



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

STUDIUM VLHKOSTNÍCH POMĚRŮ VE STĚNĚ PO APLIKACI KONTAKTNÍHO ZATEPLOVACÍHO SYSTÉ- MU ETICS

STUDY OF MOISTURE CONDITIONS IN THE FACADE WALL AFTER APPLICATION
OF THE ETICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROBIN ŠEVČÍKŮ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Robin Ševčíků

Název Studium vlhkostních poměrů ve stěně po aplikaci kontaktního zateplovacího systému ETICS

Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Št'astník, CSc.

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2014

Datum odevzdání bakalářské práce 29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014

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

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

Podklady a literatura

Davies, Morris, G., Building Heat Transfer, John Wiley 2004

Blaich, J., Algen auf Fassaden, In. Die Gebäudehülle, Dübendorf – Schweiz, EMPA, 2000, ISBN 3-6167-4724-8

Kupilík, V., Závady a životnost staveb, GRADA Publishing 1999

Halahyja, M., Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie, ALFA Bratislava 1986

Firemní literatura ohledně systémů ETICS (CEMIX, STO, BASF aj.)

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Systém zateplování ETICS je z hlediska montáže v současné době dostatečně propracován a technologie zateplování využívá většinou pouze ověřené materiály. Aplikace zateplovacích systémů však sebou přináší nové problémy s vegetačním porostem řasami. Většinou se jedná pouze o estetickou závadu, neboť původní vzhled řasami porostlých fasád se v důsledku zeleného zabarvení mění. Jak známo, příčinou bývá trvale zvýšená vlhkost v povrchové vrstvě.

V této souvislosti proveďte:

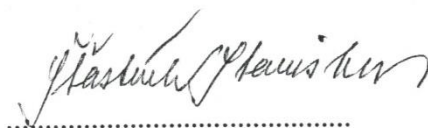
- i) Rešerši poznatků ohledně fyzikálních pochodů tepelného a vlhkostního šíření systémy ETICS,
- ii) Popište fyzikální procesy související s tepelným šířením ve svislém obvodovém plášti budov, zejména interakci povrchových vrstev ETICS s vnějšími klimatickými podmínkami. Zvláštní význam zaujímá proces tepelného sálání povrchu ETICS oproti jasné noční obloze.
- iii) Specifikujte fyzikální jevy, zejména význam emisivity a reflektance nátěrových hmot určených pro vnější povrchové vrstvy ETICS. Vymezte míru jejich projevu v reálných podmínkách staveb,
- iv) Na základě výsledků měření emisivity vybraných materiálů povrchových vrstev predikujte jejich vlivu na podstatu procesu povrchového ochlazování fasád,
- v) Nastiňte očekávané trendy ve vývoji materiálů určených pro povrchové vrstvy ETICS, jež by mohly ovlivnit míru výskytu vegetace řas a sinic na povrchu dobře zateplených budov.

Při vypracování bakalářské práce dbejte zásad platných na FAST VUT Brno; praktická část do 20 % rozsahu; celkový rozsah do 40 stran včetně tabulek a grafů.

Struktura bakalářské/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.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

V posledních desetiletích se aplikace kontaktního zateplovacího systému (ETICS) stala ve stavebnictví velmi populárním opatřením pro zlepšení jak energetické bilance objektu, tak pro zvýšení trvanlivosti a životnosti fasád. Ruku v ruce s tím se však zvětšuje počet fasád napadených mikroorganismy – zejména řasami a sinicemi. Jedním z důvodů této náchylnosti je interakce klimatických vlivů s novodobými skladbami zateplovacích systémů, jež vyúsťují kromě velkého teplotního a vlhkostního namáhání ve výskyt zelených povlaků řas na fasádních površích. Vegetace řas je umožněna dostatkem vlhkosti způsobeným nočním podchlazováním povrchu až na teploty rosného bodu okolního vzduchu a následnou kondenzací vodních par na povrchu fasády. Za tímto podchlazením stojí vyzařování tepla povrchem vůči jasné noční obloze.

Tato bakalářská práce se věnuje popisu v současnosti dostupných poznatků o napadení zateplených fasád řasami a vysvětluje tyto jevy za využití principů stavební fyziky. Kromě toho jsou v praktické části práce prezentovány výsledky autorova vlastního měření týkající se stanovení základních charakteristik běžně užívaných fasádních materiálů (spektrální emisivity a nasákavosti), relevantních s ohledem na zaměření práce.

Abstract

In the last decades the application of ETICS (external thermal insulation composite system) became a popular measure to improve the energy performance and the weather resistance of facades in the building stock. However, hand in hand with that the problem of microorganisms such as algae and fungi on facades has substantially increased in recent years. One of the main reasons is the interaction of climate influences with modern compositions of thermal insulation systems resulting besides of large thermal and moisture loads in occurrences of green covers of algae on facade surfaces. The algae population on facades with ETICS is supported by the sufficient humidity, caused by the night temperature decrease of surface to the dew-point temperature and by consequent condensation of vapour. The thermal radiation against clear night sky is responsible for the origin of this periodically repeated phenomenon.

This bachelor's thesis is concentrated to the description of available knowledge in this field and explains the phenomenons by means of principles of building physics. Moreover, at the end, in the practical part, there are presented the results of author's own measurements concerning determination of basic properties of commonly used facade materials (spectral emissivity, absorbing power), important with regard to the subject of the thesis.

Klíčová slova

Vnější kontaktní zateplovací systém (ETICS), tepelné sálání, šíření vlhkosti a tepla, biologické napadení, řasy, biocidy, laboratorní měření, spektrální emisivita, nasákavost, životnost a trvanlivost staveb.

Key words

External thermal insulation composite system (ETICS), heat radiation, heat and moisture transport, surface biological attack, algae, biocides, laboratory measurements, spectral emissivity, absorbing power, lifetime and durability of buildings.

Bibliografická citace VŠKP

ŠEVČÍKŮ, Robin. *Studium vlhkostních poměrů po aplikaci kontaktního zateplovacího systému ETICS*: bakalářská práce. Brno, 2015. 53 stran. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.

Poděkování

Považuji za svou milou povinnost poděkovat své rodině, bez jejíž pomoci a podpory bych studium zvládal mnohem obtížněji. Dále svému vedoucímu, panu profesoru Šťastníkovi, nejen za odborné a profesionální vedení při vypracovávání práce, ale i za neformální a přátelský přístup.

Prohlášení:

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

V Brně dne 25. května 2015

.....

podpis autora

OBSAH

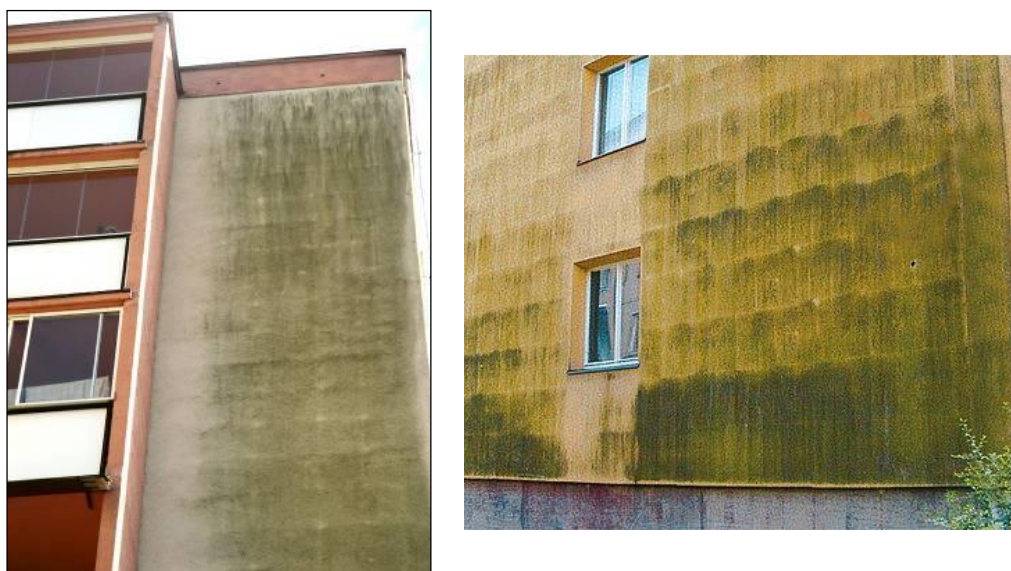
1	Úvodem: Zaměření a cíle práce	10
2	Sinice a řasy	12
2.1	Obecně o řasách	12
2.1.1	Determinace pojmů sinice a řasa	12
2.1.2	Výživa pro řasy	12
2.2	Podmínky pro růst řas na stavebním povrchu.....	13
3	Problematika výskytu řas na povrchu kontaktního zateplovacího systému.....	14
3.1	Biokorozní projevy pozorované na povrchových vrstvách ETICS	14
3.2	Podstata nočního orosování povrchu zateplených fasád	14
3.2.1	Vliv orientace fasád a dalších faktorů.....	15
3.2.2	Příklad 1 - případ prošetřovaný institutem EMPA.....	15
3.2.3	Příklad 2 - případová studie.....	16
4	Řešení problematiky růstu řas a sinic z materiálového hlediska - současné trendy a tendence	20
4.1	Alternativní cesty v boji proti sinicím a řasám.....	20
5	Přenos tepla radiací.....	24
5.1	Vyzařovací zákony	24
5.1.1	Stephan - Boltzmannův zákon	24
5.1.2	Planckův vyzařovací zákon	24
5.1.3	Kirchhoffův zákon.....	26
5.2	Emisivita	26
5.3	Zářivé tepelné toky na povrchu tělesa	27
6	Tepelné a vlhkostní děje na povrchu systému ETICS	28
6.1	Přenos tepla zářením mezi povrchem konstrukce a atmosférou.....	28
6.2	Tepelné toky mezi povrchem konstrukce a atmosférou	29
6.2.1	Výsledek bilance nočních zářivých tepelných toků na povrchu stavební konstrukce	30
6.3	Šíření tepla a vlhkosti v porézních látkách	30
6.4	Šíření tepla prouděním	31
6.5	Měření teploty povrchu zateplovacích systémů	32
7	Infračervená (IR) spektrometrie pro účely měření optických vlastností.....	34
7.1	Infračervené záření jako součást elektromagnetického záření.....	34
7.2	Úvod do infračervené spektrometrie.....	35
7.3	Infračervený spektrometr.....	35

7.3.1	Integrační sféra pro měření odrazivosti	36
7.4	Měření emisivity materiálů v závislosti na vlnové délce a teplotě	37
8	Praktická část.....	39
8.1	Zkouška nasákavosti.....	41
8.1.1	Grafické vyhodnocení nasákavosti	43
8.2	Měření a vyhodnocení emisivit	45
9	Závěr.....	50
10	Seznam použité literatury	52

1 ÚVODEM: ZAMĚŘENÍ A CÍLE PRÁCE

Velmi rozšířeným způsobem k dosažení vysokých tepelně izolačních vlastností u nových i stávajících obvodových stěn se v posledních letech stalo užití vnějšího kontaktního zateplovacího systému ETICS (External Thermal Insulation Composite System). Se vzrůstajícím počtem zrealizovaných zateplovacích systémů však rychle narůstá i počet případů, kdy je povrch fasády zasažen porostem mikroorganismů – hlavně řasami a sinicemi. Takové napadení se může objevit již poměrně brzy po dokončení zateplení a ve velmi krátké době se může stát vážným estetickým problémem, který je z pohledu investora neakceptovatelný. Zvýšený výskyt řas v takových případech není zpravidla zapříčiněn nekvalitou použitých materiálů, špatně navrženou skladbou zateplovacího systému nebo nekvalitou práce. Náchylnost k napadení řasami a sinicemi bývá zpravidla zapříčiněna jasně danými a velmi špatně ovlivnitelnými fyzikálními a přírodními vlivy a s kvalitou podkladu nemá přímou souvislost.

Růst řas na fasádách s vnějším zateplením je umožněn dostatkem vlhkosti způsobeným nočním podchlazením povrchu až na teplotu rosného bodu vzduchu a následnou kondenzací vodních par na povrchu fasády. Tento opakující se jev je důsledkem vyzařování tepla fasádním povrchem proti jasné noční obloze. Množství vody, které se tímto způsobem vnese na povrch fasády, není nijak velké. Přesto však pravidelnost opakování této kondenzace může zajistit vhodné vlhkostní podmínky pro vegetaci řas.



Obr. 1.1: Ukázky vzhledu nedávno zateplených fasád panelových domů napadených řasami.

Toto je v kostce shrnutá podstata problému, kterému se věnuje předložená bakalářská práce. To, co je tu shrnuto v jednom odstavci, však ve skutečnosti představuje poměrně složitý tepelně-vlhkostní problém, jenž tato práce svým rozsahem nemůže ani zdaleka pokrýt. Přesto si práce dává za cíl podat alespoň základní ucelený vhled do problematiky. V první řadě se zabývá popisem soudobých poznatků o napadení zateplených fasád a jejich uvedením do souvislosti se stavební fyzikou. Jsou zde popsány základní pochody tepelné-

ho a vlhkostního šíření systému ETICS. Dále je věnována pozornost interakci povrchových vrstev fasádních povrchů s vnějšími klimatickými podmínkami. Zvláštní význam je přitom připisován charakteristice materiálů fasádních vrstev z hlediska sálavé schopnosti – emisivity. Je zde vymezen její vliv v reálných podmínkách staveb a dále je popsána jedna z metod jejího zjišťování – pomocí infračervené spektroskopie. Infračervený spektrometr s nástavcem s integrační sférou se dnes jeví jako nejvhodnější metoda pro stanovení emisivity. Tento přístroj je také součástí vybavení pracoviště ÚTHD fakulty stavební. Díky dostupnosti na pracovišti byl také využit v praktické části pro experimentální stanovení spektrálních emisivity vybraných fasádních materiálů.

Již zmíněná praktická část v závěru práce představuje vzhledem ke svému rozsahu doplnění převážně teoreticky orientované práce. Do praktické části byly zahrnuty dva základní experimenty – stanovení nasákavosti a stanovení zmíněné emisivity materiálů povrchových vrstev zateplovacího systému, které by měly orientačním způsobem charakterizovat základní vlastnosti dnes běžně užívaných povrchových materiálů kontaktních zateplovacích systémů ve vztahu k problematice řešené v této práci.

2 SINICE A ŘASY

Spolu s rostoucím počtem případů napadených fasád se objevuje v oboru poruch staveb pojem biogenní poruchy staveb. Řasový porost souvisí s moderními fasádními konstrukcemi vyznačujícími se vysokou tepelně izolační schopností a v jistém smyslu je produktem naší doby. Řasy na venkovních stavebních površích nejsou ničím výjimečným. Setkáváme se s nimi běžně na vlhkých zdech starých staveb, hojně se objevují na keramických střešních krytinách a na různých terénních opěrných zdech; zde však jejich výskyt není překvapující [4]. Výsledky zkoumání zatím nasvědčují tomu, že řasový porost je třeba klasifikovat spíše jako optickou vadu vzhledu, než jako prvek snižující kvalitu a funkčnost konstrukce. [3]

2.1 Obecně o řasách

Do kategorie řas řadíme druhy od mikroskopických řas, které jsou viditelné pouhým okem teprve po jejich hromadném rozmnožení, až po několikametrové makroskopické řasy nebo chaluhu, které žijí převážně v mořích. Zde žije asi jen deset procent, kde zauímají omezené prostory závislé na teplotě a proudění vody. Největší množství všech známých zelených řas je rozšířeno na celém světě ve sladkých vodách. Mnoho druhů již vodu opustilo a nyní žije na zemi, v zemi nebo ve vzduchu, tzn., že se asimilovaly podmínkám na vzduchu (tzv. aerofytické řasy) a přijímají vodu v podobě deště nebo páry [8]. Ve volné přírodě žijí zejména na stinných stranách skal a na vlhké půdě. I na stromech v lese žijí řasy na severně orientované straně kmenů. Aerofyty představují v našich klimatických podmínkách mikroskopické zelené až modrozelené řasy. Pokud jim to životní podmínky umožňují, pak se tyto mikroorganismy rozmnoží a vytvoří viditelné zelené kolonie. Vhodným podkladem jsou nejrůznější organické nebo anorganické materiály i chudé na živiny [3].

2.1.1 Determinace pojmů sinice a řasa

Pojmy sinice a řasy by striktně vzato neměly být zaměňovány. Ve staré botanické literatuře nebylo rozdělení sinic důsledné a obě skupiny nižších rostlin byly označovány jako řasy. Na začátku minulého století s rozvojem přesných mikroskopických a biochemických metod zkoumání se ukázalo, že sinice mají některé zcela zásadní odlišnosti ve vnitřní stavbě a funkci buněk. Vztah sinic a řas tak spočívá pouze v podobném průběhu fotosyntézy a v podobné kombinaci fotosyntetických barviv. Ačkoli tedy mezi sinicemi a řasami neexistuje biologická příbuznost, z praktických důvodů se sinice řadí mezi řasy. I v této práci bude nadále používán výhradně termín řasa. [4]

2.1.2 Výživa pro řasy

Prostřednictvím zelených pigmentů mohou řasy přijímat potřebný uhlík z oxidu uhličitého ze vzduchu (probíhá fotosyntéza jako u vyšších rostlin). Zdrojem dusíku jsou amonné soli a dusičnany; některé modré řasy využívají též dusík ze vzduchu. Kromě toho řasy potřebují mnoho dalších prvků v nepatrném množství (stopové prvky), které se nacházejí v dostatečném množství v podobě prachu a v usazeninách na budovách. Základní rozdíl v nárocích na výživu hub a řas spočívá v tom, že houby potřebují uhlík v podobě organic-

kých sloučenin (škrob, cukr, celulóza), zatímco řasy mohou přijímat tuto hlavní složku své stavby ze vzduchu. Z toho plyne, že proti řasovému porostu je třeba bojovat omezováním vody. [3]

2.2 Podmínky pro růst řas na stavebním povrchu

Vzdušné řasy jsou tedy extrémně nenáročnými organismy, jež k růstu vyžadují pouze světlo, dostatečnou vlhkost a malé množství živin. K vytvoření porostu tedy stačí splnění tří podmínek: samotná přítomnost řas, dostatečné množství vlhkosti při vhodné teplotě a vhodný podklad – zdroj živin. Mikroskopické řasy se mohou šířit vzduchem – větrem, proto se vyskytují takřka všude. Složení podkladu je významným činitelem při určení druhu porostu; řasová flóra kmenů stromů se liší od flóry na minerálních stavebních materiálech. Porost na stromě svědčí o velmi vysoké vlhkosti materiálu na povrchu. [3]

Světla a nutných živin mají přitom na vnějším povrchu staveb dostatek téměř kdekoli (řasy se spokojí s živinami obsaženými v usazeném prachu a rozpuštěnými v dešťové vodě), takže jejich růst může limitovat pouze přítomnost a množství kapalné vody. I když většina na vzduchu žijících řas dobře snáší opakované vyschnutí, přítomnost vlhkosti musí působit vždy nějaký čas, aby mohl proběhnout jejich vegetační cyklus a řasy mohly růst. Za příznivých podmínek prostředí tvoří řasy na povrchu zelené povlaky různé tloušťky. Nejčastější barvou je špinavě zelená (chlorofyl), ale někdy může být cihlově rudá (barvivo karoten) a v suchých místech špinavě šedá až černá (odumřelé řasy ztrácejí fotosyntetické barvivo). [4]

Ke svému růstu mají řasy ve většině případů světla dostatek, naopak někdy může nadbytek světla působit destruktivně proti řasám – silné UV záření může vést k poškození a zničení buněk.

Velmi důležitý faktor pro výskyt řas je pH povrchu. Nesnášejí pH vyšší jako 12; jakmile však dojde vlivem vzdušné karbonátce ke snížení pH pod hodnotu 9, je nástup řas na povrchu velmi pravděpodobný. Zelené řasy se vyskytují na zestárlých vlhkých omítkách s pH okolo sedmi, zatímco na alkalických površích rosou spíše sinice. [9]

Řasy rovněž dobře snáší teplotní výkyvy (0-85 °C). Specifické typy řas na fasádách si v nouzi vystačí pouze se z kondenzovanou vzdušnou vlhkostí, růst řas je proto patrný především na jaře a v zimě. [9]

Živé i odumřelé řasy mohou případně sloužit jako výživa pro další typy mikrobů (bakterie, kvasinky, prvoci, plísňe) a usnadňují tak nástup větších organismů jako jsou lišejníky a mechy. [9]



Obr 2.1: Ilustrační foto, mírně zvětšený detail silně napadeného povrchu zateplovacího systému. Původní zelený porost řas postupně překrývají lišejníky různých druhů, velikostí a barev. Převzato z [4].

3 PROBLEMATIKA VÝSKYTU ŘAS NA POVRCHU KONTAKTNÍHO ZATEPLOVACÍHO SYSTÉMU

Co se týče počtu napadených fasád, odhaduje se, že napadení řasami postihuje asi tři až čtyři procenta zateplených fasád. Tak nízkou četnost výskytu řas se daří udržet jen díky přidávání biocidů do materiálů povrchových vrstev [4]. Problémem ovšem je, že časem dochází ke ztrátě účinnosti biocidních látek a následnému nástupu řas na povrch fasády. Přesto biocidy zůstávají jednou z mála zbraní alespoň částečně potlačující problém řas. Užití biocidů je rovněž problém z hlediska nešetrnosti k životnímu prostředí. I toto je důvod, proč má smysl se zabývat jinými možnostmi a hledáním nových směrů při boji proti invazi řas na povrchu stavebních konstrukcí.

3.1 Biokorozní projevy pozorované na povrchových vrstvách ETICS

Omítky a nátěry povrchových vrstev ETICS jsou v převážné míře na bázi polymerních organických či organokřemičitanových pojiv, případně jejich kombinací s pojivy minerálními (vápno, cement). Odolnost těchto omítek vůči působení vlhkosti a nízkým koncentracím slabých kyselin pocházejících z živých i rozkládajících se řas je daleko nižší než u čistě minerálních omítek. Zatím nemáme informace o tom, že by přítomnost řasového napadení byla provázána biokorozními projevy způsobující degradaci povrchových vrstev. Řasy tedy materiál povrchu ETICS výrazně nepoškozují; přinejmenším jej nenarušují s takovou intenzitou, která by převyšovala přirozené zvětvávání vlivem povětrnosti a stárnutí. [4]

Degradační působení řas na povrchu zateplených fasád tak spočívá hlavně v silném estetickém znehodnocení vzhledu objektu. [4]

3.2 Podstata nočního orosování povrchu zateplených fasád

Fyzikální jevy probíhají na povrchu zateplení a umožňující růst řas byly už dostatečně teoreticky objasněny. Příčinou je již zmiňované noční podchlazování svrchních vrstev až na teplotu rosného bodu okolního vzduchu a následná kondenzace vzdušné vlhkosti na povrchu. Je to stejný princip, jakým na povrchu listů rostlin nebo na kapotě automobilu kondenzuje za jasných nocí voda, která je ráno viditelná v podobě rosy [4].

Základní podstata tohoto jevu je jednoduchá. Všechna reálná tělesa s nenulovou teplotou stavební povrchy nevyjímaje, vyzařují elektromagnetické záření. Toto záření bývá v praxi označováno jako tepelné záření těles – sálání. S tímto zářením odchází z tělesa teplo, což se projeví ochlazením tělesa. Povrch Země tak vyzařuje teplo do vesmíru. Za jasných dní je přes den tepelné záření zemského povrchu „předstiženo“ Sluncem, a tak namísto ochlazování vlivem slunečního záření dochází naopak k ohřívání povrchu Země. V noci však sluneční záření na zemský povrch nedopadá a při jasné obloze se vnější povrchy vlivem vlastního vyzařování ochlazují. Aby byla zachována termodynamická rovnováha, musí být teplo v noci vyzářené přibližně stejné, jako teplo povrchu ve dne pohlcené. Za oblačných dní je množství povrchem vyzařovaného tepla daleko menší, neboť voda obsažená v mracích činí atmosféru neprostupnější pro infračervené záření. [4]

3.2.1 Vliv orientace fasád a dalších faktorů

Vlhkost materiálu nebo povrchu je na stinných místech vyšší než na osluněných. Proto se na fasádách budov orientovaných na sever dobře daří řasovým porostům. Ne každá severní strana fasády musí být nutně napadena řasami. Zpravidla je to způsobeno i dalšími vlivy, jako je umístění stavby v oblasti s častým výskytem mlh, porosty keřů u objektů, blízkost lesa, potoku a jiných zdrojů vlhkosti. Dlouholetým sledováním různých nátěrových systémů se ukázalo, že nezáleží v takové míře na druhu nátěru či omítky z hlediska četnosti napadení řasovým porostem. Rozhodující je (ne)přítomnost vody. Naším úkolem je tedy v první řadě odstranit vlhkost z povrchu stavebních konstrukcí. [2]



Obr. 3.1: Vlevo je zachycena fasáda bytového domu orientovaného na jih. Fasádní konstrukce je vytvořena ze zdiva, jež bylo později v rámci tepelné technické sanace doplněno kontaktním zateplovacím systémem. Fasádní plocha je bez řasového porostu. Na pravé straně je severně orientovaná fasáda budovy. Zatímco plochy stěn severně orientované fasády bez oken jsou napadeny rozsáhlým řasovým porostem, ve středním svislém pruhu s okny je porost spíše nepatrný. To se dá vysvětlit tím, že okenní parapety chrání plochy stěn pod sebou před deštěm. Zdroj [2]

3.2.2 Příklad 1 – případ prošetřovaný institutem EMPA

Předchozí obecné poznatky o výskytu řas na stavebních površích budu nyní dokumentovat příkladem řasami napadené budovy, kterou dostal k prošetření EMPA, švýcarský výzkumný institut pro vývoj materiálů a technologií.

Byla podána objednávka na zjištění příčiny tvorby řas na severně orientované fasádě nemovitosti. Situace stavby je zobrazena na obr. 3.2 vlevo. Okolí této fasády tvoří necelých deset metrů vzdálený les a zmínit v této souvislosti je třeba i potok protékající přibližně padesát metrů od fasádní plochy. Postižená stěna je tvořena omítnutým vícevrstevným zdivem s tepelnou izolací tloušťky 70 mm. Z obrázku vidíme, že řasový povlak je nerovno-

měrný, podobně jako na obr. 3.1 je střední pás s okny téměř bez napadení. Rovněž obnažená část vybetonovaného sklepního podlaží není postižena [2].

K objasnění tohoto stavu bylo provedeno měření teploty povrchu plochy pomocí termoměrů i termovizní kamery za jednoho oblačného listopadového dne. Teploty venkovního vzduchu byla 5,1 °C. Rozložení teplot na povrchu bylo následující: Boční fasádní pruhy bez oken vykazovaly teplotu nejnižší – 5,3 °C. Povrch v oblasti oken byl s teplotou 5,5 °C o něco teplejší. Nejteplejší byl povrch sklepního podlaží – 7,7 °C, kde se nachází pracovní vytápěná na teplotu 25 °C. Měření teploty tedy potvrdila, že řasy se vyskytovaly jen na nejstudenějších oblastech fasády. Termovizní snímek napadené stěny je na obr. 3.2 vpravo.



Obr. 3.2: Vlevo fotografie zobrazující stav prošetřované budovy, uprostřed vidíme část severně orientované fasády a vpravo termovizní snímek daného výseku fasády zobrazující rozložení teplot na napadeném povrchu, zdroj [2].

Pokud se pozorně podíváme na obrázek napadeného místa, pozorujeme v povlaku řas rastrovitě prokreslení světlejšími oblastmi svislých a vodorovných prímek. Odpověď najdeme opět na termovizním snímku, který zobrazuje místa styčných a ložných spár zdiva nažloutlou barvou v jinak zeleně zobrazeném poli. V místě spár vyplněných maltou je totiž teplota povrchu o 0,1 až 0,2 °C vyšší než na ploše cihel. Příčinou je téměř dvojnásobná tepelná vodivost malty ve srovnání s cihlami. Příčinou dalších světlejších kruhových skvrn jsou kovové kotvy vícevrstvého zdiva. Tyto způsobují lokální tepelné mosty s teplotou na povrchu o 0,2 – 0,9 °C vyšší než okolní teploty.

Z tohoto konkrétního případu vyplývá, že několik desetin stupně může rozhodnout, zda na nějakém povrchu budou nebo nebudou růst řasy. Při jen nepatrně nižší teplotě povrchu již vlhkost nevysychá dostatečně rychle, takže voda potřebná pro řasy je zaručena. Vysvětluje to i velkou náchylnost hlavně moderních obvodových konstrukcí k výskytu řas. Čím lepší je tepelně izolační schopnost, tím chladnější je povrch fasády během topné sezóny.

3.2.3 Příklad 2 – případová studie

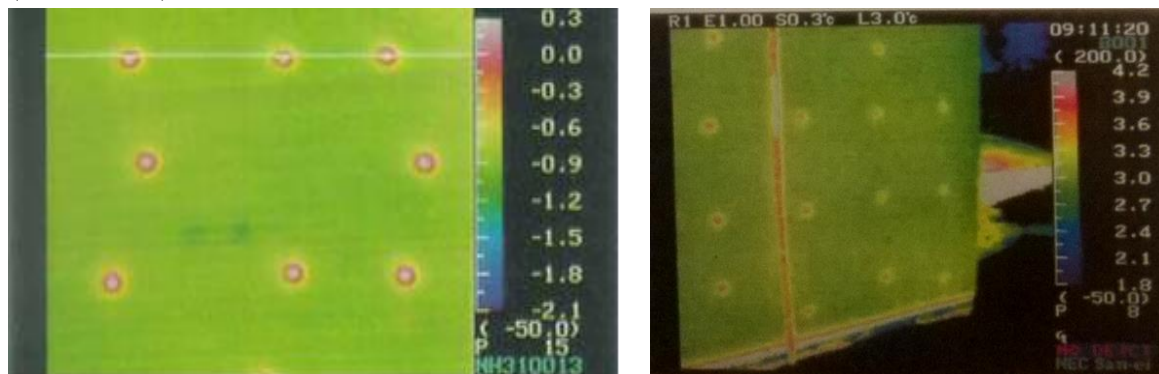
Jako druhý příklad napadení budovy řasami popíší podrobně situaci (uvedeno v [2]) svou podstatou podobného problému jako v prvním příkladu, avšak s některými odlišnostmi.

Prošetřovaná budova se nachází v blízkosti Curychu v nadmořské výšce asi 400 metrů nad mořem. Region je v období zimních tlakových výší často i několik dní zahalen v mlze. Budova stojí na konci vesnice obklopená zemědělskými pozemky. Fasády jsou orientovány na severozápad, jihovýchod, severovýchod a jihozápad. Porostem jsou zasažené fasády severovýchodní a severozápadní, přičemž obě jsou vystaveny volnému prostoru hraničící zemědělské zóny. Jde o vícegenerační čtyřpodlažní rodinný dům postavený v roce 1973, jehož venkovní stěny byly zatepleny polystyrenovými deskami o tloušťce 40 mm. Hodnota součinitele tepelné vodivosti činila $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tato konstrukce zůstala bez mikrobiologického porostu. O dvacet let později byla stavba podrobena celkové renovaci a to především z důvodu trhlin na povrchu zateplovacího systému. Při tom byla hodnota prostupu tepla zlepšena na $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Původní izolační vrstva byla odstraněna a nahrazena 100 mm tlustými deskami z minerální vlny, které byly připevněny na podklad lepením a mechanickými kotvami. Omítkové souvrství je tvořeno základní vrstvou vyztuženou sklovláknitou tkaninou a vrchní silikátovou omítkou, bez použití biocidů, neboť na původní konstrukci se žádné problémy s porostem nevyskytovaly. Tři roky po rekonstrukci byly pozorovány první náznaky zelených povlaků. Další rok nato se napadení rozšířilo na značnou plochu fasád. Nápadné byly především světlé kruhové fleky bez porostu o průměru 40-50 mm v místech mechanických kotev, které kontrastovaly v jinak zelené ploše (obr. 3.3). [2]

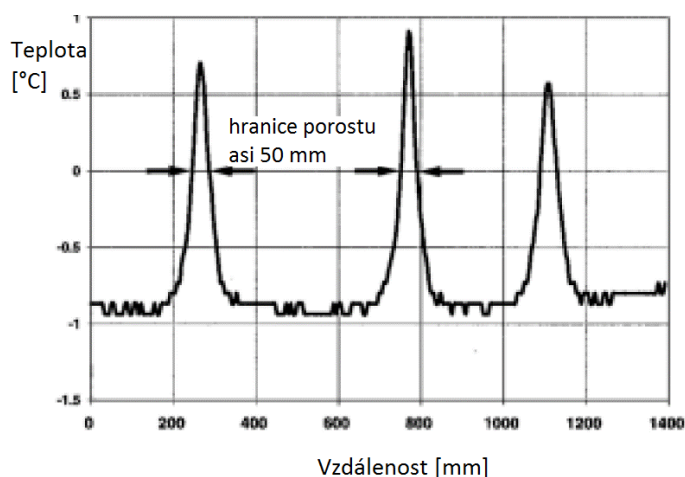


Obr. 3.3: Ilustrační foto; povrch zateplené fasády porostlé řasami, na kterém jsou v místech hmoždinek jasně patrné světlejší kruhové oblasti bez řas, zdroj obrázku - www.eipos.de.

V zimě 1997/98 při teplotách kolem bodu mrazu byly pořízeny infračervené snímky napadené fasády, který potvrdil shodu lokace hmoždinek a světlých skvrn bez napadení (viz obr. 3.4)



Obr. 3.4: Dva termovizní snímky zobrazující dotčenou stěnu. Na obrázku jsou díky kruhovým místům s vyšší teplotou, než je teplota okolní plochy, identifikovatelné polohy kotvících hmoždinek zateplovacího systému. Na obr. vlevo v horní části vidíme bílou linku protínající oblast tří hmoždinek. V následujícím obrázku bude v grafu zaneseny teploty povrchu fasády podél této linky, zdroj [2].



Obr. 3.5: Průběh teplot na povrchu fasády podél linie protínající oblast tří hmoždinek a orientační zjištění kritické teploty, po jejíž dosažení nastává kondenzace vzdušné vlhkosti, zdroj [2].

Opět se potvrdilo, že nižší teploty umožňují splnění jedné zásadní podmínky pro existenci řas. Autor případové studie se dále pokusil specifikovat teplotu, při které se začíná objevovat porost. Pro účely tohoto odhadu byla dle obr. 3.4 vlevo zanesena horizontální měřicí čára, která protíná oblasti tří hmoždinek. Následující obr. 3.5 ukazuje počítačem zjištěný průběh teplot podél této měřicí linie. Byly přeneseny průměry bezřasových zón mechanických kotev na křivku teplot, jak je vidět na obr. 3.5. Z grafu můžeme vyčíst pro všechny tři kotvy, že mezní hranice výskytu porostu leží kolem hodnoty 0 °C. Plochy s teplotou mezi ca. 0 °C a -0,7 °C jsou porostlé, naopak při teplotách nad bodem mrazu se řasy nevyskytují. Pro zamezení porostu by tedy postačovalo zvýšení teploty průměrně o 0,9 °C, což by bylo možné navýšením součinitelem prostupu tepla z 0,3 na 0,75 W/m²K. Zhoršování tepelně izolačních parametrů stěny však zcela jistě nepatří mezi možná řešení případajících v úvahu ohledně odstranění problémů s řasovým porostem.

Sanace

Sanace rodinného domu následovala v roce 1998. Fasáda byla vyčištěna vysokotlakým vodním paprskem a po dostatečném vyschnutí byla ošetřena biocidní vrstvou proti růstu řas a hub. Poté byl nanesen vrchní nátěr tvořený silikonovou barvou obsahující biocid. [2]

Stanovisko

Pro prošetřovanou stavbu bylo zjištěno splnění předpokladů pro existenci porostu, pokud U -hodnota klesne pod úroveň 0,7-0,8 W/m²K. Toto je specifická hraniční hodnota pro danou stavbu, na kterou má vliv i nepříznivé umístění stavby v otevřeném prostoru s často se vyskytující mlhou. Dá se očekávat, že v jiných, příznivějších podmínkách, např. v chráněné městské zástavbě, bude tato mezní hodnota nižší. Pro exaktnější vyčíslení problému však chyběla některá data ohledně ztrát sáláním. Dle empirických pozorování se však dá vyslovit obecný závěr, že při dnešních běžných tloušťkách vnější tepelně izolační vrstvy 100 mm a více existuje nebezpečí mikrobiálního porostu a jako jediný prostředek ochrany proti tomuto jevu prozatím zbývá nasazení biocidů – algicidů a herbicidů do omítkových vrstev. [2]

Nízký prostup tepla a nízká tepelná akumulací kapacita tenké omítkové vrstvy mohou však vést během topné sezony za jasných nocí k nočnímu podchlazování. To má za

následek orosování případně tvorbu ledu na povrchu. Tento zdroj vlhkosti umožňuje především na severně orientovaných stranách podmínky pro řasy a houby.

Na závěr autor případové studie konstatuje, že i přes nový druh problémů, které sebou přineslo plošné rozšíření kontaktních zateplovacích systémů, představují tyto ověřenou sestavu zajišťující výbornou tepelnou ochranu a jeho používání je u novostaveb i při tepelně technických sanacích smysluplné a neoddiskutovatelné.

4 ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY RŮSTU ŘAS A SINIC Z MATERIÁLOVÉHO HLEDISKA – SOUČASNÉ TRENDY A TENDENCE

Klíčovou otázkou je, jak řasovému porostu na površích ETICSu předcházet nebo minimálně jeho nástup časově oddálit. Neboť na přírodních podmínkách, kterým jsou postižené stavby vystaveny, se nic změnit nedá a konstrukční opatření (např. přesahy střech) mají jen omezenou účinnost, zbývá zaměřit svou pozornost na samotný materiál fasádního souvrství. Nejlepším způsobem by bylo přirozeně odstranit samotnou příčinu problému – zabránit kondenzaci vlhkosti na povrchu, např. snížením míry tepelného vyzařování materiálů – tedy snížením jejich spektrální emisivity. Nicméně na tomto poli je teprve zkoumáno a zatím zřejmě nebylo dosaženo takových žádoucích výsledků, které by umožňovaly úspěšné převedení do praxe. Proto je dnes problematika výskytu řas dnes řešena v převážné většině případů tou méně vhodnou variantou – přidáváním různých přídatných biocidních (algicidních, herbicidních) látek do fasádních materiálů. Vzhledem k dnešní oprávněné orientaci na ochranu životního prostředí a udržitelnou výstavbu hledají výrobci jiné šetrnější metody, jak problémům s řasami a sinicemi čelit. Někteří přicházejí s nově vyvinutými systémy, kterými se snaží bojovat proti řasovému porostu a jinému špinění povrchu fasád. Tyto jsou založeny na fyzikálních principech, jde např. o hydrofobizaci, dosažení speciální mikrostruktury apod. Některé z nich jsou nastíněny v dalším textu.

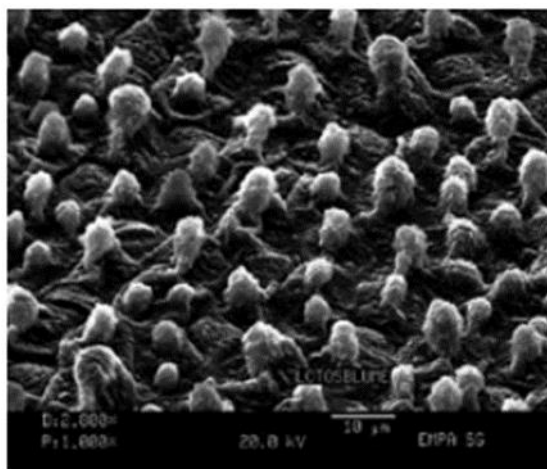
4.1 Alternativní cesty v boji proti sinicím a řasám

Tvorbě řas je v dnešní době zabraňováno anebo přinejmenším je jejich nástup oddalován v první řadě přídatkem biocidů.

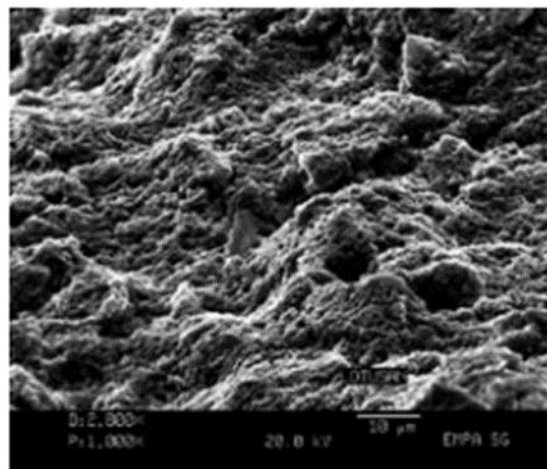
Bohužel dnes neexistuje biocid, který by pokryl celou škálu v úvahu připadajících mikroorganismů a zároveň nebyl problematický z hlediska šetrnosti k životnímu prostředí, toxicity, či možného zbarvení. V praxi jsou proto nasazovány kombinace různých účinných látek, které jsou určeny pro daný charakter prostředí. Přesto nemohou být vyloučeny u silně alkalických produktů jisté mezery v účinnosti. Na základě nezbytné rozpustnosti ve vodě je však síla biocidů dříve nebo později vyčerpána a tím dochází ke ztrátě ochranné funkce proti řasám. Když k tomu připočteme často zmiňovanou ekologickou závadnost biocidů, je jasné, že biocidy ve své nynější podobě nejsou a nebudou do budoucna uspokojivým řešením problémů s řasami.

Ze strany výrobců je tedy vyvíjena snaha o nalezení nových cest. Jeden velký švýcarský výrobce například na trh uvedl produkt, který díky „lotosovému efektu“ měl bránit nejen růstu řas a fasád, nýbrž také měl zabraňovat špinění fasády. Myšlenka byla taková, že díky speciální mikrostruktuře a extrémní hydrofobnosti budou mikroorganismy a špína smývány každým deštěm, čímž fasáda zůstane trvale čistá. Avšak snímky rastrovacího elektronového mikroskopu ukázaly, že mikrostruktura této barvy s lotosovým efektem neodpovídá typické mikrostruktuře lotosového květu a že se neliší příliš od běžných silikonových nebo silikátových barev (obr. 4.1 a 4.2). Nezávislá testování tohoto materiálu

ukázala, že po dvou letech vystavení povětrnosti se povrch opatřený touto barvou špiní dokonce více než běžné systémy. Také ve vztahu k porostu řasami nenabízí extrémně hydrofobní materiál od této firmy žádné výhody oproti standardním disperzním barvám. [10]

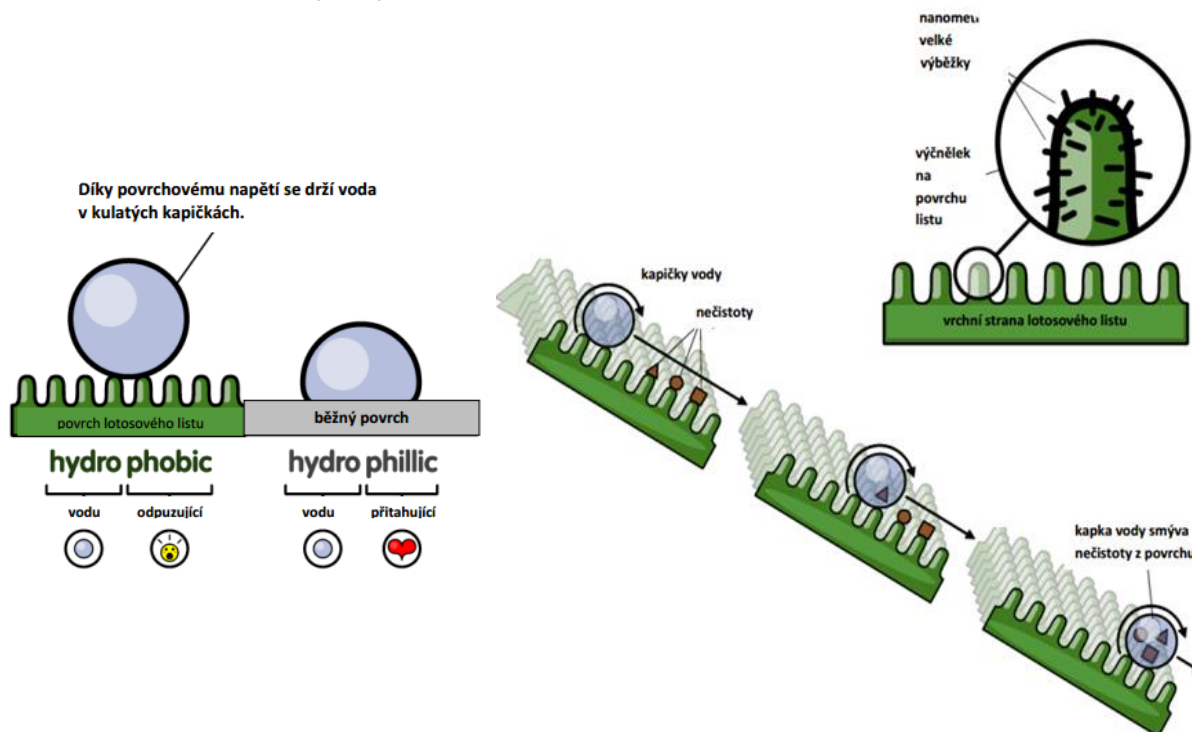


Obr. 4.1: Struktura povrchu lotosového listu, zdroj [10].



Obr. 4.2: Struktura barvy s uváděným lotosovým efektem, zdroj [10].

Avšak výše uvedený nezdar s neúspěšným pokusem o napodobení efektu lotosového květu však neznamená, že mu přestala být ze strany producentů stavebních hmot věnována pozornost. Naopak, jedinečné schopnosti této rostliny v podobě samočisticí funkce a nepromokavosti stále podněcují snahy o napodobení a využití těchto vlastností. Podstata funkce lotosového květu je objasněna na obrázku 4.3.



Obr. 4.3: Listy lotosového květu zůstávají čisté a suché i přesto, že jsou vystaveny neustálému působení prachu, špíny, dešti a jiným jevům. Tajemství je ukryto na povrchu listů – malé výčnělky, jednu miliardtinu vysoké, pokrývají povrch listu a kapky vody mezi ně nevniknou. Místo toho kapky vody narazí na nečistoty a drží tyto částice ve vzduchu a zabraňují špíně na povrchu přilnout. Převzato z webových stránek Masarykovy univerzity Brno (dostupné z https://is.muni.cz/th/222836/pedf_b)

Firma Sto je další, která představila systémové řešení fasád zateplovacích systémů, jež už v názvu nese proklamovanou funkcí lotosového efektu. Fasádní barvy Lotusan® umí dle výrobce samočinně, bez biocidního prostředku, redukovat nánosy špíny. Podobně jako u lotosového listu zde působí lotosový efekt – kombinace vody odpudivého (hydrofobního) povrchu a speciální mikrostruktury. Je to tzv. samočisticí účinek: Velké části nečistot není umožněno ulpění na povrchu, případně jsou při dalším dešti smyty. Riziko řasového nebo houbového napadení je tím dle výrobce výrazně sníženo. Princip funkce systému je zobrazen na následujících obrázcích.



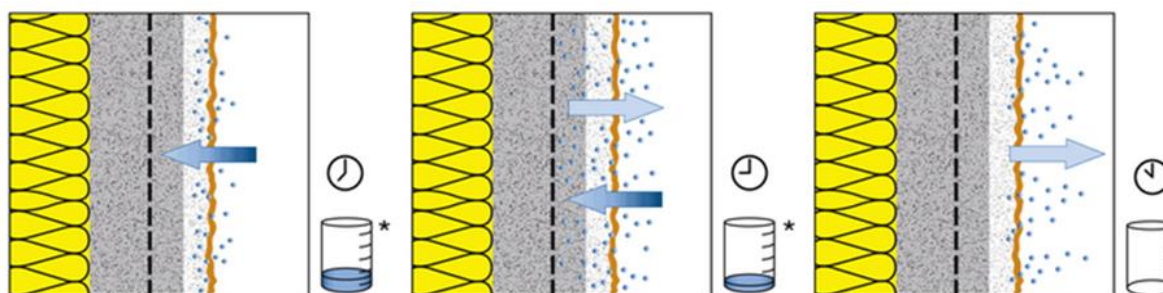
Obr. 4.4: Chování běžných fasádních vrstev – částice nečistot se zachycují na povrchu, a neboť povrch je jen málo hydrofobní, zůstávají tyto spolu s vodou na povrchu. Zdroj: Informační materiály firmy Sto



Obr. 4.5: Vlevo: Produkt Lotusan® má takovou strukturu povrchu, aby kontaktní plochy mezi nečistotami, kapkami vody a podkladem byly co nejvíce redukovány. Vpravo: Lotusan® je vysoce hydrofobizován – dešťové kapky se spojí do kulovitých perliček, které stékají a strhávají sebou ulpělé částice nečistot. Zdroj: Informační materiály firmy Sto

Další významný počín v oblasti bezbiocidní ochrany stavebních povrchů před napadením řasami a sinicemi provedla švýcarská firma Greutol se svými speciálními systémy ETICS s obchodními názvy PURAVision® Systeme KD / MD / HFD, kde je problém řas a sinic opět řešen ekologicky bez biocidů, na základě stavebně-fyzikálních principů. Princip systému je následující: Regulovaný příjem vody zabraňuje tvorbě povrchového orosení ve formě kapek. Vlhkost je přijímána přímo hydrofilní vrstvou silikátového nátěru a omítky, povrch zůstane téměř suchý. Vlhkost je v nátěru a podkladní omítky dočasně „uskladněna“. Následný transport vlhkosti kapilární vodivostí zpět k povrchu a vysoká schopnost difúze nátěru zaručují rychlé vyschnutí. Kromě toho poskytuje tato silnovrstvá omítky díky odpovídající materiálové masě zvýšenou schopnost tepelné kapacity a tím oddaluje dosažení

rosného bodu. K tomu redukuje silikátový nátěr tendenci ke špinění. Princip funkce je názorně zobrazen na následujícím obrázku.



Povrchová vlhkost je okamžitě absorbována hydrofobním nátěrem – je zabráněno tvorbě kapek, povrch zůstane suchý

Vlhkost je kontinuálně přijímána hydroaktivní omítkovou vrstvou, akumulována a opět transportována na povrch

Kapilární aktivita omítky a silikátová vysoce difúzně otevřená struktura nátěrové vrstvy zajišťují rychlé vyschnutí

Obr. 4.6: Schématický řez fasádními vrstvami systému PuraVision se zobrazením vlhkostního chování. Zdroj: pokladní materiály firmy Greutol

5 PŘENOS TEPLA RADIACÍ

Každý hmotný objekt s teplotou vyšší než absolutní termodynamická teplota vyzařuje elektromagnetické vlnění. Principem elektromagnetického vyzařování je tepelný pohyb vnitřních částic hmoty, které se stávají dipólovými zářiči, emitujícími elektromagnetické vlnění. Vlnová délka a intenzita záření závisí na teplotě a materiálové charakteristice materiálu. Sálání je popsáno několika fyzikálními vztahy.

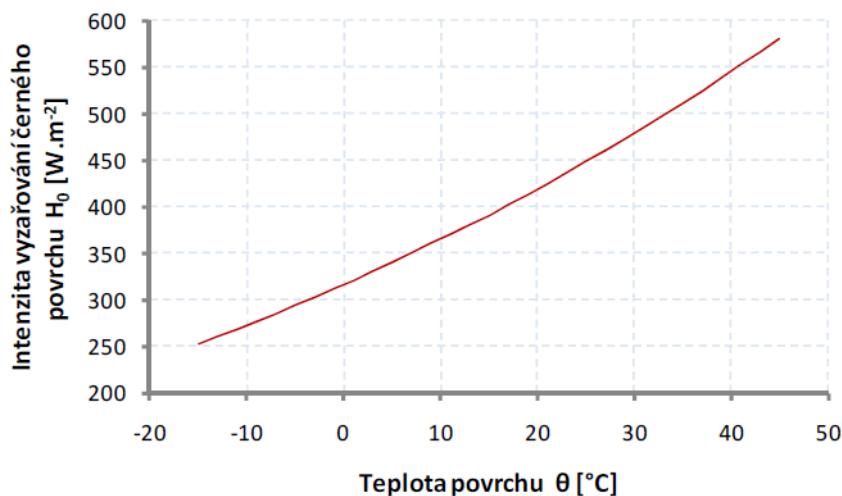
5.1 Vyzařovací zákony

5.1.1 Stephan – Boltzmannův zákon

Vztah pro vyjádření hustoty tepelného toku vyzářené povrchem tělesa určuje Stefanův-Boltzmannův zákon:

$$H = \varepsilon \cdot c_{\varepsilon} \cdot T^4 \quad (1)$$

Kde: H intenzita vyzařování povrchu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],
 ε emisivita povrchu tělesa [-],
 c_{ε} Stefanova-Boltzmannova konstanta [$c_{\varepsilon} \approx 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$]
 T termodynamická teplota tělesa [K].



Obr. 5.1: Průběh intenzity vyzařování H_0 povrchem černého lambertovského zářiče v závislosti na teplotě podle Stefanova - Boltzmannova zákona. Převzato z [4].

5.1.2 Planckův vyzařovací zákon

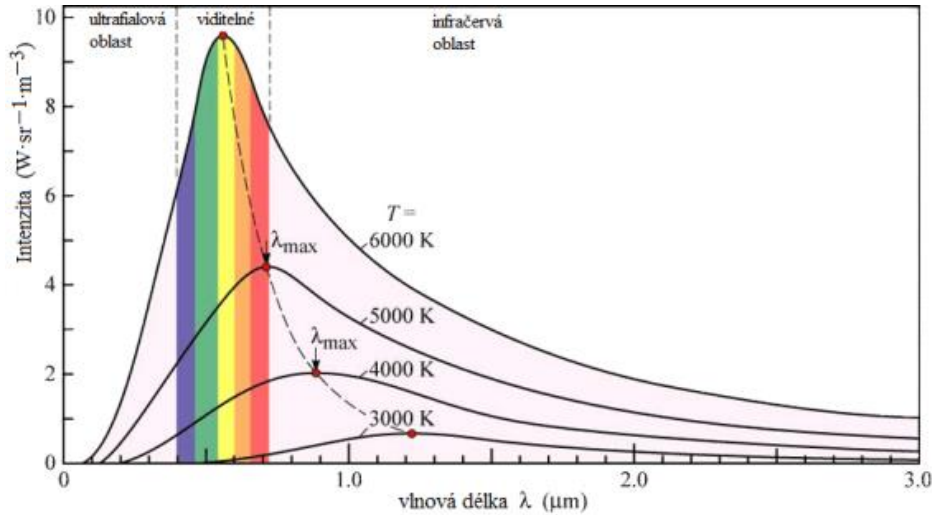
Spektrální rozložení vyzářené energie se popisuje pomocí Planckova vztahu pro spektrální rozložení vyzařování, který uvažuje dokonale černé těleso a lambertovský¹ povrch. Dochází k vyzařování do celého poloprostoru s emisivitou rovnou jedné.

Spektrální vyzařování $H_{\lambda 0}$ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{m}^{-1}$] dokonale černého lambertovského povrchu v závislosti na vlnové délce popisované Planckovým vztahem pro spektrální rozložení vyzařování černého povrchu:

¹ Poznámka: Zrcadlový, fyzikálně tzv. spekulární povrch, směřuje odražené záření pouze do směru odrazu, difuzní povrch, tzv. lambertovský, odráží záření dopadající v jakémkoli úhlu rovnoměrně do všech směrů.

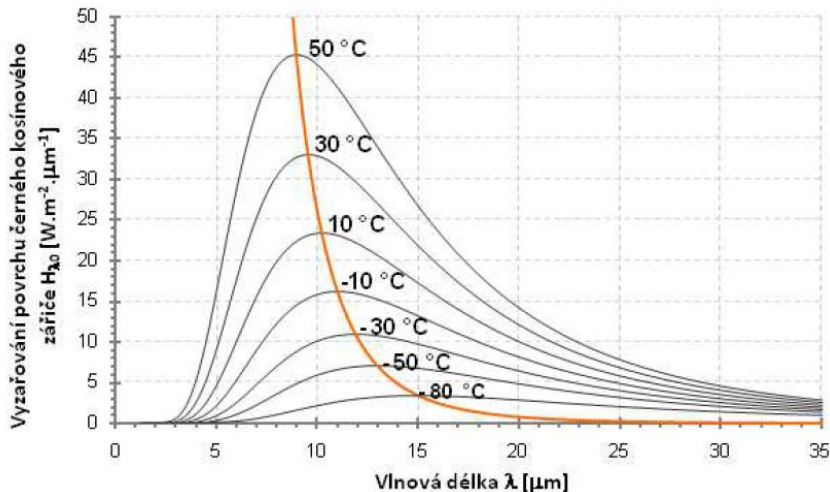
$$H_{\lambda 0} = \frac{dI_0}{d\lambda} = \frac{8\pi hc^2}{\lambda^5 \exp\left(\frac{hc}{k\lambda T} - 1\right)} \quad (2)$$

Kde: $H_{\lambda 0}$ spektrální vyzařování absolutně černého tělesa [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{m}^{-1}$],
 λ vlnová délka elektromagnetického záření [m],
 h Planckova konstanta = $6,62618\cdot 10^{-34}$ J.s,
 c rychlost světla ve vakuu = $299\,792\,458$ m.s $^{-1}$,
 k Boltzmannova konstanta = $1,38066\cdot 10^{-23}$ J.K $^{-1}$.



Obr. 5.2: Graf spektrálního vyzařování černého lambertovského povrchu do celého prostoru pro vysoké teploty. Převzato z [11].

Z grafů je patrné, že se vzrůstající teplotou se energie vyzařuje na kratších vlnových délkách. Například velmi rozžhavené těleso se jeví žluté a s klesající teplotou se posouvá do červeného zbarvení, dále tmavne, až se při teplotě asi $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ stane okem nepostřehnutelné, ačkoliv lze vyzařování pocítit jako žár. Sluneční záření s teplotou kolem $5\,500\text{ K}$ má svou maximální intenzitu sálání na vlnové délce 550 nm , tedy asi uprostřed viditelného spektra. Lidské oči se v evolučním procesu vyvinuly tak, aby co nejlépe využily dostupného zdroje světla. Lidské tělo s povrchovou teplotou $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ nejvíce vyzařuje na vlnové délce kolem $10\text{ }\mu\text{m}$.



Obr. 5.3: Graf spektrálního vyzařování černého lambertovského povrchu do celého prostoru pro nízké teploty. Převzato z [4].

5.1.3 Kirchhoffův zákon

Vztah emisivity a reflektance popsal G. Kirchhoff ve své práci z roku 1860 [12]. Elektromagnetické vlnění, které dopadá na pevnou látku, může být v závislosti na své vlnové délce buďto odraženo, s podílem ρ , nebo pohlceno, s podílem α , nebo transmitováno, s podílem τ . Podle zákona zachování energie musí platit

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (3)$$

U většiny běžných materiálů je složka průchodu vlnění na vlnových délkách infračerveného záření rovna nule. Materiály jsou pro tepelné záření „neprůhledné“ a dostáváme:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (4)$$

Odsud platí:

$$\rho - 1 = \alpha; \alpha - 1 = \rho$$

Z Kirchhoffova zákona vyplývá, že absorbance α , tedy míra pohltivosti dopadajícího záření, je rovna úrovni vyzařování energie z povrchu tělesa, tedy již dříve zmíněné emisivitě ε . Dále platí, že emisivita je doplňkem reflektance, tedy míry odrazivosti povrchu a naopak. Je třeba uvést, že tyto vztahy platí pro každou vlnovou délku zvlášť, tedy:

$$\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda \quad (5)$$

V praxi se výše popsaná zákonitost projeví tak, že povrch s nízkou emisivitou, například leštěný hliník, se nejenom radiačně pomaleji ohřívá, ale také pomaleji chladne.

5.2 Emisivita

Pro zohlednění schopnosti jednotlivých materiálů vyzařovat je zavedena materiálová vlastnost emisivita ε [-], která vyjadřuje poměr mezi vyzařováním reálného povrchu a teoretického maxima vyzařování. Emisivita reálného povrchu se zpravidla mění s vlnovou délkou, je tedy zaveden pojem spektrální emisivity ε_λ [-], který popisuje emisivitu pro danou vlnovou délku. Spektrální vyzařování reálného tělesa H_λ [W.m⁻².m⁻¹] je pak dáno vztahem:

$$H_\lambda = \frac{dH}{d\lambda} = \varepsilon_\lambda \cdot H_{\lambda 0} \quad (6)$$

V závislosti na spektrální emisivitě materiálu byly zavedeny fyzikální pojmy:

- absolutně černé těleso – jedná se o ideální fyzikální vlastnost s $\varepsilon = 1$,
- ideálně šedé těleso – materiál, který má emisivitu $0 < \varepsilon < 1$ a vykazuje identickou emisivitu v širokém spektru vlnových délek. V praxi se tak chovají například lesklé kovy,
- šedé těleso – materiál, který má emisivitu $0 < \varepsilon < 1$ a jeho spektrální emisivita se mírně mění v závislosti na vlnové délce,
- dokonale bílé těleso – jedná se o fyzikální vlastnost s $\varepsilon = 0$,
- selektivní absorbér/zářič – je povrch, který vykazuje výrazně odlišnou emisivitu pro různé vlnové délky.

5.3 Zářivé tepelné toky na povrchu tělesa

Zářením uniká z těles energie což se v praxi projeví snížením teploty tělesa, pokud únik tepla není nijak kompenzován. Tělesa však zpravidla nevyzařují do prázdného prostoru, ale vůči okolním povrchům navzájem a mohou tak elektromagnetické záření přicházející z jiných povrchů částečně pohlcovat. Pokud je těleso zcela obklopeno předměty s přibližně stejnou teplotou, je výsledný tepelný tok mezi nimi zanedbatelně malý. Pokud však vůči sobě sálají tělesa s teplotami výrazně odlišnými (např. vnější povrchy vůči noční obloze), dochází vlivem rozdílů vzájemných zářivých toků ke vzniku tepelného toku mezi tělesy.

Tepelné záření může být částečně pohlcováno okolním prostředím, může dopadat na okolní tělesa, částečně se od nich odrazet a rozptýlovat s v okolním prostoru. Pohltivá schopnost různých látek není stejná. Např. absolutně suchý vzduch je pro tepelné záření v oblasti vlnových délek 7 až 13 μm velmi dobře propustný, ale vzduch obsahující vodní páru je částečně pohlcuje. Většina pevných látek a kapalin sice poměrně výrazně pohlcuje tepelné záření, avšak mohou mít i značnou schopnost toto záření odrazet. Mezi tělesy s různou teplotou dochází k výměně tepla sáláním, jsou-li tato tělesa oddělena prostředím propustným pro záření. Intenzita výměny tepla sáláním je pro různá tělesa různá, závisí na jejich teplotě, emisivitě, pohltivosti a odrazivosti pro dané záření, na jejich tvaru, rozměru, vzdálenosti.

Celkový zářivý tepelný tok

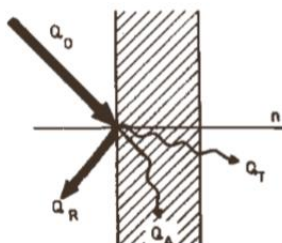
$$\Phi_s = \Phi_\alpha + \Phi_\rho + \Phi_\tau \quad (7)$$

Kde: Φ_α část tepelného toku pohlcená tělesem [W]
 Φ_ρ část tepelného toku odražená tělesem [W]
 Φ_τ část tepelného toku propuštěná tělesem [W]

Jinak lze také psát (již uvedený vztah (3))

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (8)$$

Kde: α koeficient pohltivosti (absorpce) $\alpha = \Phi_\alpha / \Phi_s$
 ρ koeficient odrazivosti (reflexe) $\rho = \Phi_\rho / \Phi_s$
 τ koeficient propustnosti (transmise) $\tau = \Phi_\tau / \Phi_s$



Obr. 5.4: Schéma rozdělení sálavé energie dopadající na povrch tělesa do složky pohltivé Q_A , propustné Q_T a odražené Q_R ; [7].

Povrchy stavebních konstrukcí lze většinou z makroskopického pohledu považovat za neprůteplivé tj. za zcela nepropustné pro tepelné záření; záření se pohltí v tenké vrstvě při povrchu o tloušťce řádově v desetinách milimetru. U pórovitých látek je nutno tuto vrstvu uvažovat větší, protože povrchy těchto látek nelze při makroskopickém popisu jednoznačně vymežit hladkou plochou.

6 TEPELNÉ A VLHKOSTNÍ DĚJE NA POVRCHU SYSTÉMU ETICS

6.1 Přenos tepla zářením mezi povrchem konstrukce a atmosférou

Směrové tepelné záření z oblohy roste (propustnost atmosféry klesá) s odklonem od svislice. Zemská atmosféra je totiž směrem strmě vzhůru za bezoblačného počasí zčásti propustná (nejvíce je propustná v rozmezí vlnových délek 7 – 14 μm). Od pevných či kapalných těles se ale bezoblačná atmosféra velmi liší tím, že má nulovou odrazivost. [4]

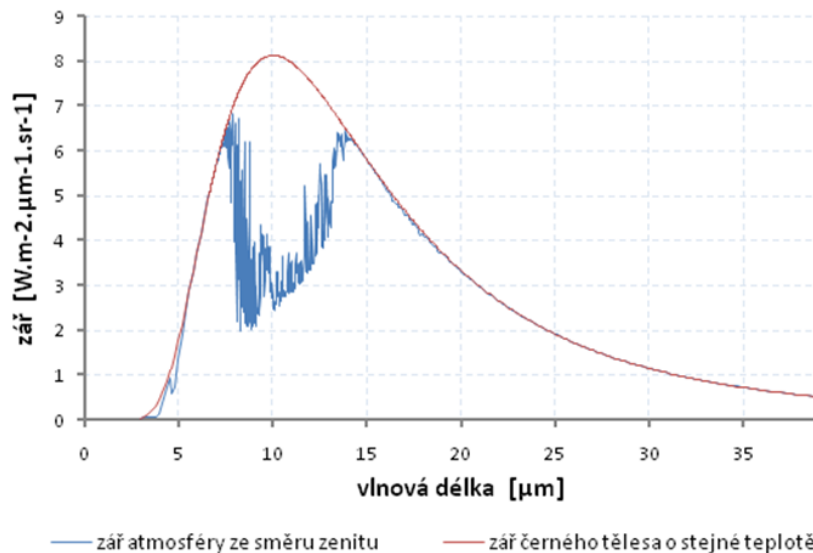
U atmosféry, bereme-li ji v plné tloušťce, už ale těžko lze mluvit o její emisivitě ve smyslu Stephan-Boltzmannova zákona, protože nelze uvažovat jednu teplotu, která by ji charakterizovala (teplota ovzduší je proměnlivá s výškou). Dojde-li k vytvoření oblačnosti nad krajinou, která začátkem noci pod jasným nebem vystydla, ochlazování se zastaví a dokonce se může začít přízemní vzduch mírně oteplovat. [4]

Hustotu tepelného toku z povrchem pohlceného záření dopadajícího z atmosféry na vodorovně orientovanou rovinnou plochu dostaneme integrací spektrálního směrového záření oblohy $L_{A\lambda}(\zeta, \alpha, \lambda)$ přes celý poloprostorový úhel, viditelný z roviny povrchu, a všechny vlnové délky, podle vztahu

$$A - R_A = \int_{\alpha=0}^{2\pi} \int_{\zeta=0}^{\pi/2} \int_{\lambda=0}^{\infty} \varepsilon_{\nu\lambda}(\zeta, \alpha, \lambda) \cdot L_{A\lambda}(\zeta, \alpha, \lambda) \cdot \cos \zeta \cdot \sin \zeta \cdot d\lambda \cdot d\zeta \cdot d\alpha \quad (9)$$

Kde: $L_{A\lambda}$ spektrální směrová hustota zářivého tepelného toku z atmosféry k ploše povrchu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{sr}^{-1}$],
 $\varepsilon_{\nu\lambda}$ spektrální směrová emisivita povrchu na který dopadá záření atmosféry [-],
 ζ zenitový úhel [rad] (v případě vodorovně orientované plochy $\zeta = \nu$),
 α azimut horizontální úhel [rad],
 λ vlnová délka záření [m],
 ν úhel měřený od kolmice k povrchu [rad] (v případě vodorovně orientovaného povrchu $\nu = \zeta$).

Na obr. 6.1 je ukázána spektrální zář letní atmosféry přicházející ze zenitového směru v porovnání se zářím černého tělesa o stejné teplotě. V rozmezí vlnových délek 7 – 14 μm je dobře patrné atmosférické okno, kterým skrz atmosféru uniká ze zemského povrchu tepelné záření. Atmosférické okno pro vlnové délky 7 – 14 μm , které známe u jasné bezoblačné oblohy, u oblohy zcela zatažené mizí. Při obloze částečně pokryté oblaky je směrové záření přicházející z atmosféry anizotropní. [4]



Obr. 6.1: Spektrální zář letní vlhké atmosféry přicházející k povrchu ze směru zenitu, převzato z [4]

Pro snížení zářivých tepelných ztrát povrchu vůči jasné noční obloze by bylo možné s výhodou užít selektivních zářičů, jež mají sníženou emisivitu právě v rozmezí vlnových délek asi 7 – 14 μm odpovídajících oblasti tzv. atmosférického okna.

6.2 Tepelné toky mezi povrchem konstrukce a atmosférou

Celková tepelná bilance na vnějším neprůteplivém povrchu stavební konstrukce lze vyjádřit následující rovnicí

$$Q + K + H + V + P = 0 \quad (10)$$

Kde:

- Q hustota zářivého tepelného toku k povrchu (výsledná hodnoty bilance zářivých toků směřujících k a z povrchu) [$W \cdot m^{-2}$]
- K hustota tepelného toku vedením z vnitřku tělesa k povrchu [$W \cdot m^{-2}$]
- H hustota tepelného toku vedením z vnitřku tělesa k povrchu [$W \cdot m^{-2}$]
- V hustota tepelného toku z latentních tepel (skupenské přeměny vody) [$W \cdot m^{-2}$]
- P hustota toku tepla transportovaného s dešťovou vodou směrem k povrchu [$W \cdot m^{-2}$]

Vzhledem k tomu, že povrch je brán jako nekonečně tenká vrstva, nemůže se v něm žádné teplo akumulovat a výsledná bilance musí být rovna nule.

Složka bilance tepelných toků K [$W \cdot m^{-2}$] z rovnice ... by měla zahrnout všechny způsoby šíření tepla ve stavební konstrukci. Šíření tepla v porézních stavebních materiálech je úzce spjato s šířením vlhkosti a komplexní popis šíření tepla by tedy měl zahrnovat i šíření vlhkosti.

Výsledek bilance zářivých toků Q [$W \cdot m^{-2}$] lze pro vodorovně orientovanou plochu zapsat jako

$$Q = (G - R_G) + (A - R_A) - E \quad (11)$$

- Kde: G „globální“ záření slunce dopadající na danou plošku (suma přímého a difúzního slunečního záření) [$W \cdot m^{-2}$],

R_G	odražená složka slunečního záření [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],
A	k ploše směřující tepelné záření atmosféry [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],
R_A	odražená složka záření atmosféry [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],
E	tepelné záření daného povrchu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$].

6.2.1 Výsledek bilance nočních zářivých tepelných toků na povrchu stavební konstrukce

Výsledek bilance nočních zářivých tepelných toků Q_R (bez uvažování vlivu slunce) na povrchu konstrukce je součet všech na povrch dopadajících (kladných) a z povrchu vycházejících (záporných) dílčích zářivých tepelných toků, zjednodušeně vyjádřený jako

$$Q_R = \varepsilon \cdot (A + E - \sigma \cdot T_s^4) \quad (12)$$

Kde: T_s teplota daného povrchu stavební konstrukce [K].

6.3 Šíření tepla a vlhkosti v porézních látkách

Šíření tepla a vlhkosti v porézních látkách lze charakterizovat rovnicemi uvedenými v následující tabulce [4]:

Tab. 6.1: Přehled mechanismů šíření tepla a vlhkosti v pórovitých stavebních látkách, převzato z [4]

	Mechanismus	Řídící veličina	Rovnice
Šíření tepla	Vedení tepla	Teplota	$\dot{q} = -\lambda(u) \frac{d\vartheta}{dx}$
Šíření vodní páry	Difúze vodní páry	Parciální tlak vodní páry	$\dot{q}_d = -\frac{\delta_{air}}{\mu(u)} \frac{dp_d}{dx}$
	Efúze vodní páry	Parciální tlak vodní páry	
Šíření kapalných fází	Kapilární vedení	Kapilární tlak	$\dot{q}_{kap} = -\kappa(u) \frac{du}{dx}$

Při relativní vlhkosti vzduchu přes 95 % silně vzrůstá vlhkostně akumuláční schopnost pórovitých látek. Tady začíná oblast koexistence kapalných a kapilárních vlhkostí (často nazývaná nadhygroskopickou oblastí), a hygroskopické látky mohou vodu nabírat až do stavu volného nasycení vodou. Podmínka termodynamické rovnováhy vyjadřuje vztah mezi relativní vlhkostí vzduchu φ nad zakřiveným meniskem vodní hladiny a kapilárním tlakem p_k ve tvaru:

$$\varphi = \exp\left(-\frac{p_k}{\rho_w \cdot R_d \cdot T}\right) \quad (13)$$

Kde:	φ	relativní vlhkost vzduchu [-],
	ρ_w	objemová hmotnost vody [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
	ρ_k	kapilární tlak [Pa],
	R_d	plynová konstanta pro vodní páru $461,50 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,
	T	absolutní teplota [K].

Pokud se v okolí staviva poruší rovnováha, nastává přívod nebo odvod vlhkosti do okolí. Podle působícího účinku mohou nastoupit různé příčiny vlhkostního pohybu. Ve stavební fyzice se uplatňují většinou následující jevy šíření vlhkosti

$$\dot{q}_{\text{vlhko}} = \dot{q}_d + \dot{q}_{\text{kap}} + \dot{q}_{\text{konvekce}} \quad (14)$$

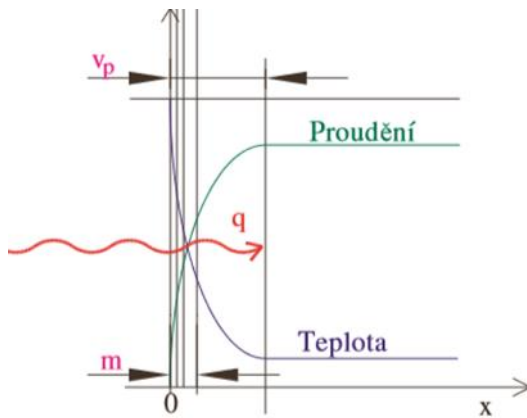
Kde:	\dot{q}_{vlhko}	hustota celkového vlhkostního toku [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$],
	\dot{q}_d	hustota difúzního toku vodní páry [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$],
	\dot{q}_{kap}	hustota toku kapaliny kapilárním vedením [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$],
	$\dot{q}_{\text{konvekce}}$	hustota toku vodní páry v důsledku konvekce vlhkého vzduchu [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$].

6.4 Šíření tepla prouděním

Prouděním se teplo šíří jen v kapalných a plynných látkách tak, že se částice látek pohybují a přitom přenášejí teplo. Přenášení tepla v pohybujícím se prostředí je složitější než v nepohyblivém prostředí. Lokální zahřátí nebo ochlazení vyvolává přemísťování částic, takže se vyrovnává teplota vzduchu nejen na úkor vodivosti, ale také na úkor přenášení tepla zahřátými nebo ochlazenými částicemi. To je přirozené – volné proudění tepla. Přirozený pohyb vzduchu při jeho lokálním zahřívání nebo ochlazování má ohraničenou rychlost, a proto je intenzita výměny tepla prouděním za předpokladu přirozeného toku poměrně malá. Na zvýšení intenzity výměny tepla prouděním je třeba použít umělý (mechanický) pohyb vzduchu pomocí např. ventilátorů. To je tzv. vynucené (umělé) proudění tepla. K velkému zvýšení intenzity výměny tepla dochází při vyšších rychlostech proudění vyvolaných např. větrem (vnější povrchy budov). Při velkých rychlostech je vliv přirozeného větrání zanedbatelný.

Existují dva typy proudění: laminární a turbulentní. Laminární proudění je charakterizováno rovnoběžným pohybem vzduchu ve směru proudu. Turbulentní proudění je charakterizované neuspořádaným chaotickým pohybem vzduchu.

Pokud proudí vzduch okolo povrchu tuhého tělesa, vytváří se tzv. oblast vnějšího proudění a oblast, ve které s v důsledku viskozity vzduchu mění rychlost proudu vzduchu spojitě od nulové hodnoty na povrchu tělesa prakticky až na rychlost vnějšího proudu (obr. 7.2) Tato oblast se nazývá mezní vrstvou; vzduch se v ní může pohybovat laminárně i turbulentně. V laminární vrstvě s šíří teplo vedením, v turbulentní je odpor proti přestupu tepla zanedbatelný. Přestup tepla znamená výměnu tepla mezi povrchem pevného tělesa a tekutým prostředím.



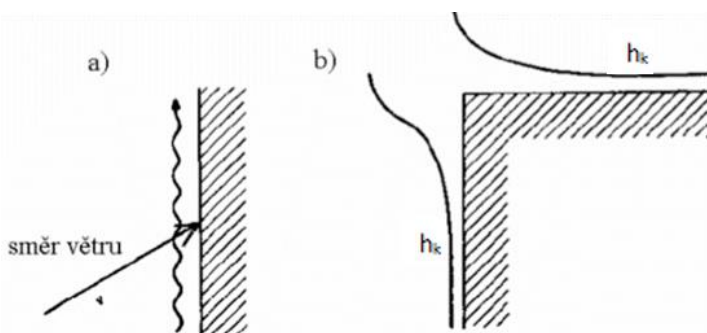
Obr 6.2: Průběh proudění vzduchu a teploty okolo povrchu tělesa při ohřívání vzduchu; m – mezní vrstva, v_p – oblast vnějšího proudění; Zdroj [7].

Ve většině stavebnětechnických výpočtů se pro výpočet přestupu tepla mezi povrchem a vzduchem používá jednoduchá Newtonova okrajová podmínka. Přestup tepla je dán výrazem:

$$q_k = h_k (\vartheta_s - \vartheta_{air}) \quad (15)$$

Kde: q_k hustota tepelného toku [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$],
 h_k součinitel přestupu tepla při proudění [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$],
 ϑ_s teplota povrchu [$^{\circ}\text{C}$],
 ϑ_{air} teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$].

Z experimentálních měření je zřejmé, že součinitel přestupu tepla prouděním není veličina stálá, ale závisí na řadě parametrů charakterizujících stav a pohyb vzduchu, tvar a rozměry tělesa apod. Na následujícím obrázku (obr. 7.3) je vidět, jak geometrie tělesa může výrazně ovlivnit hodnotu součinitele přestupu tepla.

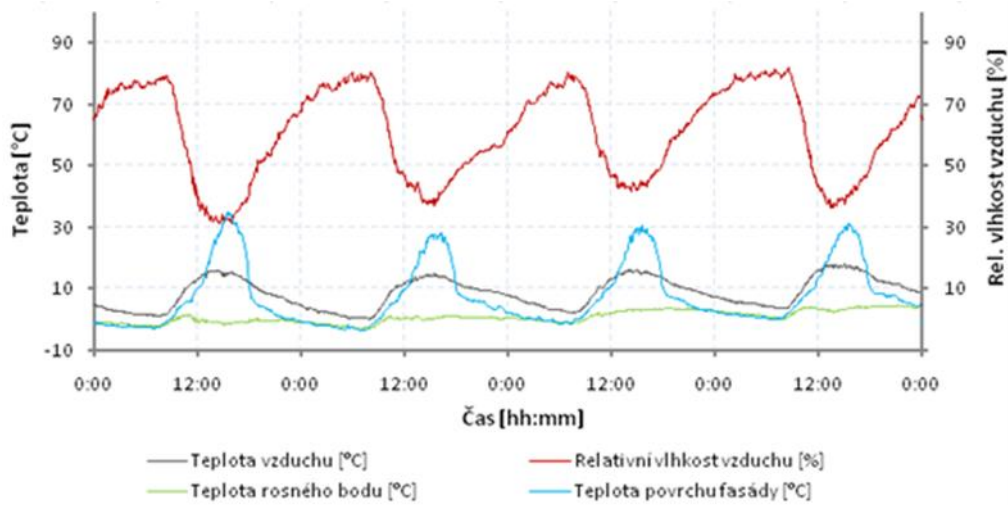


Obr. 6.3: Směr proudění vzduchu (a) na velkém plochém tělese (konstrukci) a závislost hodnoty součinitele přestupu tepla h_k na geometrii tělesa (b); zdroj [7].

6.5 Měření teploty povrchu zateplovacích systémů

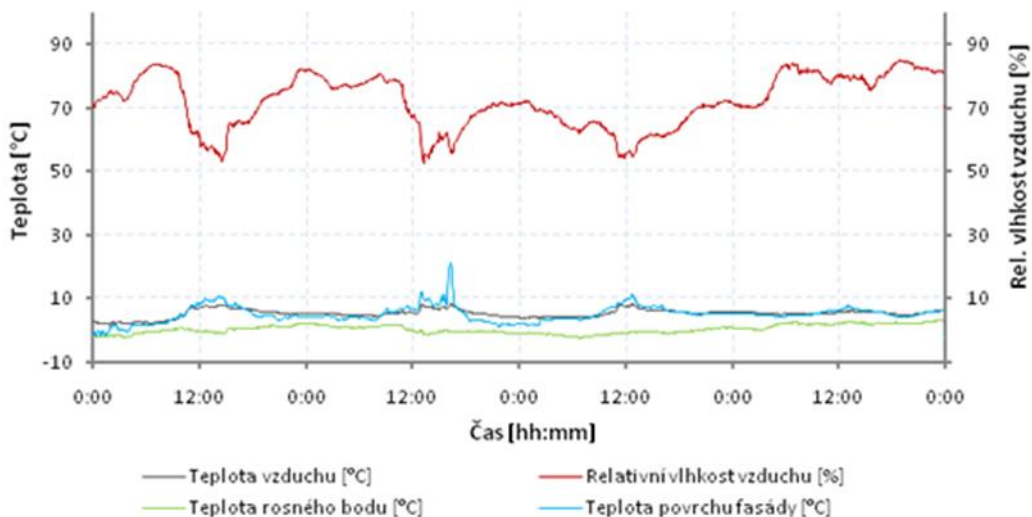
Pro prověření časového průběhu nočního podchlazování povrchu fasády byla v práci [4] provedena experimentální měření s cílem zaznamenat průběh teplot na povrchu zateplené fasády a dát je do souvislosti s teplotou a relativní vlhkostí okolního vzduchu. V následujících dvou grafech jsou zobrazeny výsledky dvou krátkodobých měření (čtyřdenních) na povrchu fasády jednoho brněnského zatepleného panelového domu, jež svým průběhem odráží klimatické podmínky, za kterých tato měření probíhala. Konkrétně zobrazují průběhy naměřených hodnot teploty povrchu fasády, teploty vnějšího vzduchu, relativní vlhkosti vnějšího vzduchu a dopočtené hodnoty teploty rosného bodu. V místech, kde

se modrá křivka teploty povrchu ztotožní se zelenou křivkou teploty rosného bodu, dochází ke kondenzaci vzdušné vlhkosti na povrchu fasády. Analýzou naměřených hodnot bylo zjištěno, že na dané fasádě dochází k povrchové kondenzaci vody pouze za jasného a polo-jasného počasí (obr. 6.4). [4]



Obr. 6.4: Graf zobrazující průběh měřených veličin v období s téměř zcela jasnou oblohou, měřeno spojitě ve čtyřech říjnových dnech roku 2007. Místa doteku tyrkysové a zelené křivky vymezují časová období, kdy docházelo ke kondenzaci vody na povrchu ETICS. Zdroj [4]

Při zatažené obloze k nočnímu podchlazování povrchu fasády pod teplotu vzduchu nedochází, a tím nenastávají ani podmínky pro kondenzaci vody na povrchu fasády, viz obr. 6.5.



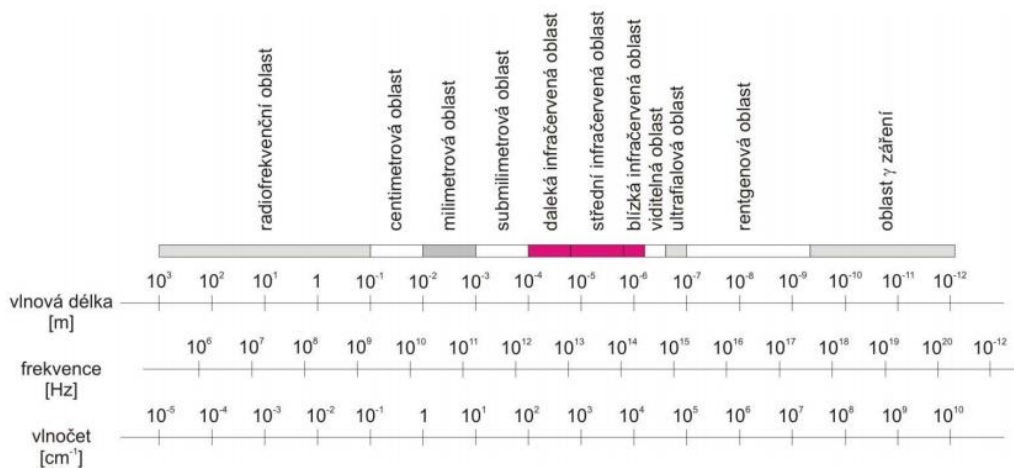
Obr. 6.5: Graf zobrazující průběh kontinuuálně měřených veličin ve čtyřdenním období se zataženou oblohou ke konci října roku 2007, ke kondenzaci zde nedochází. Zdroj [4]

7 INFRAČERVENÁ (IR) SPEKTROMETRIE PRO ÚČELY MĚŘENÍ OPTICKÝCH VLASTNOSTÍ

7.1 Infračervené záření jako součást elektromagnetického záření

Elektromagnetické záření je kombinací příčného postupného vlnění magnetického pole a elektrického pole neboli elektromagnetického pole. Jakýkoli elektrický náboj pohybující se s nenulovým zrychlením vyzařuje elektromagnetické vlnění. Toto vlnění lze vyjádřit vzorcem $E = h \cdot f$, kde h je Planckova konstanta ($h \approx 6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s) a f je frekvence příslušející dané vlně.

Z hlediska vlnových délek se elektromagnetické záření pohybuje od rádiových vln s největší vlnovou délkou a nejnižší frekvencí až po gama záření s nejnižší vlnovou délkou a nejvyšší frekvencí. Oblast infračerveného (dále jen IR) záření je oblast navazující na viditelné světlo na jedné straně a na záření mikrovlnné na straně druhé, definovaná vlnovými délkami přibližně 0,5 až 800 nm a frekvencemi 300 Ghz až 400 THz. Nejpoužívanější jednotkou v IR spektroskopii je vlnocet, který je svázán s vlnovou délkou vztahem $\nu = 1/\lambda$ a jehož jednotkou je reciproký centimetr cm^{-1} . V takovém případě je IR oblast vymezena hodnotami asi 12 500 až 20 cm^{-1} (obr. 7.1). Podle vžitých konvencí a z praktických důvodů dělíme oblast IR záření dále na dalekou (FIR, z angl. far infrared), střední (MIR, middle infrared) a blízkou (NIR, near infrared) oblast (obr. 7.1).



Obr. 7.1: Vymezení oblasti infračerveného záření ve škále elektromagnetického záření; [6].

Oblast IR	Vlnová délka	Zkratka
Blízká infraoblast	0,75 μm -3 μm	NWIR
Střední infraoblast	3 μm -5 μm	MWIR
Vzdálená infraoblast	5 μm -15 μm	LWIR
Velmi vzdálená infraoblast	15 μm - 1 mm	VLWIR

Tab. 7.1: Jednotlivé podoblasti v rámci infračerveného (IR) záření s vymezením jejich vlnových délek; [5].

7.2 Úvod do infračervené spektrometrie

Spektrometrie je jedna z nejdůležitějších technik zabývající se měřením optických vlastností materiálů na různých vlnových délkách viditelného a neviditelného záření. Měřenými optickými vlastnostmi je především propustnost, absorpce, emise a odrazivost dopadajícího záření, měřenými materiály mohou být pevné látky, kapaliny i plyny. Díky rozsáhlým možnostem měření nachází spektrometrie širokou oblast uplatnění. Jednou z nich je identifikace a analýza organických a anorganických sloučenin. V tomto případě je mimo jiné používána v lékařství k identifikaci léků v obalovém průmyslu ke stanovení čistoty monomerních materiálů, či k identifikaci polymerů a jejich kompozitů atd. [6]

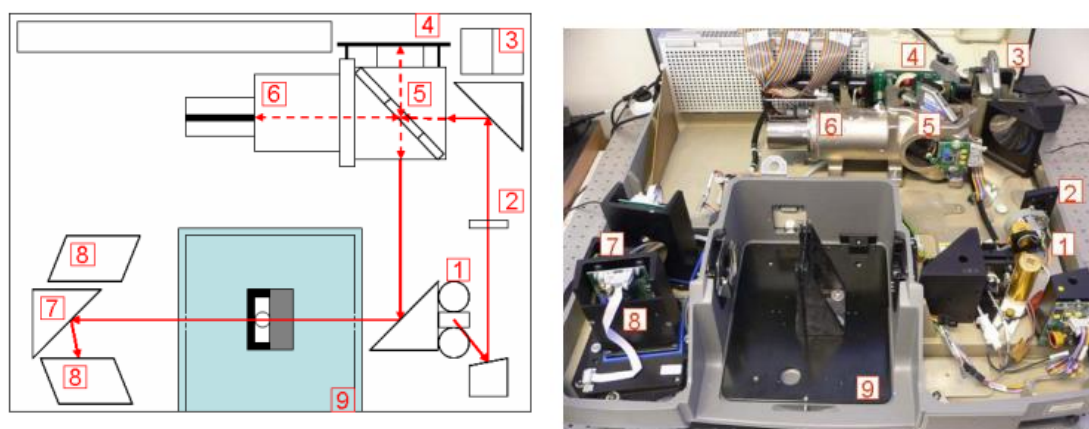
Druhou velmi širokou oblastí využití spektrometrie, která je také využita pro experimentální část této práce, jsou fyzikální experimenty, mezi které lze řadit měření emisivity materiálů v závislosti na vlnové délce a teplotě, intenzity zdrojů záření či citlivosti používaných detektorů.

Podstatou infračervené spektroskopie je interakce infračerveného záření se studovanou hmotou, kdy v případě pohlcení fotonu studovanou hmotou mluvíme o absorpční infračervené spektroskopii a v případě vyzáření fotonu o emisní infračervené spektroskopii. [6]

7.3 Infračervený spektrometr

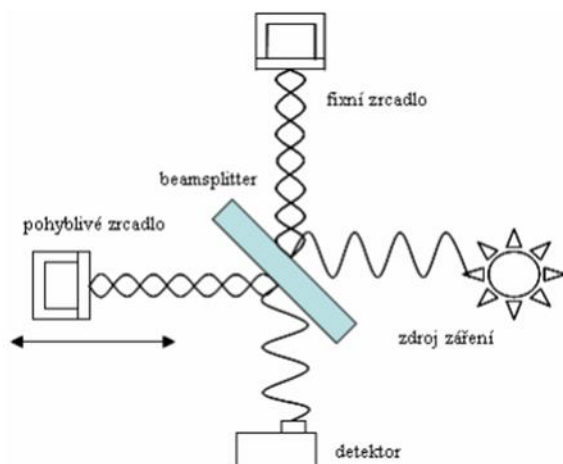
IR spektrometrie využívá dva typy měřících zařízení – FTIR spektrometr (infračervený spektrometr s Fourierovou transformací) a disperzní spektrometr. FTIR spektrometry jsou rychlejší a přesnější a pomalu nahrazují disperzní spektrometry, které používají monochromátor. Jejich úkolem je registrovat infračervené spektrum, tj. závislost intenzity (absorbance, transmittance) IR záření na vlnové délce. [5]

U FTIR spektrometrů radiační zdroj vyzáruje IR záření, které dopadá na interferometr, kde je modulováno. Od interferometru toto záření prochází přes vzorkový prostor na detektor (obr. 12) Nejdůležitějším z těchto procesů je modulace signálu pomocí interferometru (např. Michelsonova).



Obr. 7.2: FTIR spektrometr Nicolet 6700: 1 – zdroj záření, 2 – apertura, 3 – nepoužívané beamsplitters, 4 – pevné zrcadlo, 5 – beamsplitter, 6 – pohyblivé zrcadlo, 7 – otočné zrcadlo, 8 – detektor, 9 – vzorkový prostor; [6].

Michelsonův interferometr se skládá ze tří aktivních komponent: dvou na se be kolmých zrcadel – pohyblivého a fixního, a beamsplitteru umístěného mezi těmito zrcadly na linii 45°. Jeho úlohou je přesně polovinu dopadajícího záření odrazit a druhou polovinu propustit. Odražený paprsek poté dopadá na pohyblivé zrcadlo, které se pohybuje směrem k beamsplitteru a zpět ve směru paprsku. Důsledkem tohoto pohybu je vytvoření výsledné výstupní vlny s proměnlivou intenzitou – tzv. interferogram. Tato vlna prochází od beamsplitteru přes vzorek a je fokusována na detektor. Výsledné spektrum je vypočítáno z interferogramu Fourierovou transformací.



Obr. 7.3: Princip Michelsonova interferometru; [6].

IR spektrometr Nicolet je ovládán pomocí vyhodnocovacího softwaru Omnic. Tento program umožňuje nejen nastavení vhodných parametrů spektrometru a řízení vlastního měření, ale jeho použitím lze naměřená spektra i vhodně upravit a podrobně analyzovat.

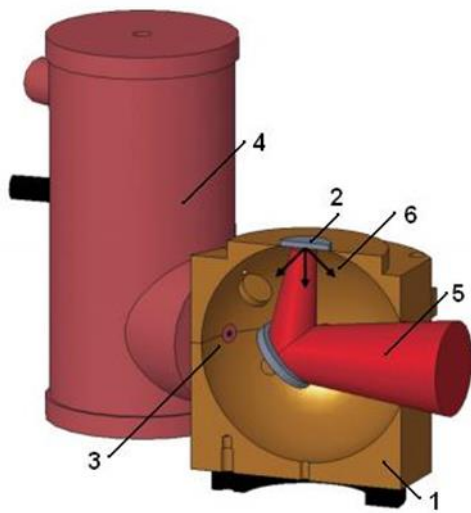
Pracoviště ÚTHD fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně je vybaven přístrojem (Nicolet 380 od výrobce Thermo Electron Co.) na principu Michelsonova vlnového interferometru s využitím Fourierovy transformace. Pracuje v rozmezí vlnových délek 1,28 – 28,5 μm , což je interval pokrývající velkou část záření těles s běžnými teplotami.

7.3.1 Integrační sféra pro měření odrazivosti

Na přístroji, který je k dispozici na pracovišti THD je pro měření spektrální odrazivosti, je využito metody integrační sféry (kulové plochy), jež je nejčastěji používanou technikou pro měření odrazivosti, potažmo i emisivity a je buď přímo zabudovaná ve spektrometru, nebo jako součást samostatného zařízení. Integrační sféra může být použita pro měření poloprostorové-směrové, nebo směrové-poloprostorové odrazivosti – v závislosti na tom, zda je použit typ pracující v přímém nebo nepřímém režimu. Ideální integrační sféra by měla být na vnitřní straně opatřena povrchovou úpravou o velmi vysoké odrazivosti a dokonale matným povrchem rozptylující odražené záření. Ve spektrální oblasti $\lambda \in (2;50) \mu\text{m}$ se pro tuto povrchovou úpravu nejčastěji používá tzv. matné zlato – tenká vrstvička zlata se zdrsňeným povrchem. Vysoce difúzní odrazivost vnitřního povrchu ve spojení se sférickou geometrií zaručuje, že záření odražené povrchem sféry vytvoří dokonale difúzní pole hustoty záření díky mnoha difúzním odrazům od povrchům koule. Při přímé metodě je měřený vzorek přímo ozáren externím zdrojem záření. Všechno odražené záření dopadá na sféru a je převedeno do difúzního pole záření, které je měřeno detektorem. Obdobné měře-

ní je pak provedeno při stejných podmínkách s kalibračním vzorkem o známé odrazivosti. Principiálně může být měřený vzorek vyňat a nahrazen známým standardem (substituční metoda), nebo může být ve sféře zároveň odděleně umístěn i etalon a měřen střídavě se vzorkem (srovnávací metoda). Druhá možnost je obecně doporučována. Při nepřímé metodě je ozářen bod na povrchu sféry a detektor měří přímé záření odražené vzorkem (nebo srovnávacím standardem). [4]

Měření v této práci je provedeno substituční metodou, kdy vzorek je porovnáván vůči referenčnímu povrchu – zlatému standardu s difúzním rozptylem a reflektancí 95 % v celém měřeném spektru. Schéma měřicí aparatury s integrační sférou a princip její funkce zobrazuje obr. 7.4.



Obr. 7.4: Schéma měřicího zařízení a princip její funkce; popis integrační sféry: 1 - těleso integrační sféry, 2 - měřený vzorek (etalon) 3 - senzor, 4 - nádoba na kapalný dusík, 5 - původní paprsek IR záření, 6 - difúzní rozptyl paprsku na vzorku.

Paprsek dopadá na vzorek pod úhlem 8° a interaguje s jeho povrchem. Část dopadající energie je pohlcena a část odražena. Odražená složka záření je dále difúzně odrážena od povrchu integrační sféry a jeho hodnoty pro jednotlivé vlnové délky jsou zaznamenány na dusíkem chlazeném měřicím senzoru (čip na bázi slitiny rtuti, kadmia a teluridu); zdroj obrázku [11].

7.4 Měření emisivity materiálů v závislosti na vlnové délce a teplotě

Emisní spektrometrie je technika používaná k měření emisivity materiálů v závislosti na vlnové délce. Měřicím přístrojem je IR spektrometr této technice uzpůsobený. Spektrometr musí být vybaven externím portem a možností vyjmutí vnitřního zrcadla odrážejícího záření vydávané zdrojem k interferometru. Měřený materiál nahrazující vnitřní radiační zdroj záření je umístěn vně vzorkový prostor spektrometru. Záření vydávané vzorkem je pomocí externího zrcadla odraženo a přes externí port dopraveno na interferometr, odkud prochází přes prázdný vzorkovací prostor na detektor. [5] Výsledné emisní spektrum je dáno vztahem:

$$\varepsilon = \frac{I_r}{I_c}, [-] \quad (16)$$

Kde ε je emisivita materiálu, I_r je intenzita vyzařování reálného tělesa, I_c je intenzita vyzařování černého tělesa.

Ovládací software spektrometru bohužel neumožňuje stanovit emisivitu přímo. Pro vyhodnocení lze tedy použít analogický vztah pro transmitanci T :

$$T = \frac{I}{I_0} \cdot 100, [\%] \quad (17)$$

Kde, T je transmittance, I je intenzita vyzařování vzorků, I_0 je intenzita vyzařování požadí.

Naměřené hodnoty transmittance tedy odpovídají hodnotám emisivity měřeného materiálu. Podmínkou zachycení správného emisního spektra je zajištění dostatečného množství záření dopadajícího na interferometr [5].

Za běžných teplot, jaké mohou na stavebních površích nastávat, vyzařují povrchy dle Planckova zákona převážnou část elektromagnetického záření v oblasti vlnových délek přibližně $\lambda \in (2; 50) \mu\text{m}$, tedy v oblasti převážně infračerveného záření. Obecně lze sledovat buď vlastní vyzařování povrchu měřeného vzorku a srovnávat je se zářením černého tělesa, nebo využívat Kirchhofova vztahu (vyjadřujícího, že emisivita je u nepropustných povrchů rovna absorpci, a je tedy doplňkem do jedné) a sledovat záření jiného zdroje odražené od povrchu měřeného vzorku a srovnávat je s odrazem od povrchu zcela reflektujícího. Druhá možnost je méně přesná, ale daleko levnější a jednodušší z hlediska konstrukce měřidla, reflexní techniky měření totiž nevyžadují nutně chlazení kapalným dusíkem.

8 PRAKTICKÁ ČÁST

Do praktické části byly zahrnuty dva základní experimenty, které by měly orientačním způsobem charakterizovat základní vlastnosti povrchových materiálů kontaktních zateplovacích systémů ve vztahu k problematice řešené v této práci, čili především problému kondenzace vzdušné vlhkosti za jasných chladných nocí. Zaprvé byla zkoušena nasákavost materiálu vzorků a zadruhé byla stanovena vyzařovací schopnost – spektrální emisivita vzorků.

K tomuto účelu byla k dispozici sada dvaceti vzorků (laskavě dodaných společností vyrábějící suché maltové a omítkové směsi), které sestávaly z desek tepelné izolace – minerální vlny, na které nanese omítkové souvrství, tak jak se skutečně aplikuje v praxi. Každý vzorek obsahoval vrstvu stěrkové hmoty vytuženou sklovláknitou armovací mřížkou a opatřenou penetrací a dále byla aplikována vlastní omítková vrstva, a to na různé materiálové bázi – minerální, akrylátové, silikátové, silikonsilikátové a silikonové. Od každé této báze jsou k dispozici minimálně tři vzorky, navzájem se odlišující maximálním zrnem použitého plniva. Některé z nich jsou opatřeny akrylátovým nebo silikonovým fasádním nátěrem. Výčet a přesná skladba jednotlivých vzorků, včetně uvedení maximálního použitého zrna je uveden v tabulce č. 8.1 na další straně.



Obr. 8.1: Fotografie vzorků tvořených deskou z minerální vlny s fasádním souvrstvím upraveným na kvádry a připravených na zkoušku nasákavosti.

Tab. 8.1: Seznam vzorků se stručnou charakteristikou pro měření nasákovosti a emisivity, laskavě poskytnutými společnostmi vyrábějící suché maltové a omítkové směsi; z tabulky je možné vyčíst konkrétní složení souvrství každého vzorku; stejnou barvou jsou vyznačeny vzorky stejné materiálové báze.

Komponenta	Č. vzorku																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Lepicí a stěrková hmot difúzní malta základní vrstvy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Penetrace silikát penetrace pod silikátové a silikonsilikátové omítky		x										x	x	x	x	x	x			
Penetrace akrylát-silikon penetrace pod silikonové a minerální omítky			x	x	x	x	x	x	x	x	x							x	x	x
Minerální zatíraná omítka maximální zrno 3,0 mm				x																
Minerální zatíraná omítka maximální zrno 2,0 mm					x	x														
Zatíraná tenkovrstvá omítka jemná maximální zrno 0,7 mm							x	x												
Akrylátový fasádní nátěr				x		x														
Silikonový fasádní nátěr					x		x													
Akrylátová zatíraná omítka maximální zrno 3,0 mm									x											
Akrylátová zatíraná omítka maximální zrno 2,0 mm										x										
Akrylátová zatíraná omítka maximální zrno 1,5 mm											x									
Silikátová zatíraná omítka maximální zrno 3,0 mm												x								
Silikátová zatíraná omítka maximální zrno 2,0 mm													x							
Silikátová zatíraná omítka maximální zrno 1,5 mm														x						
Silikonsilikátová zatíraná omítka maximální zrno 3,0 mm															x					
Silikonsilikátová zatíraná omítka maximální zrno 2,0 mm																x				
Silikonsilikátová zatíraná omítka maximální zrno 1,5 mm																	x			
Silikonová zatíraná omítka maximální zrno 3,0 mm																		x		
Silikonová zatíraná omítka maximální zrno 2,0 mm																			x	
Silikonová zatíraná omítka maximální zrno 1,5 mm																				x

8.1 Zkouška nasákavosti

Zkouška nebyla provedena normovým způsobem, nýbrž byl zvolen jiný postup vzhledem ke skutečnosti, že cílem bylo především porovnání vlastností vzorků mezi sebou, nikoli srovnávání výsledků s materiály mimo tento soubor. Cílem bylo stanovit hodnotu krátkodobé – jednodenní, a dlouhodobé – týdenní nasákavosti pro jednotlivé vzorky a z tohoto vyhodnotit závěr, které materiálové báze mají největší tendenci absorbovat do své pórové struktury vodu a které naopak nejméně.

Výstupem ze zkoušky jsou hodnoty nasákavosti stanovené v kilogramech na metr čtverečný.

Postup zkoušky

Dodané vzorky byly upraveny řezáním na kvádry vhodného formátu. Byly změřeny rozměry plochy povrchu omítky, které přišly do kontaktu s vodou. Boky kvádrů z minerální vlny byly opatřeny parafínovým nátěrem, aby nedošlo ke zkreslení zkoušky průnikem vody do vzorku přes boční stěny. Poté již byly vzorky uloženy do plastových boxů na vodní hladinu, respektive na vodu nasáklou tkaninu. V tomto okamžiku započalo týdenní období pravidelného vážení vzorků v laboratorních podmínkách v následující četnosti: V prvních dvanácti hodinách každé dvě hodiny, dále po dvaceti a dvaceti čtyř hodinách, po třech, šesti a sedmi dnech.

Po ukončení měření byly hodnoty zpracovány a graficky ztvárněny, tyto grafy jsou na následujících dvou stranách. Lze z nich vyčíst, jaký je časový průběh absorpce vody – nárůstu hmotností jednotlivých vzorků.



Obr. 8.2: Pohled na vzorky uložené v sušárně.



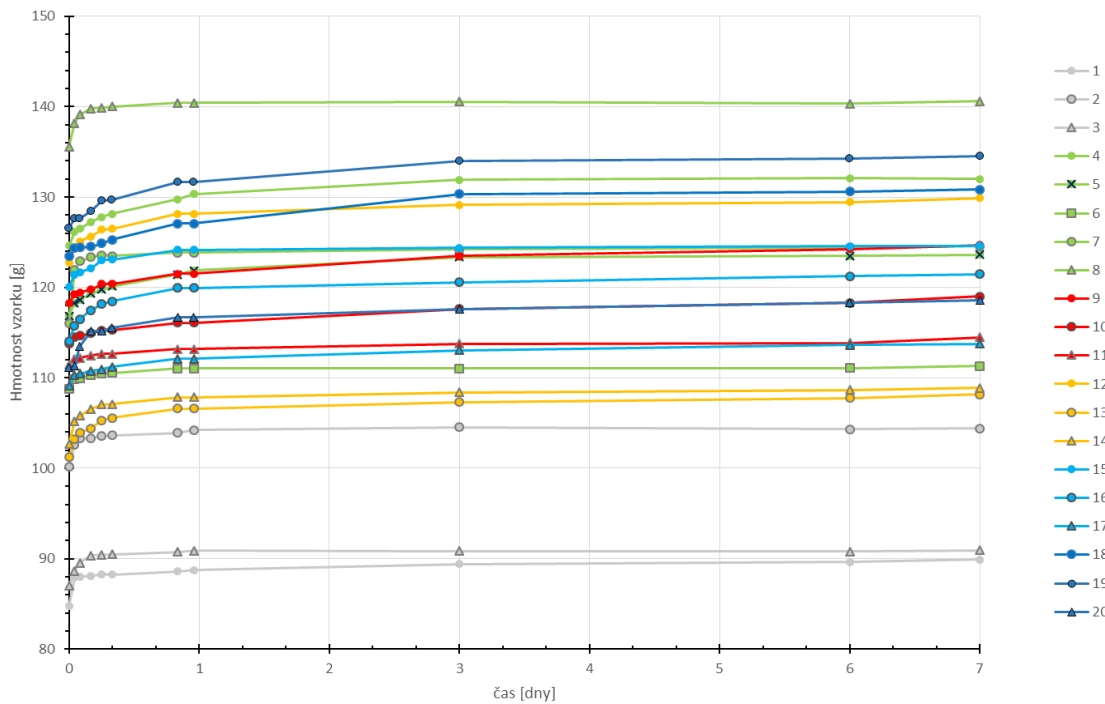
Obr. 8.2: Fotografie dokumentující uložení vzorků do boxu s vodou a nasáklou tkaninou. Vzorky byly v kontaktu s vodou jen svrchní plochou fasádní úpravy.

Závěr ke zkoušce nasákavosti:

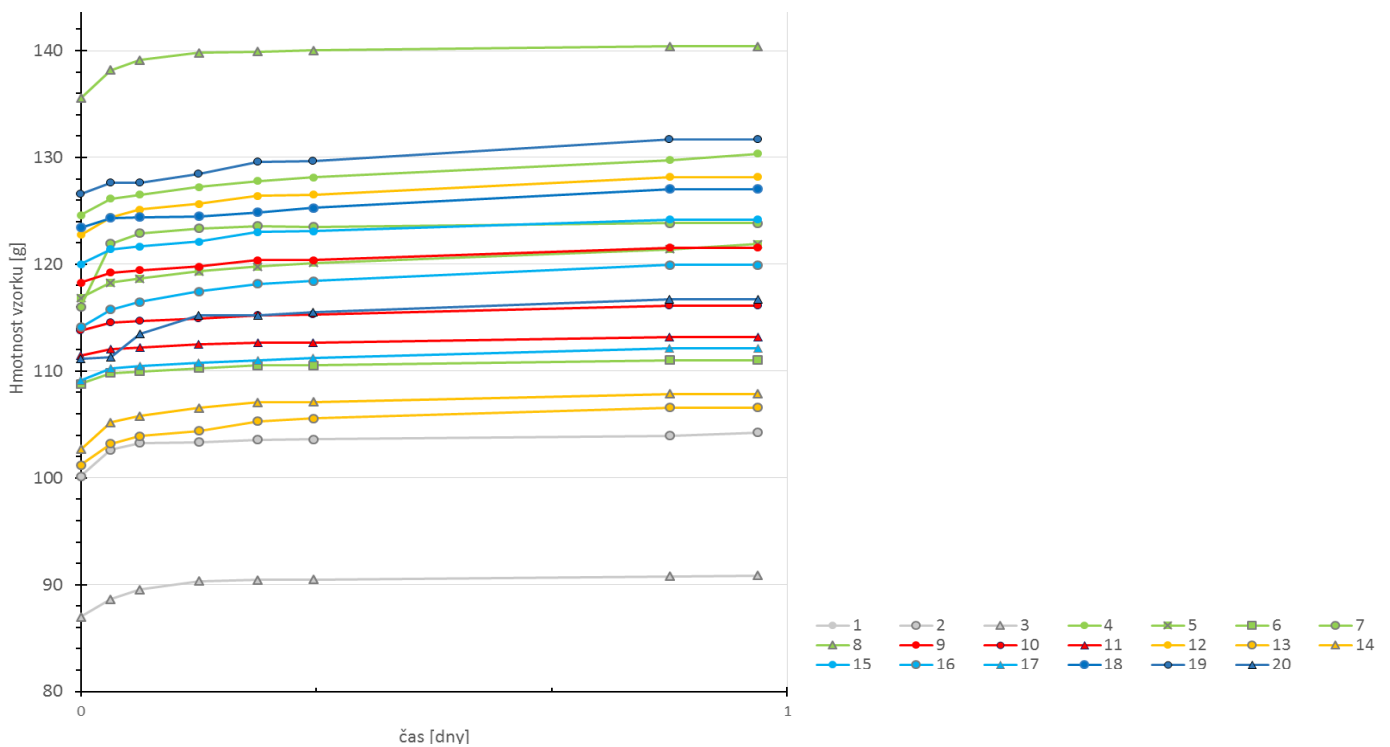
Z výsledků naměřených hodnot nasákavosti, které jsou souhrnně uvedeny v tabulce č. 2 a zobrazeny ve sloupcovém grafu na obr. 4, lze vyslovit závěr pro toto měření. Z hlediska krátkodobé (denní) nasákavosti si nejlépe vedla poněkud překvapivě skupina vzorků s omítkou na akrylátové bázi. Naopak nejhorších výsledků - nejvyšších nasákavostí - v průměru dosáhla skupina silikátových omítek. Z hlediska dlouhodobé (týdenní) nasákavosti je situace mírně odlišná. Nejnepříznivější výsledky vykazuje v průměru skupina omítek silikonových, nejmenší nasákavosti omítky akrylátové. Závěr tohoto měření je tedy spíše v rozporu s obecně tradovanými vlastnostmi z hlediska míry absorpce vody, je však třeba zdůraznit orientačnost výsledku měření z důvodu malého souboru vzorků a velkého rozptylu hodnot nasákavosti i v rámci skupiny jedné materiálové báze.

Na následujících dvou stranách je grafické zobrazení naměřených hodnot při zjišťování nasákavosti. V tabulce 8.2 jsou přehledně shrnuty výsledné hodnoty jednodenní a týdenní nasákavosti pro všechny vzorky.

8.1.1 Grafické vyhodnocení nasákavosti



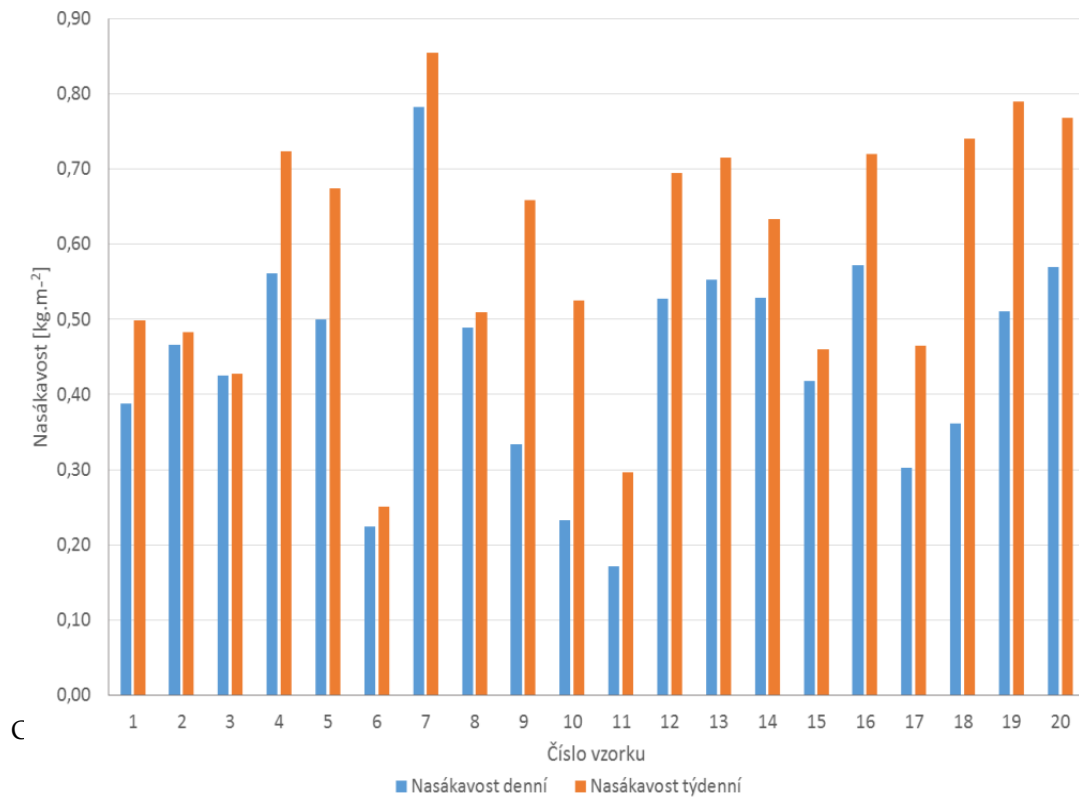
Obr. 8.3: Průběh nárůstu hmotnosti vzorků při uložení na hladině vody při měření dlouhodobé a krátkodobé nasákavosti; v prvních dvanácti hodinách byla četnost měření vysoká (každé dvě hodiny), poté se interval mezi měřeními postupně zvyšoval. Pro možnost srovnání a zřehlednění jsou v souladu s tabulkou č. 8.1 stejnou barvou vyznačeny vzorky stejné materiálové báze



Obr. 8.4: Průběh nárůstu hmotnosti se zaměřením na prvních dvacet čtyři hodin po uložení vzorků na vodní hladinu. Opět, vzorky stejné báze vyznačeny stejnou barvou.

Tab. 8.2: Vypočítané hodnoty jednodenní a sedmidenní nasákavosti v jednotkách hmotnosti na jednotku plochy, v závorce pro rychlou orientaci uvedena zkratka materiálové báze (P – podkladní vrstvy, M – minerální, A – akrylátová, SÁ – silikátová, SS – silikonsilikátová, SO – silikonová.)

Čís. (Typ vzorku)	1 (P)	2 (P)	3 (P)	4 (M)	5 (M+A)	6 (M+S)	7 (M+A)	8 (M+S)	9 (A)	10 (A)	11 (A)	12 (SÁ)	13 (SÁ)	14 (SÁ)	15 (SS)	16 (SS)	17 (SS)	18 (SO)	19 (SO)	20 (SO)
Nasákavost denní [kg.m ⁻²]	0,39	0,47	0,42	0,56	0,5	0,22	0,78	0,49	0,33	0,23	0,17	0,53	0,55	0,53	0,42	0,57	0,3	0,36	0,51	0,57
Nasákavost týdenní [kg.m ⁻²]	0,50	0,48	0,43	0,72	0,67	0,25	0,85	0,51	0,66	0,52	0,3	0,7	0,71	0,63	0,46	0,72	0,47	0,74	0,79	0,77



br. 8.5: Hodnoty obou nasákavostí z tabulky 8.2 pro všechny vzorky pro přehlednost a možnost srovnání zaneseny do sloupcového grafu.

8.2 Měření a vyhodnocení emisivity

Pro měření emisivity existuje v praxi řada metod, založených zpravidla na kalorimetrických či radiometrických principech měření. Jako nejvhodnější se pro určení závislosti spektrální emisivity na vlnové délce pro běžné teploty jeví užití infračerveného spektrometru vybaveného měřicím nástavcem s integrační sférou, alternativně méně přesným měřením s nástavcem s integračním zrcadlem. Tato zařízení jsou však díky své vysoké pořizovací ceně, nutnosti chlazení kapalným dusíkem a prozatím malé využitelnosti výsledků v běžné praxi málo rozšířena.

Pracoviště THD FAST VUT v Brně disponuje měřicí aparaturou na principu integrační sféry Mid-IR IntegratIR™ od společnosti PIKE Technologies™. Zařízení je určeno k měření difuzní reflektance materiálů a funguje jako modulární nástavec infračerveného spektroskopu (FTIR metoda). Princip fungování přístroje a postup měření emisivity je objasněno v kapitolách 7.3 a 7.4.



Obr. 8.6: Fotografie pracoviště infračervené spektrometrie vybaveného spektrometrem Nicolet 380 od výrobce Thermo Electron Co.

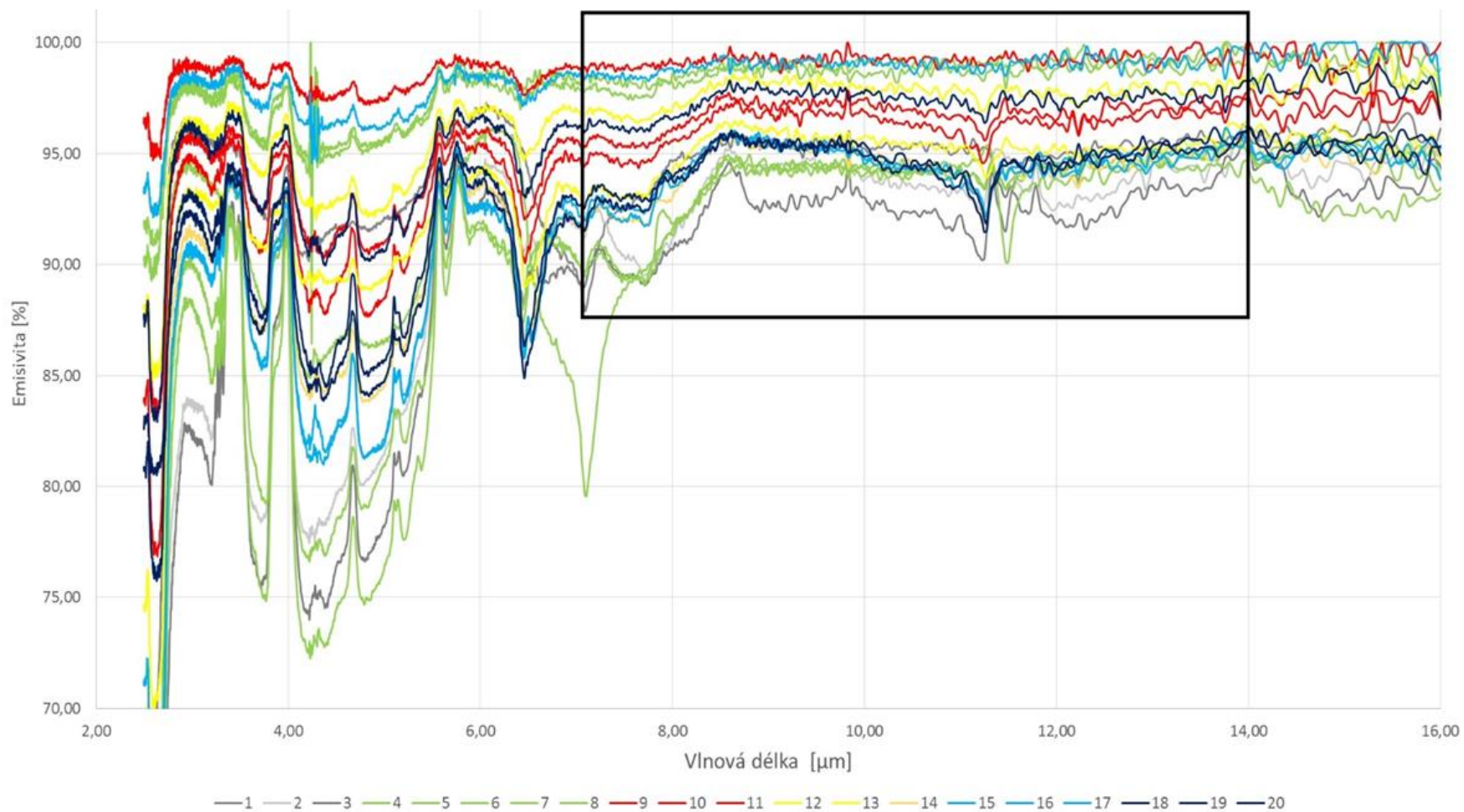
Postup měření

Vzorky pro účely tohoto měření byly zbaveny vrstvy tepelné izolace a upraveny na rozměry asi 5 x 5 cm. Poté byly vkládány do přístroje, kde byly vystaveny infračervenému paprsku o vlnovém rozsahu 2,5 do 18 μm . Přístroj je ovládán vyhodnocovacím softwarem Omnic, který nám po proběhnutí měření ihned poskytl průběh intenzity spektrální reflektance v závislosti na vlnové délce. Pro další zpracování výsledků byla data převedena do Excelu, kde byl proveden přepočítání na spektrální emisivity a byly vyhotoveny grafy emisního spektra pro dané vlnové délky, což je zobrazeno na obrázcích 8.7 a 8.8 na následujících dvou stranách.

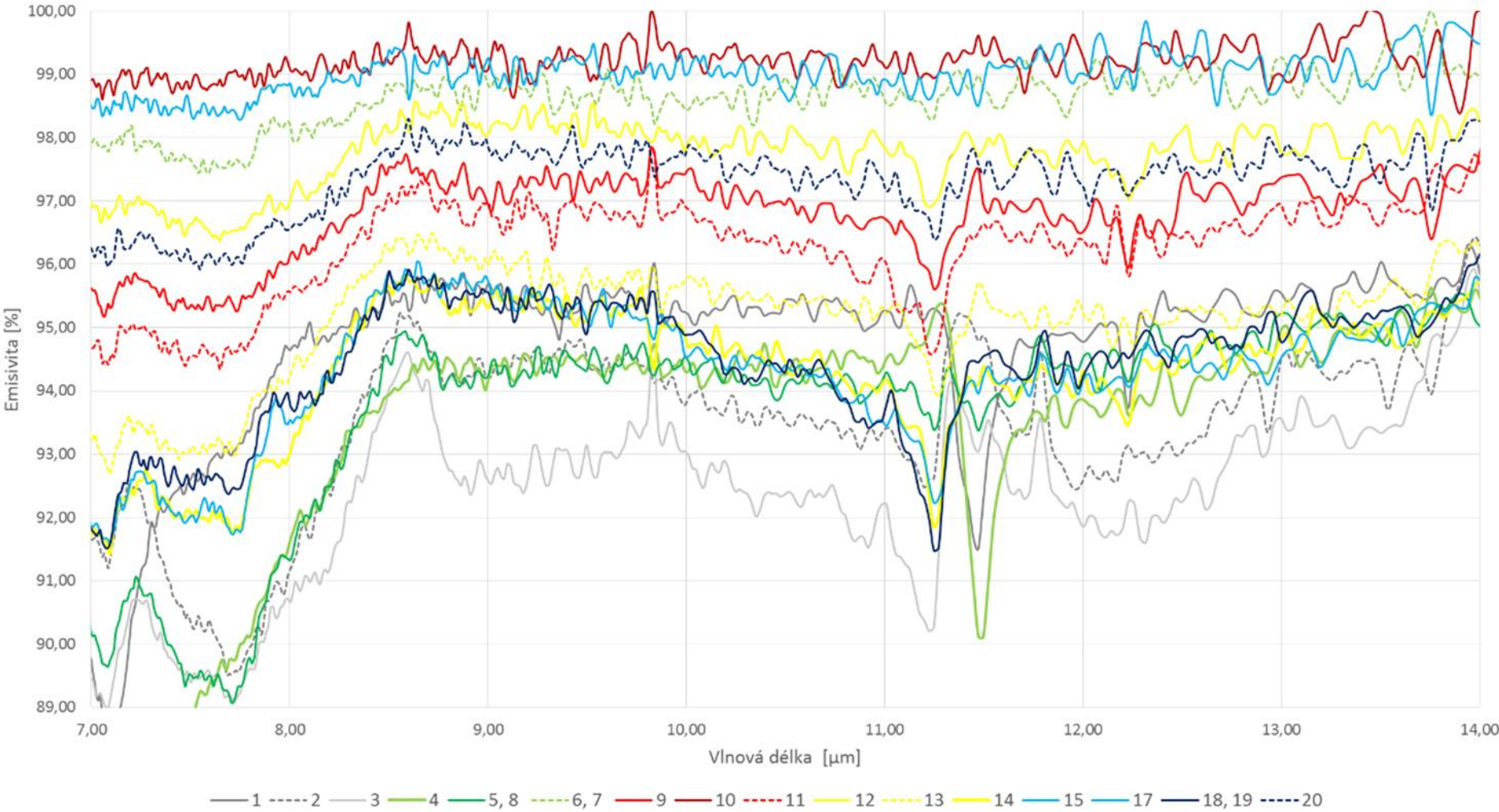
Z těchto spektrálních průběhů byla přepočtem pomocí váhové funkce vypočítána hodnoty spektrální emisivity pro oblast vlnových délek 7 - 14 μm , tedy oblasti důležité z hlediska předmětu této práce, viz graf 8.9. Pro srovnání jsou v grafu zobrazeny i hodnoty emisivity pro oblast celého měřeného spektra (2,5 - 18 μm , šedé sloupce v grafu 8.9).

Závěr ke zkoušce měření emisivity

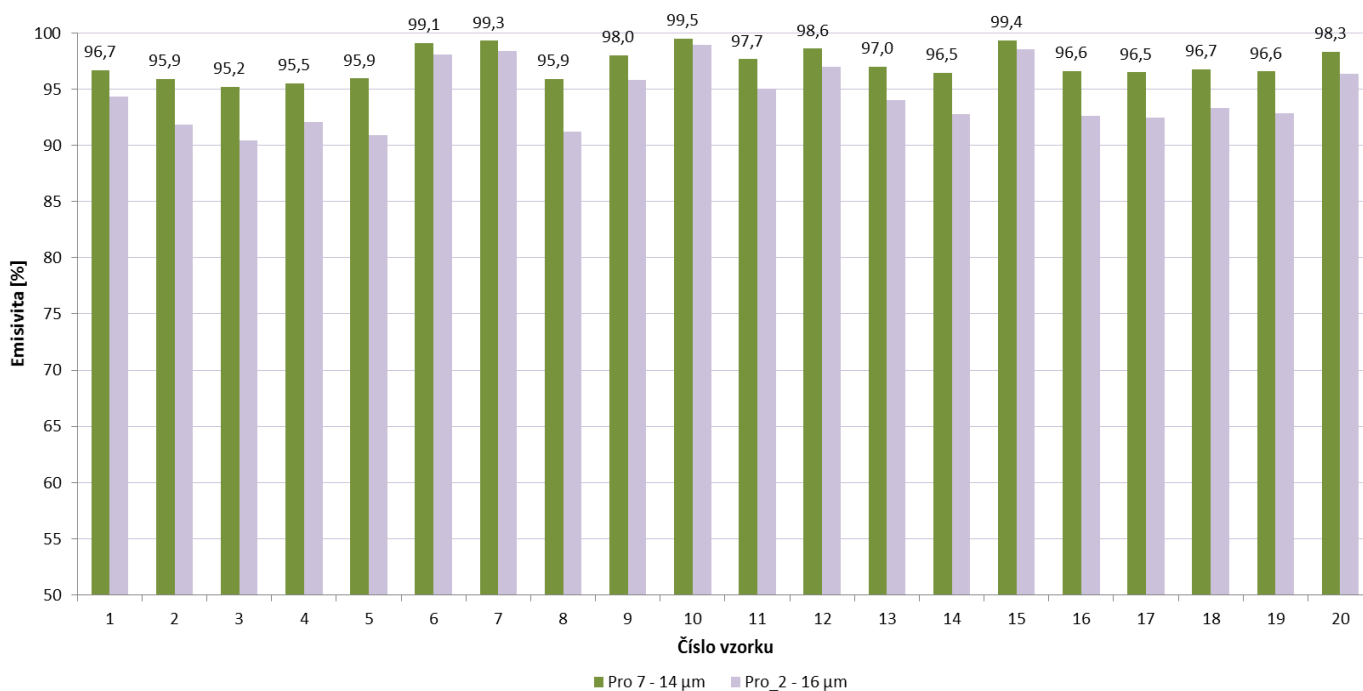
Naměřené emisivity dosahují vysokých hodnot blízcím se stu procent pro všechny vzorky nevyjímaje. Rozdíly jsou v řádu desetin, maximálně jednotek procent, což v konečném důsledku nehraje žádnou roli. Znamená to tedy, že schopnost povrchů z těchto materiálů sálat teplo je velmi vysoká za daných podmínek, tzn. tyto materiály jsou náchylné při nepříznivých podmínkách ke kondenzaci vlhkosti na svém povrchu.



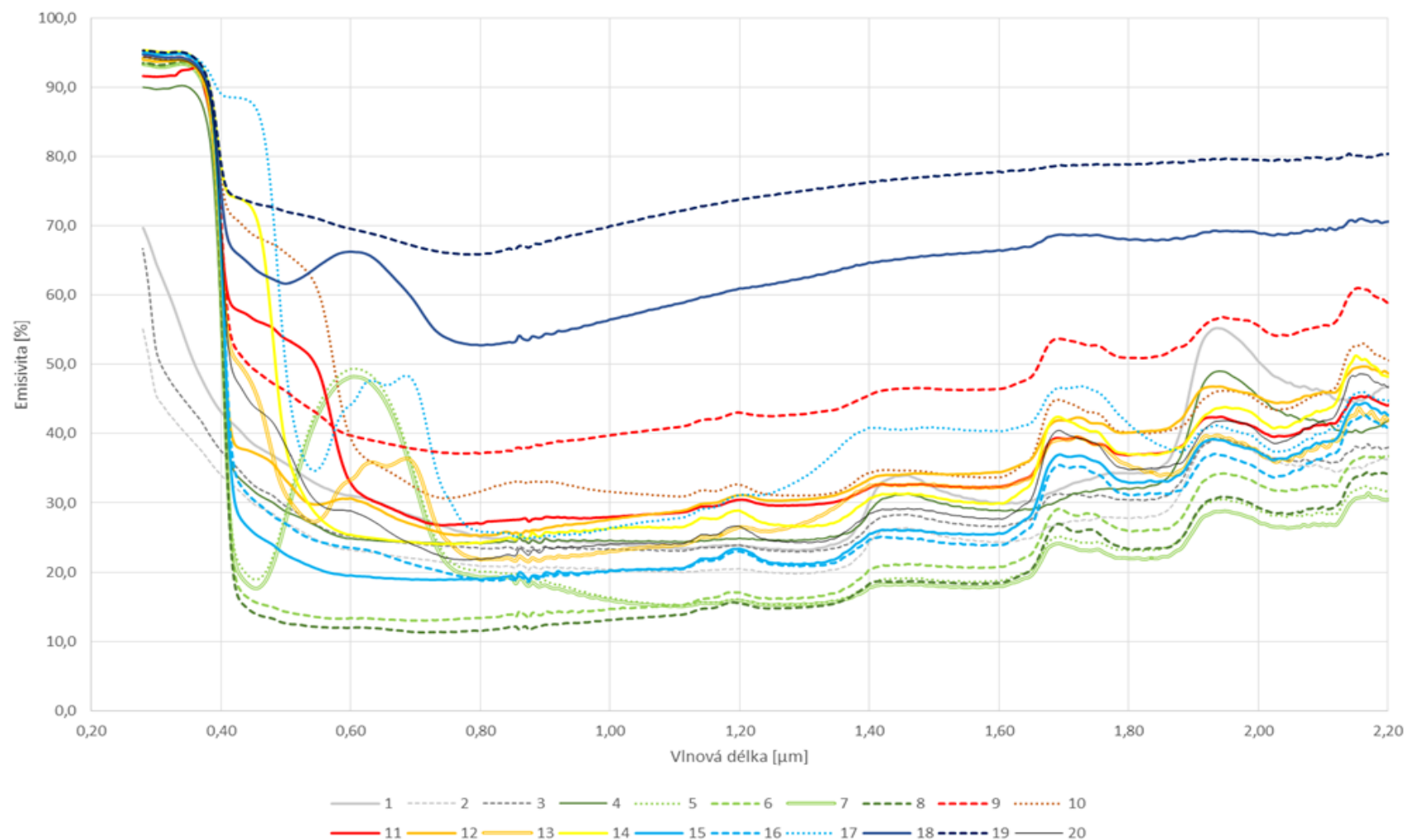
Obr. 8.7: Emisní spektrum pro vlnové délky 2,5 - 16 μm naměřené infračerveným spektrometrem Nicolet. Jde o zobrazení orientační, stejnou barvou jsou zaznamenány jednotlivé skupiny fasádních povrchů. V černém obdélníku je vyznačeno spektrum na vlnových délkách 7 - 14 μm, které je zásadní vzhledem k předmětu této práce. Tato oblast je v upraveném a zvětšeném tvaru uvedena na dalším obrázku.



Obr. 8.8: Detailní zobrazení průběhu spektrálních emisivit na vlnových délkách 7 - 14 μm, které jsou nejkritičtější z hlediska vyzařování vůči jasné noční obloze a následné kondenzaci kapalné vlhkosti na povrchu zateplovacího systému. Pro přehlednost byly čáry spekter u některých vzorků stejných skupin sloučeny do jedné křivky, pokud byly tyto průběhy vzájemně velmi podobné.



Obr. 8.9: Závěrečné vyhodnocení spektrální emisivity pro oblasti 7 – 14 μm (zelené sloupce) a 2 – 16 μm (šedé sloupce), jež byly vypočítány za použití váhové funkce ze základního spektra. Z hodnot vyplývá závěr, že emisivity pro střešní oblast vlnových délek 7 – 14 μm jsou velmi vysoké – nad 95 % a nejsou pozorovatelné významnější rozdíly mezi jednotlivými materiálovými typy fasádních povrchů, tedy se nedá vyvodit závěr v podobě, že by některá materiálová báze byla více nebo méně náchylná ke kondenzaci vlhkosti za jasných chladných nocí.



Obr. 8.10: Jako doplnění měření emisního spektra v infračervené oblasti vlnových délek bylo provedeno ještě jedno měření ve spektrometru pracujícím v oblasti viditelného světla, zde omezeno rozsahem 0,28 – 2,20 μm . Cílem bylo alespoň orientačně zjistit, v jaké míře povrchové vrstvy fasádního systému pohlcují tepelné záření za teplých slunečních dní, a tedy v důsledku jakým teplotním namáháním musí vzorky odolávat. Zde je využito předpokladu, že pro zření nepropustná tělesa je absorpance rovna emisivitu.

9 ZÁVĚR

V předložené bakalářské práci je sestaven přehled o problematice růstu řas na povrchu budov s vnějším kontaktním zateplením ETICS. Toto napadení řasami je umožněno zejména díky nočnímu podchlazování povrchových vrstev až na teplotu rosného bodu vzduchu a následné kondenzaci vodních par na povrchu zateplené fasády. Za tímto periodicky se opakujícím jevem stojí přirozené vyzařování tepelné energie fasádním povrchem vůči jasné noční obloze. Jde o relativně novodobý jev, se kterým se při zavádění kontaktních zateplovacích systémů nepočítalo. Nicméně není známo, že by řasové povlaky vykazovaly významnější biokorozní projevy urychlující degradaci materiálu. Avšak vzhledem k tomu, že se jedná o významný estetický nedostatek, neakceptovatelný většinou majitelů a investorů, nelze se tímto problémem nezabývat.

Práce obsahuje všeobecný popis jednotlivých aspektů mající vliv na možnost výskytu řas. Některé z nich jsou v úvodu názorně dokumentovány ve dvou příkladech napadených zahraničních zateplených staveb, které byly prošetřeny za účelem nalezení příčin a objasnění okolností napadení řasami. Zde bylo dokázáno, že k tomu, aby docházelo ke vzniku vhodných podmínek pro řasy v podobě zajištění dostatečné vlhkosti na fasádách, je nutná obvykle souhra několika nepříznivých vnějších faktorů, které působí ve prospěch potenciálního napadení fasády. Jedná se především o míru oslunění, orientaci stěn ke světovým stranám, převažujícího směru proudění větru, charakter obklopujícího prostředí, klimatické podmínky v daném místě atd. Působení těchto faktorů v kombinaci s nízkou akumulací schopností tenkých omítkových vrstev a nízkým prostupem tepla zateplených stěn mohou vést ke snížení povrchové teploty umožňující zvýšenou kondenzaci a následně vznik problému s řasami, který v době před zateplením neexistoval. To vyplynulo z teplotní analýzy několika termografických snímků obvodových stěn prošetřovaných stavebních objektů.

V další kapitole jsou nastíněny možnosti, jak biologickému napadení předcházet z materiálového hlediska, a to jak dosud používané, tak především právě vyvíjená perspektivní řešení, která naznačují, jakým směrem se opatření proti mikrobiologickému napadení budou vyvíjet dále. V dnešní době je problém řešen převážně přidáváním chemických biocidních látek (algicidů, herbicidů). Vzhledem k dnešní oprávněné orientaci na ochranu životního prostředí i časově omezené funkci těchto látek je však žádoucí tento problematický způsob nahradit jiným, dnešní nároky splňujícím opatřením. Některé nově vyvíjené systémy jsou založeny na fyzikálních principech, jde např. o hydrofobizaci, dosažení speciální mikrostruktury apod., kdy cílem je buď rychlé odvedení srážkové nebo zkondenzované vlhkosti i s nečistotami stékáním po vysoce hydrofobizovaném povrchu (tzv. lotosový, samočisticí efekt) nebo naopak řízený transport vlhkosti do hydrofilní struktury omítky a následným postupným vysycháním. Další jistě velmi perspektivní variantou by bylo jistě využívání materiálů se sníženou emisivitou – schopností vyzařování povrchových materiálů, za účelem snížení nočních sálavých tepelných toků zodpovědných za nežádoucí snižování povrchových teplot nebo využívání materiálů propustných pro infračervené záření. Nicméně tyto varianty jsou teprve v raném stádiu vývoje a ještě nějakou dobu zřejmě potrvá, než se na tomto poli dosáhne výsledků, které by umožnily využití v praxi.

Díky kombinaci působení klimatických jevů a stavebně fyzikálním vlastnostem materiálů skladeb dochází k velkému teplotnímu a vlhkostnímu namáhání povrchových vrstev. Tyto tzv. nesilové účinky namáhání nejsou dosud dostatečně prozkoumány. Náplní následujících teoretických kapitol je fyzikální popis poznatků alespoň základních tepelných a vlhkostních jevů, probíhajících na povrchu ETICS. Jsou vyhrazeny podkapitoly pro popis základních způsobů šíření tepla a vlhkosti, pozornost je věnována především vyzařovacím zákonům a interakci povrchových vrstev fasádních povrchů s vnějšími klimatickými podmínkami. Zvláštní pozornost je věnována schopnosti fasádních materiálů vyzařovat teplo – jejich emisivitě. Přesnější výpočtové posouzení vzájemného zářivého toku mezi noční atmosférou a konkrétním stavebním povrchem vyžaduje určení této vlastnosti. Pro účely kvantifikace nočních zářivých toků mezi stavebním povrchem a noční jasnou oblohou je relevantní především emisivita na těch vlnových délkách, kde je atmosféra obzvlášť propustná pro elektromagnetické záření (přibližně 7-14 μm). Metod pro stanovení emisivity existuje několik, v této práci je popsána metoda stanovení emisivity a reflektance pomocí infračervené spektroskopie. Infračervený spektrometr s nástavcem s integrační sférou přístroj je také součástí vybavení pracoviště ÚTHD fakulty stavební. Díky své dostupnosti na pracovišti byl také využit v praktické části pro experimentální stanovení spektrálních emisivity vybraných fasádních materiálů.

V závěru práce jsou prezentovány výsledky vlastních experimentů. Vzhledem k omezenému rozsahu praktické části v bakalářské práci, slouží tyto jako zajímavé doplnění především teoreticky orientované práce. Cílem praktické části bylo vzájemné porovnání vybraných vlastností souboru vzorků, jež jsou tvořeny dnes běžně používanými fasádními materiály. Byly zahrnuty dva základní experimenty – stanovení nasákavosti a zmíněné emisivity materiálů povrchových vrstev zateplovacího systému, které by měly orientačním způsobem charakterizovat základní vlastnosti dnes běžně užívaných povrchových materiálů kontaktních zateplovacích systémů ve vztahu k problematice řešené v této práci. K dispozici byla sada vzorků na různých materiálových bázích, jež byly podrobeny měřením na infračerveném spektrometru dostupnému na ústavu ÚTHD. Vysoké hodnoty spektrální emisivity blížící se stu procent ukázaly, že všechny tyto materiály jsou náchylné při nepříznivých podmínkách ke kondenzaci vlhkosti na svém povrchu, a tím tedy splňují jednu důležitou podmínku existence řas na fasádách. Přitom nehrálo roli, o jaký materiál (na jaké materiálové bázi) šlo. Mezi další důležitou základní charakteristiku ovlivňující vlhkostní stav celého souvrství (a tedy i náchylnost k napadení fasád) je schopnost omítky absorbovat kapalnou vodu, nasákavost. Proto byla stanovena nasákavost jednotlivých druhů omítkových vrstev. Z výsledků hodnot jsou tentokrát patrné rozdíly mezi jednotlivými typy. Nejmenší nasákavost vykazovaly dle měření omítky na akrylátové bázi, vyšší hodnoty byly stanoveny u silikátových a silikonových omítek.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BLAICH, J., BÜCHLI, R., FALLER, M. F., T. GRAF, E. AISSSEN, A., SCHICKER, M., SILL, J., STUPP, G., TANNER Ch. *Algen auf Fassaden*. In. Die Gebäudehülle. Dübendorf (Schweiz): EMPA-Akademie. 2000. s. 46-58. ISBN 3-6167-4724-8.
- [2] BLAICH, J. *Außenwände mit Wärmedämm-Verbundsystem, Algen- und Pilzbewuchs*. In. Deutsches Architektenblatt 31. 1999. s. 1393-1394. ISSN 0720-0277.
- [3] BLAICH, J. *Bauschäden, Analyse und Vermeidung*. Dübendorf (Schweiz): EMPA. 1999. ISBN 3-8167-4709-4.
- [4] STEUER, R. *Studium fyzikálních vlastností materiálů vnějšího zateplení budov z hlediska snížení vlhkostní zátěže*: dizertační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních dílců, 2008. 134 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Jiří Vala, CSc.
- [5] ZEMBOL, F. *Analýza parametrů infračerveného zobrazení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Čech
- [6] HONNER, M. *Infračervená spektrometrie*. Výzkumné centrum Západočeské univerzity v Plzni. [online]. © 2000 – 2015 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: http://ftp.zcu.cz/files/vyuka/mft/pdf/MFT_2012_PC05_01_navod_infracervena_spektrometrie.pdf
- [7] ŠŤASTNÍK, S. *Fyzika stavebních látek, Modul M01, Fyzikální vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí*. Brno: Vysoké učení technické, fakulta stavební, 2006. bez ISBN.
- [8] WASSERBAUER, R. *Biologické znehodnocení staveb*. 1. Vydání. Praha: ABF. 2000. 280 stran. ISBN: 80-86165-30-2.
- [9] *Odborná příručka, řasy na fasádách*. Kabe Farben, Karl Bubenhofer AG. [online]. 2015 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: <http://www.dovaas.cz/dovaas/www-next/kabefarben/index.php>
- [10] NICKY, N. *Fachinfos, Algen und Pilze an Fassaden*. KABE Farben, Karl Bubenhofer AG. [online]. [2015] [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: http://www.kabefarben.ch/typo3/fileadmin/bau/pdf/Algend_und_Piltze.pdf
- [11] KOPKÁNĚ, D. *Studium pasivní radiace povrchových úprav ve stavebnictví*: dizertační práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních dílců, 2015. 116 s. Vedoucí disertační práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc.