [ml·kg^{-1}]
KLA 0,75	1630	22	160	220
KLA 1,5	1610	23	169	220
KLA 3,0	1580	23	165	220
PRO 0,75	1380	33	161	240
PRO 1,5	1330	32	161	250
PRO 3,0	1300	35	158	240



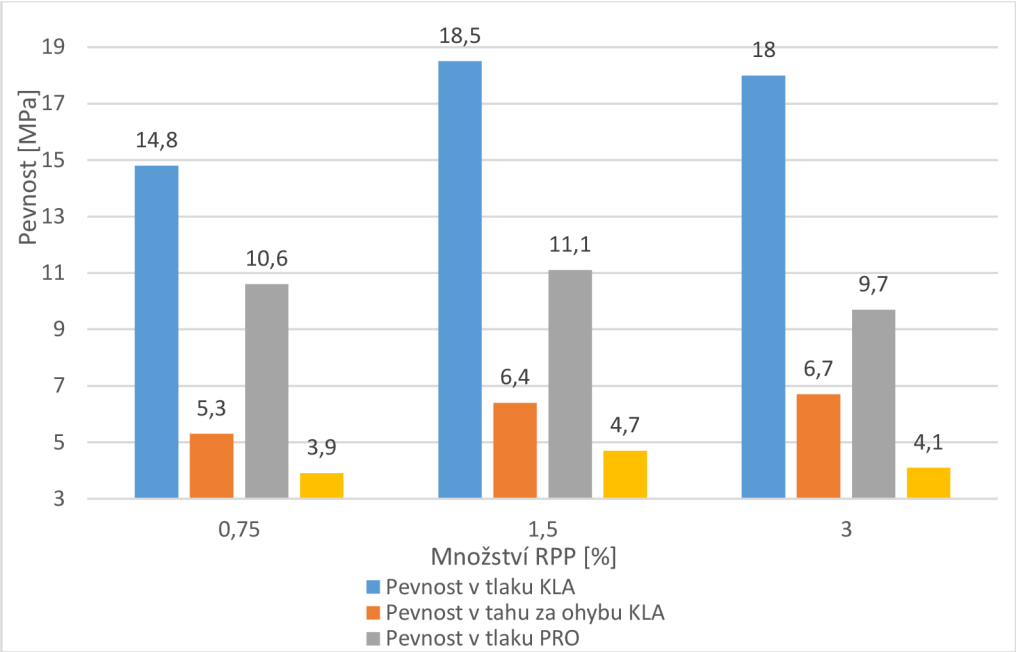
Graf 1 *Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na objemovou hmotnost čerstvé hmoty*



Graf 2 *Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na množství vzduchu v čerstvých hmotách*

Tabulka 9 *Přehled výsledků zkoušek objemové hmotnosti ρ_z, pevnosti v tahu za ohybu R_f a pevnosti v tlaku R_c zatvrdlých hmot*

Označení hmoty	ρ_z [kg·m^{-3}]	R_f [MPa]	R_c [MPa]
KLA 0,75	1450	5,3	14,8
KLA 1,5	1500	6,4	18,5
KLA 3,0	1490	6,7	18,0
PRO 0,75	1320	3,9	10,6
PRO 1,5	1360	4,7	11,1
PRO 3,0	1240	4,1	9,7

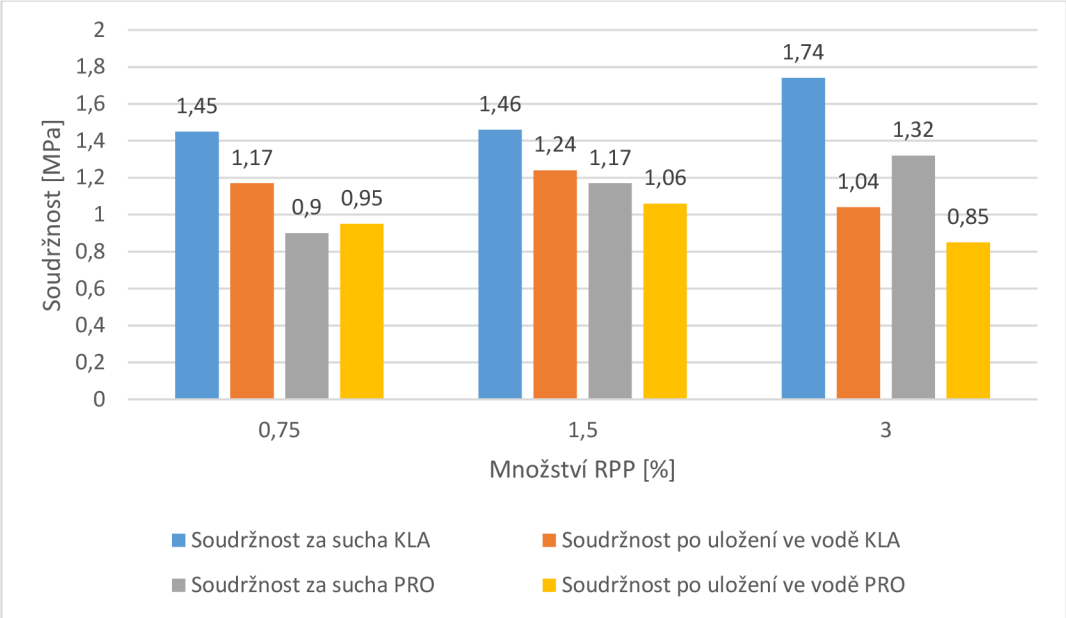


Graf 3 *Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku*

Tabulka 10 *Přehled výsledků zkoušek soudržnosti materiálu s podkladem*

Označení hmoty	Podkladem beton		Podkladem bílý EPS 70	
	Soudržnost za sucha [MPa]	Soudržnost po uložení ve vodě [MPa]	Soudržnost za sucha [MPa]	Soudržnost po uložení ve vodě [MPa]
KLA 0,75	1,45	1,17	0,10	0,10
KLA 1,5	1,46	1,24	0,10	0,11
KLA 3,0	1,74	1,04	0,10	0,09
PRO 0,75	0,90	0,95	0,11	0,09
PRO 1,5	1,17	1,06	0,12	0,11
PRO 3,0	1,32	0,85	0,13	0,10

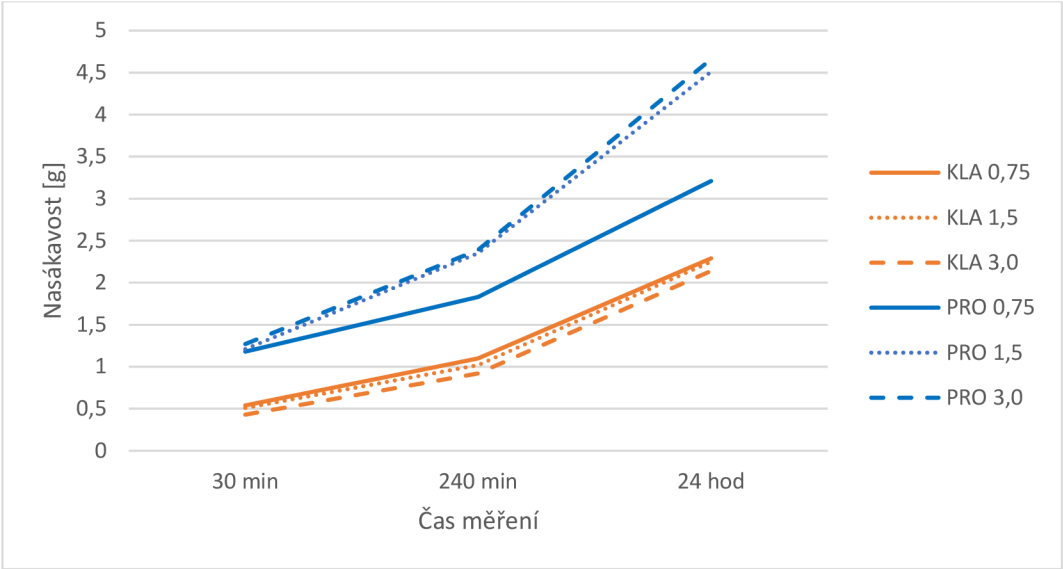
Způsob porušení:
U soudržnosti s EPS 70 za sucha byl ve všech případech vytržen polystyren na 100 % zkušební plochy.
V případě soudržnosti s EPS 70 po uložení ve vodě byl vzorek porušen u:
KLA 0,75 z 90 % v EPS z 10 % na styku EPS se stěrkou,
KLA 1,5; KLA 3,0 a PRO 0,75 ze 70 % v EPS ze 30 % na styku EPS se stěrkou,
PRO 1,5 ze 60 % v EPS ze 40 % na styku EPS se stěrkou,
PRO 3,0 z 50 % v EPS z 50 % na styku EPS se stěrkou.
U soudržnosti s betonem za sucha byla ve všech případech lomová plocha ve 100 % ve zkoušené lepicí hmotě.
V případě soudržnosti s betonem po uložení ve vodě byl vzorek porušen u:
KLA 0,75, KLA 1,5, PRO 0,75 a PRO 1,5 ze 100 % v lepicí hmotě,
KLA 3,0 a PRO 3,0 z 90 % v lepicí hmotě z 10 % na styku lepicí hmoty a lepidla trhacího terče.



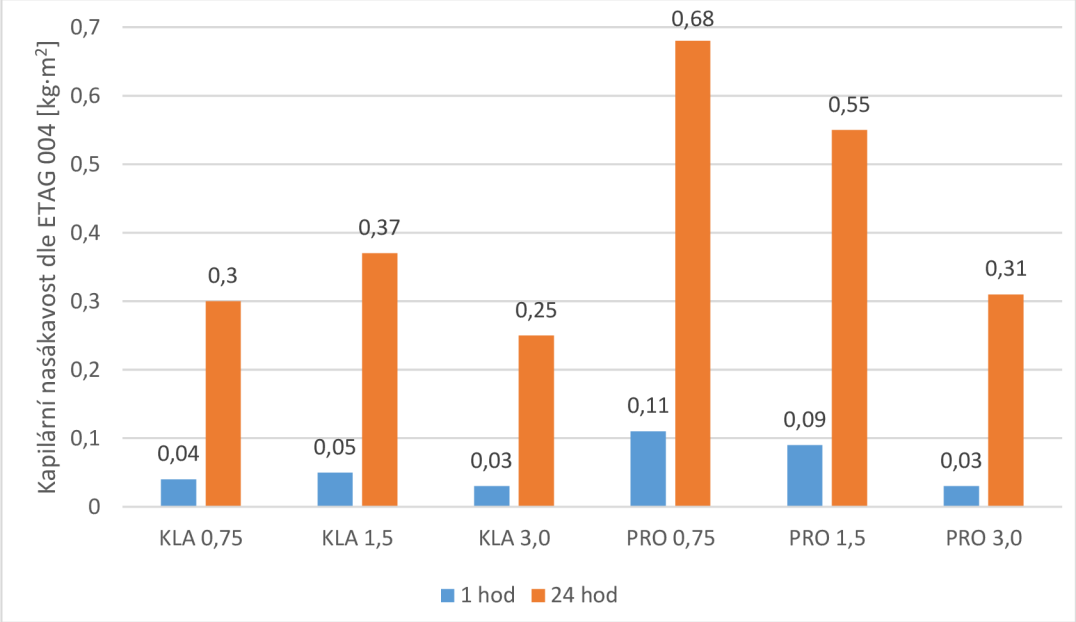
Graf 4 *Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na soudržnost s betonovým podkladem*

Tabulka 11 *Přehled výsledků ze zkoušek nasákavostí*

Druh zkoušky	**Měření v čase**	**Označení hmoty**					
		KLA 0,75	KLA 1,5	KLA 3,0	PRO 0,75	PRO 1,5	PRO 3,0
Kapilární nasákavost – zjednodušená [g]	**30 min**	0,54	0,51	0,43	1,18	1,21	1,27
	240 min	1,10	1,02	0,92	1,83	2,35	2,39
	24 hod	2,29	2,25	2,14	3,21	4,51	4,66
Kapilární nasákavost dle ETAG 004 [kg·m^{-2}]	**1 hod**	0,04	0,05	0,03	0,11	0,09	0,03
	24 hod	0,30	0,37	0,25	0,68	0,55	0,31



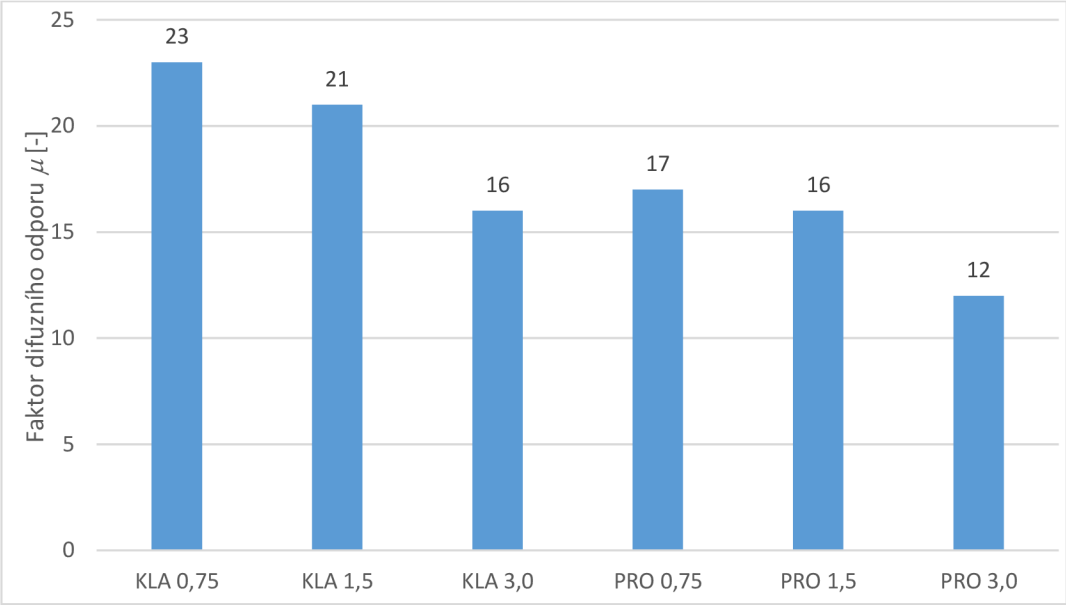
Graf 5 *Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na kapilární nasákavost – zjednodušenou zkouškou*



Graf 6 *Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na kapilární nasákavost dle ETAG 004*

Tabulka 12 *Přehled výsledků zkoušky stanovení propustnosti pro vodní páru*

Faktor difuzního odporu	Označení hmoty					
	KLA 0,75	**KLA 1,5**	**KLA 3,0**	**PRO 0,75**	**PRO 1,5**	**PRO 3,0**
μ **[–]**	23	21	16	17	16	12



Graf 7 *Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na hodnotu faktoru difuzního odporu*

6.5 Zhodnocení výsledků

Z výsledků měření je zřejmé, že přítomnost redispergovatelného polymerního prášku ve směsi způsobuje provzdušnění směsi, čímž dochází ke snížení objemové hmotnosti čerstvé malty, a to jak u neprovzdušněných (klasických), tak i u provzdušněných hmot. Tím je také ovlivněno množství vzduchu ve směsi, jak lze prokázat z grafů výše.

Na parametry pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu stěrkovacích hmot nestanovuje ETAG 004 žádný požadavek, proto jsou pro nás výsledky z těchto zkoušek pouze orientační. Přesto je zajímavé porovnání těchto hodnot z Tabulky 9 a z Grafu 3. Z těchto údajů lze usoudit, že provzdušněním hmoty dojde k přibližně třetinovému poklesu pevností. Extrémní pokles byl zaznamenán mezi materiálem klasickým a provzdušněným s obsahem RPP 3,0 %, kdy nastal pokles pevnosti v tlaku téměř 50%, a to z hodnoty 18 MPa na 9,7 MPa. To je způsobeno vyšší mírou provzdušnění materiálu. I přes tento

výrazný pokles lze usuzovat, že všechny zkoušené materiály měly dostatečné výsledné pevnosti vzhledem k zamýšlenému účelu použití.

Zajímavým srovnáním jsou také konečné objemové hmotnosti u ztvrdlých hmot. Jak můžeme vidět v Tabulce 9, rozdíly mezi klasickými a provzdušněnými stěrkami jsou zřejmé a tento rozdíl se zvětšuje při vyšším množstvím RPP ve směsích. Zatímco u hmot s 0,75 % RPP činí rozdíl asi 120 $kg \cdot m^{-3}$, tak při použití 3,0 % RPP se tento rozdíl pohybuje kolem 250 $kg \cdot m^{-3}$.

Nejdůležitější vlastností lepicích a stěrkovacích hmot je jejich soudržnost s podkladem, respektive s izolantem. Výsledky z těchto zkoušek jsou uvedeny v Tabulce 10 a vliv provzdušnění a množství RPP ve směsi je znázorněn v Grafu 4. Při zkouškách soudržnosti s izolačním materiálem, v konkrétním případě deska EPS, docházelo ve všech případech, kdy byl správně nalepen trhací terč, k vytržení části polystyrenové desky. Výsledky se nijak významně nelišily a lze prokázat, že soudržnost všech zkoušených hmot s izolační deskou je větší než činí pevnost v tahu samotné izolační desky EPS. Předpis ETAG 004 ovšem požaduje, aby soudržnost mezi základní vrstvou a izolačním výrobkem byla minimálně 0,08 MPa při všech zkušebních podmínkách. Tento požadavek byl ve všech zkoušených případech splněn.

V případě zkoušení soudržnosti lepicích hmot s betonovým podkladem se již výsledky lišily, ovšem je třeba dodat, že ve většině případů nastala rovina lomu ve vrstvě zkoušeného materiálu. Požadavkem ETAG 004 je, aby soudržnost mezi lepicí hmotou a podkladem nabývala za sucha minimálně 0,25 MPa a po 2 hodinách od vyjmutí vzorku z vody minimálně 0,08 MPa. Tato kritéria všechny zkoušené vzorky splnily, proto lze prokázat, že všechny hmoty vyhovují požadavkům ETAG 004 ohledně soudržnosti lepicí hmoty s podkladem.

Výsledky zkoušky nasákavostí jsou uvedeny v Tabulce 11, vliv množství RPP a provzdušnění je vyjádřen v Grafu 5 a v Grafu 6. Důvodem, proč jsem provedl obě tyto zkoušky, byla snaha zjistit, zda lze nahradit náročnou a zdlouhavou zkoušku kapilární nasákavosti dle ETAG 004 zjednodušenou zkouškou na zlomcích trámků. Ze zjištěných výsledků je patrné, že nahrazení není možné, proto jsem se výsledky z této zjednodušené zkoušky již dále nezabýval.

Na základní vrstvu je dle ETAG 004 kladen požadavek, aby její kapilární nasákavost činila po 1 hodině maximálně 1 $kg \cdot m^{-2}$. Splnění tohoto požadavku bylo prokázáno u všech zkoušených vzorků. Po splnění tohoto kritéria je na základní vrstvu kladen další požadavek, a to, aby nasákavost po 24 hodinách byla maximálně 0,5 $kg \cdot m^{-2}$. Toto

kritérium již nebylo splněno u provzdušněných stěrkovacích směsí s obsahem RPP 0,75 % a 1,5 % a tyto vzorky by dále měly být dle ETAG 004 podrobeny zkoušce mráztání, aby se prokázala jejich mrazuvzdornost.

Výsledky ze zkoušky propustnosti vodních par jsou uvedeny v Tabulce 11 a vliv provzdušnění a množství RPP je znázorněn v Grafu 6. Z tabulky i z grafu lze odečíst, že s rostoucím množstvím RPP klesá u obou druhů hmot hodnota faktoru difuzního odporu, čímž se výrazně zlepšuje šíření vodní páry těmito materiály. ETAG 004 předepisuje, že odpor omítkového souvrství proti difuzi vodních par u ETICS s izolačním výrobkem z minerální vlny by neměl nepřesahovat hodnotu 1 m. K potvrzení tohoto požadavku by bylo nutné posouzení kompletní povrchové úpravy, ovšem žádná ze zkoušených stěrek tuto hodnotu nepřekračuje. Největší difuzní odpor vykazuje klasická neprovzdušněná stěrka s obsahem RPP 0,75 % a faktorem difuzního odporu $\mu = 23$. Její odpor proti difuzi vodních par při aplikační tloušťce 6 mm činí 0,14 m.

7 VÝPOČTOVÁ ČÁST

Ve výpočtové části bylo posouzeno riziko hromadění vnitřní vlhkosti při difuzi vodní páry různými typy obvodových konstrukcí při použití vybraných povrchových úprav. Konkrétně je posouzena roční bilance zkondenzované a vypařitelné vlhkosti, nejvyšší množství zkondenzované vodní pára uvnitř konstrukce, a také šíře a umístění kondenzační zóny.

Mezní přípustné hodnoty jsou předepsány normou ČSN 730540-2 [24], které se týkají problematiky posuzované v této diplomové práci. Základním požadavkem pro funkčnost stavebních konstrukcí je, aby množství vypařitelné vodní páry v ročním období bylo vyšší než výpočtové množství zkondenzované vodní páry, neboť to by trvale zvyšovalo vlhkost konstrukce. Dále pak pro konstrukci s vnějším tepelně izolačním systémem činilo maximální roční množství zkondenzované vodní páry $M_c \leq 0{,}1\ \mathrm{kg \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}}$. Dle požadavku normy platí, že pokud se v konstrukci nachází materiály, které mohou za přítomnosti kapalné vlhkosti degradovat, pak množství zkondenzované vlhkosti musí být nulové.

Výpočty maximální zkondenzované vodní páry, celkové roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry, šíře i umístění kondenzační zóny byly provedeny v souladu s normou ČSN 730540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody. Všechny výpočty byly provedeny pro teplotní oblast 1 a stálou vnitřní teplotu vzduchu θ_{ai} = +21 °C. Výpočty byly provedeny pro širší interval vnitřních relativních vlhkostí vzduchu 40 %, 50%, 60 % a 70 %, ačkoliv závazný je pro stavby pro bydlení výsledek pro vnitřní relativní vlhkost vzduchu φ_{ai} = 50 %. Tím se prokázala citlivost stavební konstrukce na změnu relativní vlhkosti vnitřního vzduchu, také pro použití různých povrchových krycích vrstev či v místnostech se zvýšenou relativní vlhkostí vzduchu, jako jsou například koupelny aj. Výpočty roční bilance zkondenzované a vypařitelné vlhkosti se stanovují s předepsanou vlhkostní přirážkou $\Delta\varphi_{ai}$ = 5 %.

7.1 Princip výpočtu šíření vodní páry v konstrukci

Nejdříve se při výpočtu určí okrajové podmínky, které jsou předepsány normou ČSN 730540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin. Následně se pomocí známých skladebných tlouštěk d_j a faktorů difuzního odporu μ_j jednotlivých materiálových vrstev vypočítá difuzní odpor každé vrstvy Z_{pj}. Lze tak vypočítat částečný tlak vodní páry p_x při daných okrajových podmínkách v kterékoliv rovině x konstrukce. Pokud v některé rovině x není splněna tlaková podmínka $p_{sat,x} > p_x$, kde $p_{sat,x}$ je částečný tlak nasycené vodní páry v rovině x, pak v takovém místě dochází k vnitřní kondenzaci. Na základě této podmínky můžeme určit oblast kondenzace.

Roční množství zkondenzované a vypařitelné vodní páry se stanoví na základě opakovaného výpočtu dílčích množství $M_{a,j}$, které s krokem $\Delta\theta_e$ = 5 K pokrývají rozsah teplot venkovního vzduchu v ročním průběhu. Dílčí množství zkondenzované/vypařitelné vodní páry $M_{a,j}$ se vypočítá dle vzorce:

$$M_{a,j} = (g_{A,j} - g_{B,j}) \cdot t_{e,j} \tag{6}$$

kde: $g_{A,j}$ hustota difuzního toku vodní páry, která proudí konstrukcí od vnitřního povrchu k hranici A oblasti kondenzace [kg·(m^2·s)$^{-1}$],

$g_{B,j}$ hustota difuzního toku vodní páry, která proudí konstrukcí od hranice B oblasti kondenzace k vnějšímu povrchu [kg·(m^2·s)$^{-1}$],

$t_{e,j}$ celková doba trvání teploty venkovního vzduchu $\theta_{e,j}$ pro j-tou vrstvu podle ČSN 730540-3 podle teplotní oblasti v zimním období.

Roční množství zkondenzované vodní páry je pak součtem nezáporných hodnot dílčích možností $M_{a,j}$ a roční množství vypařitelné vodní páry je pak součtem záporných hodnot dílčích možností $M_{a,j}$. Maximální množství zkondenzované vlhkosti uvnitř konstrukce se pak zjišťuje součtem výsledků vnitřní kondenzace pro jednotlivé teplotní kroky, u nichž byla kondenzace vodní páry větší než množství vypařitelné vodní páry. Výpočty roční bilance zkondenzované a vypařitelné vlhkosti byly provedeny s podporou strojového programu v prostředí jazyka Delphi.

7.2 Řešené povrchové úpravy a obvodové konstrukce

V této části jsou uvedeny skladby čtyř typů obvodových konstrukcí a tři typy povrchových úprav. Tyto obvodové konstrukce a povrchové úpravy byly ve výpočtech variovány tak, aby byl výpočet proveden na všech typech obvodových konstrukcí s použitím všech typů povrchových úprav. Tímto způsobem nakonec vzniklo 12 odlišných skladeb, ve kterých byla výpočtově posouzena roční bilance vypařitelné a zkondenzované vlhkosti. V následujících tabulkách je kromě popisu materiálu vrstvy zadána také její šířka d, faktor difuzního odporu μ a součinitel tepelné vodivosti λ.

Tabulka 13 *Přehled posuzovaných obvodových konstrukcí a užitých povrchových úprav*

Obvodová konstrukce		**Povrchová úprava**	
označení	**typ**	**označení**	**Typ**
A	Dřevostavba	**I**	Klasická paronepropustná
		II	Difuzní stěrka s akrylátovou omítkou
		III	Difuzně otevřená povrchová úprava
B	Děrovaná keramická tvárnice s vnějším zateplením z minerální vaty	**I**	Klasická paronepropustná
		II	Difuzní stěrka s akrylátovou omítkou
		III	Difuzně otevřená povrchová úprava
C	Děrovaná keramická tvárnice s integrovanou izolací bez nutnosti vnějšího zateplení	**I**	Klasická paronepropustná
		II	Difuzní stěrka s akrylátovou omítkou
		III	Difuzně otevřená povrchová úprava
D	Děrovaná keramická tvárnice s vnějším zateplením z Multiporu	**I**	Klasická paronepropustná
		II	Difuzní stěrka s akrylátovou omítkou
		III	Difuzně otevřená povrchová úprava

Prvním typem obvodové konstrukce řešené v této diplomové práci pracovně označené jako A je konstrukce dřevostavby. Stěžejním prvkem je dřevěný rám vyplněný dřevitou vlnou Hofatex. Tento rám je z vnitřní strany opláštěn OSB deskami a parozábranou. Na vnitřní povrch konstrukce byla použita deska sádrokartonu. Z vnější strany je rám opláštěn sádrovláknitými deskami Fermacel a na ně jsou uchyceny dřevovláknité desky Hofatex. Na tuto konstrukci byly postupně virtuálně aplikovány typy povrchových úprav, které jsou popsány níže. Problematikou povrchových úprav u dřevostaveb se zabývá evropský posudkový dokument EAD 040089-00-0404.

Tabulka 14 *Přehled materiálové skladby obvodové konstrukce A: Dřevostavba*

Obvodová konstrukce A: Dřevostavba				
index vrstvy	**Vrstva**	***d*** **[mm]**	***μ*** **[–]**	***λ*** **[W·m^{-1}·K^{-1}]**
1	Sádrokarton	13	90	0,22
2	Vzduchová mezera	40	1	0,2
3	Parozábrana	0,2	1880	0,35
4	OSB deska	15	12,5	0,15
5	Dřevitá vlna Hofatex v nosném rámu	120	5	0,043
6	Fermacel SDK	13	13	0,13
7	Hofatex	160	5	0,043

Druhým typem obvodové konstrukce označené jako B je klasická konstrukce vystavěná z dutinových tvárnic Porotherm. Z vnitřní strany je na ně nanesená vápenocementová omítka opatřená akrylátovým nátěrem Primalex. Z vnější strany je počítáno se vzduchovou mezerou o mocnosti 10 mm a izolací z minerální vaty. I na tuto konstrukci jsou výpočtově variovány tři typy povrchových úprav, jejíž problematikou se zabývá evropský předpis ETAG 004.

Tabulka 15 *Přehled materiálové skladby obvodové konstrukce B: Děrovaná keramická tvárnice s vnějším zateplením z minerální vaty*

Obvodová konstrukce B: Děrovaná keramická tvárnice s vnějším zateplením z minerální vaty				
Číslo vrstvy	**Vrstva**	***d*** **[mm]**	***μ*** **[–]**	***λ*** **[W·m^{-1}·K^{-1}]**
1	Akrylátový nátěr Primalex	0,6	100	1
2	Vápenocementová omítka	15	19	0,99
3	Děrovaná tvárnice Porotherm	300	5	0,135
4	Vzduchová mezera	10	1	0,6
5	Minerální vata	160	2	0,38

Obvodová konstrukce C se vyznačuje tím, že je založena na tvárnicích Porotherm s integrovanou izolací, u kterých už není nutné přidávat vrstvu vnějšího tepelného izolantu. Na vnitřní straně je zeď opatřena stejně jako u typu B vápenocementovou omítkou a akrylátovým nátěrem. Na vnější straně se vyskytuje cementový podhoz a lehčená jádrová omítka. Opět je ve výpočtech konstrukce upravena třemi typy povrchových skladeb. Problematikou povrchových úprav u tohoto typu obvodové konstrukce se zabývá norma ČSN EN 998-1 Specifikace malt pro zdivo – Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky.

Tabulka 16 *Přehled materiálové skladby obvodové konstrukce C: Děrovaná keramická bez nutnosti vnějšího zateplení*

Obvodová konstrukce C: Děrovaná keramická tvárnice bez nutnosti vnějšího zateplení				
Číslo vrstvy	**Vrstva**	***d*** **[mm]**	***μ*** **[–]**	***λ*** **[W·m^{-1}·K^{-1}]**
1	Akrylátový nátěr Primalex	0,6	100	1,0
2	Vápenocementová omítka	15	19	0,99
3	Děrovaná tvárnice Porotherm s integrovanou izolací	500	6	0,071
4	Cementový podhoz	5	12	0,99
5	Lehčená jádrová omítka	20	6	0,35

Poslední typ obvodové konstrukce D má podobnou skladbu jako typ B, akorát s tím rozdílem, že místo minerální vaty jsou v tomto případě jako izolant použity desky z Multiporu. Stejně jako u všech předešlých variant i tato skladba byla výpočtově posouzena pro tři typy povrchových úprav. Problematikou povrchových úprav u tohoto typu obvodové konstrukce se zabývá norma ČSN EN 998-1 Specifikace malt pro zdivo – Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky.

Tabulka 17 *Přehled materiálové skladby obvodové konstrukce D: Děrovaná keramická tvárnice s vnějším zateplením z Multiporu*

Obvodová konstrukce D: Děrovaná keramická tvárnice s vnějším zateplením z Multiporu				
Číslo vrstvy	**Vrstva**	***d*** **[mm]**	***μ*** **[–]**	***λ*** **[W·m^{-1}·K^{--1}]**
1	Akrylátový nátěr Primalex	0,6	100	1
2	Vápenocementová omítka	15	19	0,99
3	Děrovaná tvárnice Porotherm	300	5	0,135
4	Vzduchová mezera	10	1	0,6
5	Vnější zateplení Multipor	160	20	0,54

V následující Tabulce 18 jsou uvedeny vrstvy povrchových úprav i se svými charakteristikami, které byly použity ve výpočtech. Celkem se jedná o tři typy povrchových úprav pracovně označené jako I, II a III.

Povrchová úprava I sestává z klasické běžně používané polymer-cementové stěrky se skelnou síťovinou plněnou akrylátovou penetrací a probarvenou zatíranou akrylátovou omítkou. Tuto skladbu můžeme kvůli vysokému difuznímu odporu označit jako difuzně uzavřenou a ve výpočtech se zjišťuje, jak se projeví tato úprava na difuzně otevřené obvodové konstrukce, například dřevostavbě.

Základem povrchové úpravy II je difuzní provzdušněná polymer-cementová stěrka se skelnou síťovinou opatřenou akrylátovou penetrací a probarvenou akrylátovou omítkou. K použití této skladby může dojít tehdy, kdy zákazník nebo projektant v dobrém úmyslu použijí provzdušněnou stěrku, ale neuvědomí si, že tím degradují její užitné vlastnosti utěsněním celkového systému akrylátovou penetrací a akrylátovou omítkou s vysokým difuzním odporem. Proto je ve výpočtech řešena i tato možnost povrchové úpravy.

Povrchová úprava III by se mohla definovat jako kompletně difuzně otevřená, protože jsou v ní použity materiály s nízkým difuzním odporem, které jsou na trhu běžně dostupné. Konkrétně se jedná o provzdušněnou polymer-cementovou stěrku, silikátovou penetraci, polymer-cementovou omítku a fasádní silikátový nátěr.

Při vytváření jednotlivých skladeb povrchových úprav a přiřazení hodnot faktorů difuzního odporu a součinitelů tepelné vodivosti byly zohledněny technické listy komponent zateplovacích systémů od společností LB Cemix, Baumit, Weber a Profibaustoffe.

Tabulka 18 *Přehled materiálových skladeb povrchových úprav*

Povrchová úprava I: Klasická paronepropustná				
Číslo vrstvy	**Vrstva**	**d [mm]**	**μ [–]**	**λ [W·m^{-1}·K^{-1}]**
1	Klasická polymer-cementová stěrka se skelnou síťovinou	4	20	0,54
2	Plněná akrylátová penetrace	0,5	150	1
3	Probarvená zatíraná akrylátová omítka	3	140	0,82
Povrchová úprava II: Difuzní stěrka s akrylátovou omítkou				
Číslo vrstvy	**Vrstva**	**d [mm]**	**μ [–]**	**λ [W·m^{-1}·K^{-1}]**
1	Difuzní provzdušněná polymer-cementová stěrka se skelnou síťovinou	4	10	0,47
2	Plněná akrylátová penetrace	0,5	150	1
3	Probarvená zatíraná akrylátová omítka	3	140	0,82
Povrchová úprava III: Difuzní stěrka s otevřeným štukem, nátěrem i penetrací				
Číslo vrstvy	**Vrstva**	**d [mm]**	**μ [–]**	**λ [W·m^{-1}·K^{-1}]**
1	Difuzní provzdušněná polymer-cementová stěrka se skelnou síťovinou	4	10	0,47
2	Plněná silikátová penetrace	0,5	35	1
3	Polymer-cementová omítka	3	30	0,54
4	Fasádní silikátový nátěr	0,6	50	1

7.3 Výsledky výpočtů a jejich zhodnocení

Tabulka 19 *Přehled hodnot vypočítaných pro obvodovou konstrukci typu A*

Typ skladby	Vnitřní vlhkost [%]	Maximální množství zkondenzované vlhkosti [g·m^{-2}·a^{-1}]	Roční bilance vlhkosti [g·m^{-2}·a^{-1}]	Šíře kondenzační zóny [mm]	Vrstvy zasažené kondenzací
A + I	40	66,8	-3826,8	1,6	Hofatex, stěrka
	50	120	-3426,5	1,6	
	60	205,8	-3026,2	8,9	
	70	329,9	-2625,8	25,5	
A + II	40	58,1	-4140	1,6	Hofatex, stěrka
	50	111,3	-3739,8	1,6	
	60	175,7	-3339,5	8,8	
	70	299,7	-2939	25,4	
A + III	40	10,4	-12263	1,1	Hofatex, stěrka
	50	23,9	-11862,8	1,1	
	60	44,2	-11462,5	8,2	
	70	64,7	-11062	24,9	

Z hodnot pro obvodovou konstrukci typu A uvedených v tabulce 19 je zřejmé, že v celkové roční bilanci vlhkosti v konstrukci ve všech případech převažuje velmi výrazně výpar nad kondenzací. To je způsobeno zejména značnou difuzní propustností samotné obvodové konstrukce. Ovšem pokud se zaměříme na maximální množství zkondenzované vlhkosti primárně u relativní vnitřní vlhkosti vzduchu 50 %, pak kritérium 100 g·m^{-2}·a^{-1} splňuje pouze systém s povrchovou úpravou III, kdy je dosaženo maximální hodnoty 23,9 g·m^{-2}·a^{-1}. Při použití povrchové úpravy I a II není splněn tento požadavek jenom těsně. Ovšem při vysoké vnitřní relativní vlhkosti 70 % je požadavek splněn pouze s užitím povrchové úpravy III a při použití povrchových úprav I a II je velmi výrazně překročeno povolené maximální množství zkondenzované vodní páry v konstrukci. Ovšem je nutné si uvědomit, že v konstrukci dřevostavby jsou zabudovány materiály, které za přítomnosti kapalné vlhkosti mohou degradovat, proto u tohoto typu staveb musí být splněno kritérium nulové kondenzace vlhkosti. Tento požadavek ovšem není splněn při aplikaci žádné z uvažovaných povrchových úprav. Za zmínku rovněž stojí oblast kondenzační zóny, která se ve všech případech rozkládá na rozhání dřevovláknité desky Hofatex a polymer-cementové stěrky. Pokud by skutečně došlo ke kondenzaci

vlhkosti v této oblasti a zkondenzovaná voda by vlivem mrazu změnila své skupenství, mohlo by dojít k narušení soudržnosti mezi těmito dvěma vrstvami.

Tabulka 20 *Přehled hodnot vypočítaných pro obvodovou konstrukci typu B*

Typ skladby	Vnitřní vlhkost [%]	Maximální množství zkondenzované vlhkosti [$g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$]	Roční bilance vlhkosti [$g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$]	Šíře kondenzační zóny [mm]	Vrstvy zasažené kondenzací
B + I	40	166,4	-4 025,2	161,4	*1)
	50	343	-3 347,3	161,4	
	60	564,3	-2 728,2	161,4	
	70	865,4	-1 969,5	270	**2)
B + II	40	156,2	-4 348,7	161,4	*1)
	50	309	-3 670,8	161,4	
	60	530,2	-3 051,3	161,4	
	70	794,4	-2 292,8	270	**2)
B + III	40	42,3	-9 076,5	160,9	*1)
	50	81,6	-8 523,6	160,9	
	60	169,3	-5 274,8	160,9	
	70	235,1	-3 795,6	269,3	**2)

**1) Vzduchová mezera, minerální vata, polymer-cementová (klasická/provzdušněná) stěrka*
***2) Tvárnice Porotherm, vzduchová mezera, minerální vata, polymer-cementová (klasická/provzdušněná) stěrka*

Z hodnot uvedených v tabulce 20 vyplývá, že při vnitřní relativní vlhkosti vzduchu 50 % vyhovuje oběma požadavkům pouze konstrukce s povrchovou úpravou III, kde nejvyšší zkondenzované množství vodní páry v konstrukci činí 81,6 $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$. Při použití povrchových úprav I a II je toto kritérium výrazně překročeno. Požadavku na celkovou roční bilanci vyhovuje konstrukce ve všech uvažovaných možnostech povrchové úpravy i při všech počítaných podmínkách vnitřní relativní vlhkosti vzduchu. Kondenzační zóna je v případě této obvodové konstrukce mnohem širší, než tomu bylo v případě obvodové konstrukce A, a zasahuje do více skladebných vrstev, což může ve styku jednotlivých vrstev opět způsobovat problémy.

Tabulka 21 *Přehled hodnot vypočítaných pro obvodovou konstrukci typu C*

Typ skladby	Vnitřní vlhkost [%]	Maximální množství zkondenzované vlhkosti [g·m^{-2}·a^{-1}]	Roční bilance vlhkosti [g·m^{-2}·a^{-1}]	Šíře kondenzační zóny [mm]	Vrstvy zasažené kondenzací
C + I	40	100,	-3 053,1	79,5	Tvárnice Porotherm, Cementový podhoz
	50	194,4	-2 611,5	128,9	
	60	337,4	-2 165,5	172,6	
	70	500,8	-1 788,1	242,5	
C + II	40	94,9	-3 240,1	79,5	Tvárnice Porotherm, Cementový podhoz
	50	176,8	-2 798,5	128,8	
	60	319,9	-2 352,6	172,5	
	70	479,1	-1 975,1	242,5	
C + III	40	40,2	-6 468,9	78,8	Tvárnice Porotherm, Cementový podhoz
	50	87,2	-5 993,6	128,2	
	60	152,8	-5 632,2	171,9	
	70	258,9	-2 313,5	241,9	

Podobně jako v předešlých případech, tak i u tohoto typu obvodové konstrukce, můžeme z hodnot uvedených v tabulce 21 učinit závěr, že požadavek na celkovou roční bilanci vypařené a zkondenzované vodní páry v konstrukci vyhovují všechny případy, ale požadavek na maximální zkondenzované množství vodní páry v konstrukci splňuje pouze konstrukce s povrchovou úpravou III, kdy bylo dosaženo hodnoty 87,2 g·m^{-2}·a^{-1}, zatímco v případech I a II bylo kritérium zkondenzované vodní páry 100 g·m^{-2}·a^{-1} výrazně překročeno. Pokud by se hodnocené konstrukce vyskytovaly u místností s vyšší vnitřní relativní vlhkostí než 50 %, pak by požadavku na maximální množství zkondenzované vodní páry 100 g·m^{-2}·a^{-1} nevyhověla žádná z posuzovaných skladeb. Šířka kondenzační zóny je i v tomto případě mnohem větší, než tomu bylo u obvodové konstrukce typu A a ve všech případech zasahuje do vrstev tvárnice Porotherm a do cementového podhozu.

Tabulka 22 *Přehled hodnot vypočítaných pro obvodovou konstrukci typu D*

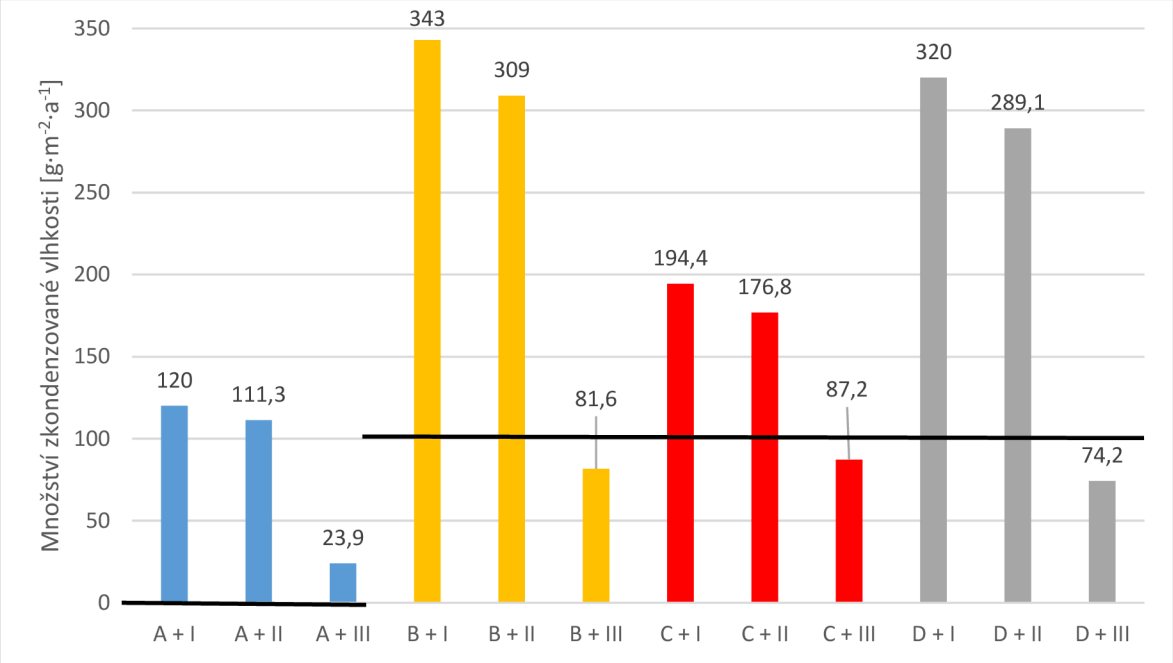
Typ skladby	Vnitřní vlhkost [%]	Maximální množství zkondenzované vlhkosti [g·m^{-2}·a^{-1}]	Roční bilance vlhkosti [g·m^{-2}·a^{-1}]	Šíře kondenzační zóny [mm]	Vrstvy zasažené kondenzací
D + I	40	158,3	-3 919,4	1,4	Multipor, Stěrka
	50	320	-3 2927	1,4	
	60	514	-2 665,9	1,4	
	70	755,5	-2 039,1	11,1	
D + II	40	149,4	-4 234,5	1,4	Multipor, Stěrka
	50	289,1	-3 607,8	1,4	
	60	483,2	-2 981	1,4	
	70	689,7	-2 354,2	11,1	
D + III	40	42,5	-12 394,9	0,9	Multipor, Stěrka
	50	74,2	-11 768,1	0,9	
	60	143,3	-11 141,3	0,9	
	70	226,7	-10 514,5	10,5	

Z hodnot uvedených v tabulce 22 je zřejmé, že všechny uvažované skladby vyhovují požadavku na roční bilanci vypařené a zkondenzované vodní páry v konstrukci. Kritérium maximální zkondenzované vlhkosti v konstrukci 100 g·m^{-2}·a^{-1} při vnitřní relativní vlhkosti 50 % splňuje ovšem pouze konstrukce opatřena povrchovou úpravou III, kdy tato hodnota je 74,2 g·m^{-2}·a^{-1}. V případech použití povrchové úpravy I nebo II bylo toto kritérium velmi výrazně překročeno. U obvodové konstrukce typu D se šířka kondenzační zóna pohybovala v rozmezí 0,9 – 11,1 mm v závislosti na použité povrchové úpravě a vnitřních podmínkách, a zasahovala do izolačního materiálu Multipor i do krycí stěrky.

7.4 Shrnutí výsledků

Z vypočtených výsledků vyplývá, že u všech posuzovaných typů obvodových konstrukcí i s použitím všech navrhnutých povrchových úprav, je splněn požadavek normy ČSN 730450-2, aby v celoroční bilanci vypařené a zkondenzované vlhkosti převažoval výpar nad kondenzátem při vnitřní relativní vlhkosti vzduchu 50 %. Tento požadavek je splněn u všech obvodových konstrukcích a u všech povrchových úpravách dokonce i při extrémní relativní vlhkosti vnitřního vzduchu 70 %.

Splnění požadavku ČSN 730450-2, aby maximální zkondenzované množství vodní páry v konstrukci bylo nižší než 100 $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ již jednoznačné není.



Graf 8 *Znázornění maximálního množství zkondenzované vlhkosti uvnitř konstrukce při vnitřní relativní vlhkosti 50 % s vyznačeným kritériem*

Jedinou povrchovou úpravou, která toto kritérium splnila ve všech čtyřech druzích obvodových konstrukcí, byla povrchová úprava označená jako III. Ovšem v případě dřevostavby nebyl splněn požadavek nulové kondenzace vlhkosti, který musí být splněn u všech konstrukcí, ve kterých se vyskytuje materiál, který by mohl vlivem přítomné kapalné vlhkosti degradovat. Velmi těsně požadavek 100 $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ nesplňují povrchové úpravy typu I a II při aplikaci na obvodovou konstrukci typu A (dřevostavba). Ovšem v ostatních případech byla hodnota 100 $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ výrazně překročena a v případě aplikace povrchové úpravy I na obvodovou konstrukci B (dutinová keramická tvárnice

Porotherm s vnější tepelnou izolací z minerální vaty) nebo D (dutinová keramická tvárnice Porotherm s vnější tepelnou izolací z Multiporu) tuto hodnotu překračovala dokonce více než trojnásobně.

V případě, že byla vnitřní relativní vlhkost navýšena na extrémních 70 %, pak kritérium maximální možné kondenzace vodní páry v konstrukci 100 $g \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ splňuje pouze povrchová úprava III v kombinaci s obvodovou konstrukcí A (dřevostavba). U ostatních obvodových konstrukcí byl tento požadavek i přes aplikaci povrchové úpravy III výrazně překročen. U těch nejvíce nevhodných kombinací obvodových konstrukcí a povrchových úprav, mezi které patří kombinace B + I a D + I, byl tento požadavek při vystavení extrémní vnitřní vlhkosti vzduchu 70 % překročen dokonce až osminásobně.

Velmi proměnná byla také šířka kondenzační zóny, která se velmi výrazně liší v závislosti na skladbě konstrukce. V případě, kdy byla vnitřní relativní vlhkost vzduchu 50 %, se šířka kondenzační zóny pohybovala v rozmezí od 0,9 mm u konstrukce D + III až do 161,4 mm u konstrukce B + I. Při extrémním zatížení konstrukce vlivem vysoké vnitřní relativní vlhkosti, která činila 70 %, se šířka kondenzační zóny ještě zvětšila a pohybovala se v rozmezí od 10,5 mm u konstrukce D + III až do 270 mm u konstrukce B + I.

Samotná šíře kondenzační zóny ovšem není významná, mnohem důležitější je poznatek, do jakých skladebných vrstev stěny zasahuje. Velký problém může nastat, pokud bude vlhkost kondenzovat v organických materiálech, kde může výrazně přispívat ke tvorbě plísní a urychlovat degradaci zasažených materiálů. Další problém může způsobit výskyt zkondenzované kapalné vody na rozhraní materiálů, a to zejména mezi vnějším povrchem tepelného izolantu a krycí stěrky, kde může dojít ke změně skupenství vody z kapalného na pevné, která podmiňuje objemovou změnu staviv. Dalším nežádoucím projevem přítomnosti kapalné vody v této oblasti je to, že stěrkovací hmota snižuje míru adheze k izolantu. Tento objemový rozdíl může velmi negativně ovlivnit vzájemnou soudržnost mezi krycí stěrkou a tepelným izolantem. Podle vypočtených hodnot a identifikaci výskytu kondenzační zóny bylo zjištěno, že kondenzační zóna zasahuje ve všech uvažovaných případech, kromě obvodové konstrukce z keramických tvárnic s integrovanou tepelnou izolací, právě do roviny rozhrání tepelného izolantu a krycí polymer-cementové stěrky. V případě obvodové konstrukce z keramických tvárnic s integrovanou tepelnou izolací se kondenzační zóna vyskytovala na rozhraní keramické tvárnice a cementového podhozu.

ZÁVĚR

V teoretické části diplomové práce jsem shrnul problematiku vlhkostního zatížení v obvodových konstrukcích, byla provedena rešerše difuzně otevřených zateplovacích systémů dostupných na tuzemském stavebním trhu.

V praktické části byl ověřen vliv množství redispergovatelného polymerního prášku a vliv provzdušnění na výsledné vlhkostně transportní vlastnosti stěrkových hmot.

Pomocí souvisejících zkoušek bylo prokázáno, že s větším množstvím RPP ve stěrkových směsích se u čerstvých malt mírně zvýšil obsah vzduchu a mírně se snížila objemová hmotnost. U ztvrdlých malt stěrkových směsí pak větší množství RPP zlepšovalo pevnost v tlaku a v tahu za ohybu. Provzdušněním hmot došlo k výraznému zvýšení obsahu vzduchu v čerstvých hmotách a ke snížení objemové hmotnosti. Důležitou vlastností u lepicích a stěrkovacích hmot je soudržnost s podkladem a izolantem. Ve všech zkoušených případech testované materiály vyhověly požadavkům evropského předpisu ETAG 004.

Při zkoušce kapilární nasákavosti dle ETAG 004 bylo prokázáno, že požadavkům ETAG 004 nevyhověly pouze provzdušněné stěrkovací hmoty s obsahem RPP 0,75 % a 1,5 %. Tyto vzorky by dále měly být dle ETAG 004 podrobeny zkoušce mráz-tání, aby se prokázala jejich mrazuvzdornost. Zároveň bylo zjištěno, že u provzdušněných stěrek se s rostoucím podílem RPP nasákavost výrazně snižovala.

Hlavním důvodem, proč byla navržena provzdušněná stěrka, byl předpoklad, že se tímto zásahem do struktury významně sníží hodnota faktoru difuzního odporu. Tento předpoklad se mi zkouškami stanovení propustnosti vodních par potvrdil. Z výsledků je také zřejmé, že s rostoucím podílem RPP ve směsi se výsledná hodnota faktor difuzního odporu snižuje.

Ve druhé polovině praktické části jsem se zabýval výpočty celkové roční bilance vypařitelné a zkondenzované vodní páry v konstrukcích stěn, maximálním množstvím zkondenzované vlhkosti v konstrukci a šíří a polohou kondenzační zóny při teplotě vnitřního prostředí θ_i = +20°C (teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} = +21 °C a relativní vlhkosti vzduchu φ_i = 50 %). Tyto výpočty byly provedeny na čtyřech typech vnějších stěn (dřevostavba, keramické tvárnice s vnější izolací z minerální vaty, keramické tvárnice s integrovanou izolací bez nutnosti vnějšího zateplení a keramické tvárnice s vnějším zateplením z Multiporu), které byly postupně výpočtově opatřeny třemi druhy povrchových úprav (difuzně uzavřená, difuzní stěrka s akrylátovou omítkou a difuzní

stěrka s otevřeným štukem, nátěrem i penetrací). Ve výsledku bylo tedy porovnáváno 12 různých konstrukčních skladeb.

Všechny normové požadavky podle ČSN 730540-2 splňovaly pouze obvodové konstrukce, které neobsahovaly materiály, které by mohly vlivem kondenzátu degradovat, a na které byla aplikována difuzně otevřená povrchová úprava označena jako III. U všech ostatních posuzovaných kombinací skladebných uspořádání požadavky splněny nebyly. Proto by se měla věnovat značná pozornost úpravám, kterými by se omezil vstup vodní páry z interního prostředí do konstrukcí stěn.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] HALAHYJA, Martin. *Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie: celoštátna vysokoškolská učebnica pre stavebné fakulty vysokých škôl*. Bratislava: Alfa, 1985. Edícia stavebníckej literatúry (Alfa).

[2] *Základní fyzikální vlastnosti stavebních materiálů ve vazbě na izolační vlastnosti* [online]. [cit. 2018-11-26] Dostupné na http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/IZMA/prednaskaII_IZMA.pdf

[3] *Difúze vodní páry – veličiny, hodnoty a jednotky* [online]. [cit. 2018-11-27] Dostupné z: http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-veliciny-hodnoty-a-jednotky/

[4] *Zateplovací standard ETICS* [online]. [cit. 2018-11-27] Dostupné z: http://rinvest.cz/etics

[5] *Zateplovací, tepelně izolační systémy* [online]. [cit. 2018-11-29] Dostupné z: https://www.zatepleni-kwaczek.cz/zateplovaci-systemy

[6] *Difuzně otevřené stavební konstrukce* [online]. [cit. 2018-11-29] Dostupné z: https://www.ceskykutil.cz/difuzne-otevrene-stavebni-konstrukce

[7] *Řešení fasád dřevostaveb s difúzně otevřeným obvodovým pláštěm* [online]. [cit. 2018-12-02] Dostupné z: https://www.weber-terranova.cz/zateplovaci-systemy/pomoc-rada/problemy-a-reseni/reseni-fasad-drevostaveb-s-difuzne-otevrenym-obvodovym-plastem.html

[8] *Stavební řešení Cemix – Zateplovací systémy* [online]. [cit. 2018-12-02] Dostupné z: https://www.cemix.cz/zateplovaci-systemy

[9] *Zateplovací systémy Baumit – Baumit Pro Mineral* [online]. [cit. 2018-12-02] Dostupné z: https://www.baumit.cz/reseni-pro-kazdeho/zateplovaci-systemy/profesionalni/baumit-pro-mineral/

[10] *Zateplovací systémy Baumit – Baumit open. Zateplení, které dýchá!* [online]. [cit. 2018-12-02] Dostupné z: https://www.baumit.cz/reseni-pro-kazdeho/zateplovaci-systemy/premiove/archiv-2017/baumit-open-stara/

[11] ETAG 004. *Guideline for European technical approval of external thermal insulation composite systems (ETICS) with rendering.* Brussels: *EOTA*, 2013.

[12] *Jak správně zateplovat* [online]. [cit. 2018-12-10] Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/5901-jak-spravne-zateplovat

[13] ČSN EN 1015-6. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti čerstvé malty.* Praha: Český normalizační institut, 1999.

[14] *Malty – zkoušky čerstvých malt* [online]. [cit. 2018-12-10] Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty_zk

[15] ČSN EN 1015-7. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 7: Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě.* Praha: Český normalizační institut, 1999.

[16] ČSN EN 1015-3. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střásacího stolku.* Praha: Český normalizační institut, 2000.

[17] ČSN EN 1015-11. *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku.* Praha: Český normalizační institut, 2000.

[18] *VINNAPAS® 4121 N – a new dispersible polymer powder for ETICS performance in Central Eastern Europe and Turkey.* Interní dokument firmy Wacker

[19] *Reinforcement Levelling Compound for EIFS.* Interní dokument firmy Shin-Etsu.

[20] ČSN EN ISO 7783-2. *Nátěrové hmoty – Povlakové materiály a povlakové systémy pro vnější zdivo a beton – Část 2: Stanovení a klasifikace stupně propustnosti pro vodní páru (permeability).* Praha: Český normalizační institut, 2000.

[21] *Vlastnosti cementových a polyuretanových lepidel* [online]. [cit. 2018-12-15] Dostupné z: http://www.svsoms.cz/files/Cementova_a_polyuretanova_lepidla.pdf

[22] *Exterior insulation and finish systems.* Interní dokument firmy Ashland

[23] *DLP redispersible polymer powders* [online]. [cit. 2013-09-12] Dostupné z: https://www.dow.com/en-us/construction-chemicals

[24] ČSN 730540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky.* Praha: ÚNMZ, 2011.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	**Popis zkratky**
cca	cirka, přibližně
ETAG XXX	Evropské technické doporučení EOTA
např.	například
RPP	redispergovatelný polymerní prášek
SDK	sádrokartonová deska
TL	technický list výrobce
tzv.	takzvaně
tzn.	to znamená

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 *Schéma uspořádání materiálových vrstev ETICS* [4] 14
Obrázek 2 Znázornění vazby izolačních desek v oblasti rohů budovy, oken a u okenního rámu *[12]* 16
Obrázek 3 Detail překrytí síťoviny u oken *[5]* 17
Obrázek 4 Znázornění skladby difuzně otevřeného systému Weber *[7]* 20
Obrázek 5 Znázornění uspořádání skladby difuzně otevřeného systému Cemix *[8]* ... 21
Obrázek 6 Znázornění skladby difuzně otevřeného systému Baumit Pro Mineral *[9]* . 22
Obrázek 7 Znázornění skladby difuzně otevřeného systému Baumit open *[10]* 23
Obrázek 8 Fotografie přístroje pro stanovení obsahu vzduchu v maltě *[14]* 38
Obrázek 9 Fotografie střásacího stolku s kovovým kuželem *[14]* 39
Obrázek 10 Fotografie zkoušených trámců 40
Obrázek 11 Fotografie vzorků ze zkoušky stanovení soudržnosti mezi lepicí hmotou a podkladem 42
Obrázek 12 Fotografie zkušebních vzorků ze zkoušky stanovení soudržnosti mezi lepicí hmotou a izolačním výrobkem 43
Obrázek 13 Fotografie zkušebních vzorků při zkoušce stanovení kapilární nasákavosti 44

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na objemovou hmotnost čerstvé hmoty 47
Graf 2 Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na množství vzduchu v čerstvých hmotách 48
Graf 3 Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku 49
Graf 4 Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na soudržnost s betonovým podkladem 50
Graf 5 Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na kapilární nasákavost – zjednodušenou zkouškou 51
Graf 6 Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na kapilární nasákavost dle ETAG 004 51
Graf 7 Znázornění vlivu množství RPP a provzdušnění na hodnotu faktoru difuzního odporu 52
Graf 8 Znázornění maximálního množství zkondenzované vlhkosti uvnitř konstrukce při vnitřní relativní vlhkosti 50 % s vyznačeným kritériem 66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Přehled faktorů difuzního odporu μ jednotlivých vrstev sytému Weber – diffusheet [7] 20
Tabulka 2 Přehled faktorů difuzních odporů jednotlivých vrstev sytému Cemixtherm DIFU MW [8] 21
Tabulka 3 Přehled faktorů difuzních odporů jednotlivých vrstev sytému Baumit Pro Mineral [9] 22
Tabulka 4 Přehled faktorů difuzního odporu μ jednotlivých vrstev sytému Baumit open [10] 24
Tabulka 5 Přehled receptur stěrkovacích hmot firem Wacker, Ashland, Dow a Shin-Etsu [18] [19] [22] [23] 30
Tabulka 6 Přehled posuzovaných hmot, jejich označení, typ a použité množství RPP 34
Tabulka 7 Přehled receptur zkoušených směsí 35
Tabulka 8 Přehled naměřených hodnot u čerstvých hmot 47
Tabulka 9 Přehled výsledků zkoušek objemové hmotnosti ρ_z, pevnosti v tahu za ohybu R_f a pevnosti v tlaku R_c zatvrdlých hmot 48
Tabulka 10 Přehled výsledků zkoušek soudržnosti materiálu s podkladem 49
Tabulka 11 Přehled výsledků ze zkoušek nasákavostí 50
Tabulka 12 Přehled výsledků zkoušky stanovení propustnosti pro vodní páru 52
Tabulka 13 Přehled posuzovaných obvodových konstrukcí a užitých povrchových úprav 57
Tabulka 14 Přehled materiálové skladby obvodové konstrukce A: Dřevostavba 58
Tabulka 15 Přehled materiálové skladby obvodové konstrukce B: Děrovaná keramická tvárnice s vnějším zateplením z minerální vaty 58
Tabulka 16 Přehled materiálové skladby obvodové konstrukce C: Děrovaná keramická bez nutnosti vnějšího zateplení 59
Tabulka 17 Přehled materiálové skladby obvodové konstrukce D: Děrovaná keramická tvárnice s vnějším zateplením z Multiporu 60
Tabulka 18 Přehled materiálových skladeb povrchových úprav 61
Tabulka 19 Přehled hodnot vypočítaných pro obvodovou konstrukci typu A 62
Tabulka 20 Přehled hodnot vypočítaných pro obvodovou konstrukci typu B 63
Tabulka 21 Přehled hodnot vypočítaných pro obvodovou konstrukci typu C 64
Tabulka 22 Přehled hodnot vypočítaných pro obvodovou konstrukci typu D 65