

České vysoké učení technické v Praze
Kloknerův ústav

TEPELNĚ VLHKOSTNÍ PROCESY
V OSTĚNÍ OKEN HISTORICKÝCH OBJEKTŮ

Ing. Lucie Kudrnáčová

Disertační práce

2021

Czech Technical University in Prague

Klokner Institute

HYGROTHERMAL CONDITIONS
OF THE HISTORICAL BUILDING WINDOW REVEALS

Ing. Lucie Kudrnáčová

Dissertation Thesis

2021

Prohlašuji, že jsem předloženou disertační práci vypracovala samostatně a obsah práce nebyl předložen k jiným akademickým nebo profesním řízením. Prohlašuji, že tato disertační práce byla vytvořena v souladu se všemi závaznými pravidly a předpisy a že jsem řádně uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Prohlašuji, že práce vznikla jako součást doktorského studia, do kterého jsem řádně zapsána.

Ing. Lucie Kudrnáčová

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla na základě podpory dvou projektů SGS. Jednalo se o projekt SGS15/175/OHK1/2T/31 (Výzkum dvojitých oken a navrhovaných variant jejich výměn z tepelně technického hlediska v oblasti okenních výplní a okolních konstrukcí) a projekt SGS17/160/OHK1/2T/31 (Tepelně vlhkostní analýza historických dvojitých oken a navrhovaných variantních řešení jejich výměn v oblasti připojovací spáry).

V první řadě bych ráda poděkovala svému školiteli Ing. Lukáši Balíkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, mnohé diskuze o zajímavých podnětech k práci a cenné rady a trpělivost. Dále bych ráda poděkovala mnohým kolegům z Kloknerova ústavu pod vedením doc. Ing. Jiřího Kolíska, Ph.D. za příjemné pracovní prostředí a nadšeným kolegům a přátelům, kteří se aktivně zapojili a umožnili experimentální měření na objektech.

Závěrečné poděkování patří rodině a partnerovi za jejich významnou celoživotní podporu a oporu nejen během mého studia.

ABSTRAKT

Stavební konstrukce ostění okna je stavební prvek, který se nachází na každém objektu. V průběhu staletí se konstrukce ostění neustále vyvíjela, proto je možné na konstrukcích nalézt různé typy ostění oken. Disertační práce se zabývá ostěním oken z tepelně vlhkostního hlediska a sleduje především výskyt nežádoucích jevů na konstrukci. V rámci experimentálních měření byly dlouhodobě monitorovány různé konstrukce ostění oken in situ. V rámci dlouhodobých měření byly sledovány kritické podmínky na povrchu konstrukce ostění a to výskyt plísní či kondenzace vodní páry. Dlouhodobá měření byla doplněna o několik krátkodobých měření, jež potvrdily zjištění dlouhodobých měření. V závěru práce byly provedeny modelové výpočty konstrukce ostění okna v 2D softwaru. V rámci modelování byly simulovány různé varianty konstrukčních uspořádání ostění s proměnlivými okrajovými podmínkami. Výsledky těchto modelací jsou ve shodě s experimentálními měřeními a potvrzují, že ostění jednoduchých oken vykazuje častěji kritické podmínky vyskytující se na povrchu konstrukce ostění oproti ostění dvojitěho okna.

KLÍČOVÁ SLOVA

ostění okna, tepelně vlhkostní procesy, dvojitě okno, jednoduché okno, kritické podmínky, kritická povrchová teplota

ABSTRACT

One of the basic building structures is the window reveal which was changed during the centuries. Due to this fact exists many types of window reveal. This work is focused on the critical conditions based on the hygrothermal processes of the surface of the window reveal. The long term monitoring of the building structures (in situ) observe mainly critical conditions to grow up molds and condensation of the water vapor. To extend and confirm observed long terms results few short-term measuring were done. The last part of the work direct at the modeling of the window reveals structure by 2D software. The different structures of the window reveals were modeled with the variable of interior and exterior conditions. The results of the simulation are in accordance with the experimental results and approve, that window surface reveal of the simple window are more often in the critical conditions to grow up molds and condensation of the water vapor in comparison with the window reveal of a double window.

KEYWORDS

window reveal, hygrothermal processes, double window, simple window, critical conditions, critical surface temperature

VELIČINY A ZNAČENÍ

Označení	Jednotka	Termín	Anglický překlad
T, θ	[°C]	Teplota	Temperature
φ	[%]	Relativní vlhkost	Relative humidity
λ	[W/mK]	Součinitel tepelné vodivosti	Thermal conductivity factor
c	[J/kgK]	Měrná tepelná kapacita	Specific heat capacity
b	[W ² s/m ⁴ K ²]	Tepelná jímavost	Thermal capacity
a	[m ² /s]	Součinitel teplotní vodivosti	Temperature conductivity factor
U	[W/m ² K]	Součinitel prostupu tepla	Heat transfer coefficient
$\theta_{si,cr}$	[%]	Kritická vnitřní povrchová vlhkost	Critical surface moisture
α	[m ² /s]	Teplotní vodivost	Temperature diffusivity factor
Φ, Q	[W]=[J/s]	Tepelný tok	Heat flow rate
H	[W/m]	Měrná tepelná ztráta	Heat loss coefficient
q	[W/m ²]	Hustota tepelného toku	Density of heat flow rate
G	[kg/s]	Difúzní tok	Water vapour diffusion flow rate
g	[kg/m ² s]	Hustota difúzního toku	Density of water vapour
μ	[-]	Faktor difúzního odporu	Moisture resistance factor
ρ	[kg/m ³]	Objemová hmotnost	Density
δ	[s]	Součinitel difuze vodní páry	Diffusion coefficients of water vapour
x	[g/kg s.v.]	Měrná vlhkost vzduchu	Humidity by mass
V	[m ³]	Objem	Volume
R	[m ² K/W]	Tepelný odpor	Thermal resistance
R _{si}	[m ² K/W]	Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	Internal resistance of heat transfer
R _{se}	[m ² K/W]	Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	External resistance of heat transfer
p _v	[Pa]	Částečný tlak vodní páry	Partial water vapour pressure
p _a	[Pa]	Atmosferický tlak	Atmospheric pressure
s _d	[m]	Ekvivalentní difuzní tloušťka	Equivalent diffusion thickness
t	[hod, datum]	Čas	Time
Spodní index			
a		Vzduch	Air
ai		Vzduch, vnitřní	Air, internal
ae		Vzduch, vnější	Air, external
c		Proudění	Convection
cd		Vedení	Conduction
dp		Teplota rosného bodu	Dew point
r		Sálání	Radiation
sat		Nasycený	Saturated
s		Povrch	Surface
si		Vnitřní povrch	Internal surface

1 Obsah

1 ÚVOD	10
1.1 MOTIVACE.....	12
1.2 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU DANÉ PROBLEMATIKY.....	12
1.2.1 Rešerše, podklady z České republiky.....	13
1.2.2 Zahraniční rešerše.....	15
1.2.3 Normy.....	17
1.3 CÍL PRÁCE.....	18
1.4 STRUKTURA PRÁCE.....	19
2 TEORIE	20
2.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OSTĚNÍ HISTORICKÝCH OBJEKTŮ.....	20
2.2 MATERIÁLY.....	22
2.3 MIKROKLIMA.....	23
2.3.1 Vnitřní mikroklima.....	24
2.3.2 Vnější mikroklima.....	26
2.3.3 Mikroklima špalety.....	27
2.4 TEORIE STAVEBNÍ FYZIKY, VYSKYTUJÍCÍCH SE V PRÁCI.....	27
2.4.1 Šíření tepla.....	27
2.4.2 Povrchová teplota.....	28
2.4.3 Vzduch.....	31
2.4.4 Šíření vlhkosti.....	34
2.5 PROCESY SLEDOVANÉ V KONSTRUKCI.....	35
2.5.1 Grafické shrnutí.....	36
2.6 NEŽÁDOUCÍ JEVY VZNIKAJÍCÍ NA KONSTRUKCI VNITŘNÍHO OSTĚNÍ..	37
2.6.1 Kondenzace vodní páry.....	37
2.6.2 Plísňe na konstrukci ostění.....	39
2.7 NEŽÁDOUCÍ PROJEVY NA SOUVISEJÍCÍCH KONSTRUKCÍCH.....	40
2.8 REKONSTRUKCE OSTĚNÍ.....	41
2.8.1 Okenní výplně.....	41
2.8.2 Připojovací spára jednoduchých oken.....	42
2.8.3 Zateplení stavební konstrukce.....	43
2.8.4 Změna okrajových podmínek při rekonstrukci staveb.....	45
2.9 PROGRAMY.....	45
2.9.1 Výpočet teploty rosného bodu.....	46
2.9.2 Výpočet kritické vnitřní povrchové teploty.....	46
2.9.3 Výpočet měrné vlhkosti.....	47
2.10 METODY PRŮZKUMY STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ IN SITU.....	47
3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ IN SITU	49
3.1 POPIS MĚŘENÝCH KONSTRUKCÍ.....	49
3.2 TECHNICKÝ POPIS MĚŘENÍ.....	52
3.3 PŘEHLED MĚŘENÍ.....	53

3.4	ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ	56
3.5	VÝSLEDKY DLOUHODOBÉHO EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ	57
3.5.1	Shrnutí dlouhodobých měření	57
3.5.2	Okrajové podmínky mikroklímat a vliv na procesy na ostění	60
3.5.3	Povrchová teplota vnitřního ostění	64
3.5.4	Oblast špalety a pod špaletou	68
3.5.5	Porovnání povrchu špalety a vnitřního ostění	72
3.5.6	Krátkodobé výrazné výkyvy v interiéru ovlivňující vnitřní kondenzační zónu.....	73
3.5.7	Porovnání ostění u historického dvojitého okna a u novodobého jednoduchého okna	75
3.6	VÝSLEDKY KRÁTKODOBÉHO EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ IN-SITU .	77
3.6.1	Vizuální prohlídka in situ zahrnující měření	77
3.6.2	Příklad vyhodnocení plísňe	78
3.6.3	Termovizní měření in situ	79
3.7	SHRnutí EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI.....	80
4	MODELOVÉ VÝPOČTY	83
4.1	SOFTWARE	83
4.2	PODKLADY PRO 2D MODEL.....	83
4.2.1	Model 1 – Konstrukce ostění s dvojitým původním historickým oknem.....	84
4.2.2	Model 2 – Konstrukce ostění okna s jednoduchým oknem na objektu	84
4.3	CÍLE MODELOVÁNÍ	85
4.4	PRINCIP VÝPOČTOVÉHO SOFTWARE	86
4.4.1	Typ modelových výpočtů	86
4.4.2	Výpočtový model	87
4.5	VÝSLEDKY - MODELOVÁNÍ ZA USTÁLENÝCH PODMÍNEK	88
4.5.1	Porovnání tepelně vlhkostních parametrů vnitřního ostění u různých konstrukčních variant oken – model 1	88
4.5.2	Porovnání tepelně vlhkostních parametrů vnitřního ostění k ostatním souvisejícím prvkům stavební konstrukce – model 2	91
4.5.3	Rozdílné podmínky v mikroklímatech exteriéru – model 1	93
4.6	VÝSLEDKY - DYNAMICKÉ MODELOVÁNÍ	93
4.6.1	Orientace ke světovým stranám model 1.....	94
4.6.2	Porovnání oblasti pod špaletou – model 1.....	94
4.6.3	Porovnání povrchových parametrů jednoduchého a dvojitého okna – model 2.....	95
4.7	SHRnutí MODELOVÝCH VÝPOČTŮ.....	96
4.7.1	Výpočet s ustálenými okrajovými podmínkami (konstantní okrajové podmínky).....	97
4.7.2	Výpočet s dynamickými okrajovými podmínkami (roční období).....	98
5	ZÁVĚR.....	99

1 ÚVOD

Každá stavební konstrukce se skládá z mnoha stavebních částí, které společně vytvářejí funkční stavební systém. Konstrukční část obvodové stěny se skládá ze zdí a stavebních otvorů. Stavební otvory jsou vyplněny tzv. výplňovou konstrukcí. Výplňové konstrukce tvoří hlavně okenní a dveřní výplně. Okno je spolu s dveřmi zásadní část obvodové stěny, oproti dveřím jsou okna významněji zastoupena v obvodové zdi. Hlavními požadavky na funkci okna jsou prosvětlení interiéru přirozeným světlem, možnost výměny vzduchu v interiéru (větrání), vizuální kontakt s exteriérem a v neposlední řadě bezpečnost budovy. Otvory a jejich výplně mají primárně užitnou úlohu a jsou prostředníky mezi exteriérem a interiérem stavby. Ze stavebního hlediska jsou výplňové konstrukce definované především tepelně vlhkostními a akustickými parametry. Působení tepla a vlhkosti na stavební konstrukci určují okrajové podmínky konstrukcí (tj. parametry vzduchu prostředí interiéru a exteriéru). Tyto podmínky mají vliv na rozložení teploty a relativní vlhkosti na konstrukci.

Stavební otvor tvoří ohraničení obvodové stěny, skládá se z nadpraží (horní vodorovná část otvoru), parapetní části (spodní vodorovná část otvoru), ostění (postranní svislá část). Ostění je (na rozdíl od nadpraží či parapetní části) zakončení obvodové stěny, které nedotváří jiné vložené materiály či konstrukce (např. překlady, zateplení či oplechování). Okenní výplň rozděluje ostění na část vnitřní a vnější. V místě návaznosti okenní výplně a ostění je tzv. připojovací spára. Připojovací spára okenní konstrukce historického dvojitého okna je většinou připojena na maltu či se v oblasti připojovací spáry může vyskytovat částečně vzduchová dutina. Návaznost jednotlivých konstrukcí na sebe utváří tvar a velikost ostění, přičemž ostění může být zalomené, rovné či šikmé.

V průběhu staletí vznikaly různé typy jak stavebních, tak výplňových konstrukcí, které byly v průběhu času různě vyvíjeny. Ve stavbách se dvojitě okno ustaluje v první polovině 19. století, ve formě dvojitých křídel dovnitř a ven otevíraných oken. Na konci století se i u vnějších křídel oken objevuje otevírání dovnitř („tzv. vídeňské okno“). Dvojitá okna jsou poté běžně používána v objektech až do cca poloviny 20. století, kdy jsou nahrazena okny jednoduchými. Tato dvojitá okna se vyznačují optimální profilací rámu a zasklení a truhlářskými detaily. Rámy oken z tohoto období se vyznačují truhlářskými detaily a přesnými proporcemi. Okenní výplně se velkou měrou podílejí na architektonickém rázu budov. V současné době jsou tyto původní historické výplňové konstrukce nahrazovány novodobými

konstrukcemi s odlišnými materiály a výraznější profilací ráků. Novodobé konstrukce oken jsou tudíž na fasádách většinou vizuálně disproporční od původních oken.

Výplňové konstrukce obecně představují oslabený článek obvodové stěny, neboť v místě okna a dveří je obvodová stěna narušena a dochází k významným tepelným ztrátám v obvodovém plášti budovy a tudíž zde vznikají významné tepelně vlhkostní procesy. Tento jev je nejvíce patrný např. u starších staveb s nově provedeným zateplením a ponechanými starými okny. Z důvodů neustále se zvyšujících požadavků na snižování energetické náročnosti budov je samotná konstrukce okna a dveří v posledních desetiletích podrobena vývoji a optimalizování, které se týká především tepelně technických parametrů.

Rekonstrukce oken se provádí různými způsoby a to repasí stávajících dvojitých oken, výměnou vnějšího křídla s jednoduchým sklem za dvojitě sklo, výměnou vnitřního křídla s jednoduchým sklem za dvojitě sklo či celkovou výměnou dvojitě okna za jednoduché okno. Výměna okna s sebou přináší nemalá úskalí v podobě nutnosti posoudit prostup tepla, prostup světla či posouzení akustiky. Většina těchto posouzení se týká především samotné konstrukce okna. Méně diskutovanou součástí návrhu rekonstrukce okna je tepelně technické posouzení okolních konstrukcí okna, tj. zda nebude v případě provedení výměny docházet k výskytu vlhkostních problémů na povrchu konstrukcí v interiéru. Jedná se o oblast ostění, nadpraží a parapetní část okna. Na těchto oblastech se totiž velmi často v interiéru projevuje kondenzace vodní páry a s tím spojený výskyt plísní. Oblast ostění je proto klíčovou oblastí pro vlastní práci.

Podstata výzkumu v této práci vychází z konstrukcí ostění u historických dvojitých oken z 30. až 60. let 20. století v České republice. Slovo historické v tomto případě asociuje stavby, které nejsou novodobé, ale jejich stáří se pohybuje okolo 60 až 90 let. Rekonstrukce těchto oken jsou v současné době velmi časté z důvodů dožití konstrukce a nevyhovujícím současným požadavkům především z pohledu tepelných ztrát objektu. Výzkum diskutuje tepelně vlhkostní procesy v oblasti ostění ve vztahu k optimalizaci výplňových konstrukcí. Tyto procesy se soustřeďují především na výskyt kritických jevů kondenzace vodní páry a vzniku plísní na povrchu vnitřního ostění.

Smyslem této práce by měl být náhled na historické konstrukce dvojitých oken jako na konstrukce, které mohou zdatně konkurovat svými stavebně fyzikálními parametry současným požadavkům staveb. Zachování architektonického a stavebního rázu je důležitým odkazem pro další generace a je proto nutné historické konstrukce chránit.

1.1 MOTIVACE

Na základě diskuzí s odborníky z Národního Památkového Ústavu (NPÚ) vzešel podnět k nalezení technického řešení v zachování architektonických a památkově cenných konstrukcí oken na historických stavbách, při splnění stále se v dnešní době zvyšujících nároků na „energetické parametry oken“. Důvodem byl v posledních letech převládající trend při rekonstrukcích oken výměny původních historických dvojitého okna za novodobé konstrukce, tj. použití zcela nové konstrukce dvojitého okna či jednoduchého okna, které se liší jak materiálem, tepelně technickými vlastnostmi, tak odlišnou disproporcí od původních oken. Se snižováním energetické náročnosti budovy souvisí i zateplování obvodových stěn budovy, tento fakt je v práci též zohledněn a je provedena diskuze, jaký vliv má zateplení na oblast ostění.

Hlavní motivací práce bylo porovnat tepelně vlhkostní parametry ostění u různých variant konstrukcí oken a zateplení obvodových stěn a stanovit vliv okrajových podmínek na tyto konstrukce. Práce se tedy nezaměřuje na vlastní stávající výplňovou konstrukci, která je v praxi často řešena. Výskyt kondenzace vodní páry či růst plísní na konstrukci ostění je častým jevem, vyskytujícím se na objektech, se kterým se uživatelé a obyvatelé objektu setkávají. Jsou to jevy, které jsou významně nežádoucí z pohledu lidského organismu.

V oblasti ostění dochází při rekonstrukcích ke změně materiálů, změně rozměrů, k vyplňování míst, kde dříve byla vzduchová dutina, či jiným změnám. Smyslem práce je podívat se na ostění jako na konstrukci, která musí splňovat vysoké požadavky v zamezení vzniku plísní či kondenzace vodní páry na povrchu. Kondenzace v místě dřevěného ostění či na povrchu v interiéru je méně vizuálně patrná oproti kondenzaci vodní páry na zasklení. Může se zde skrývat problém, který vyvstane až v řádu dní či měsíců.

1.2 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU DANÉ PROBLEMATIKY

Rešerše pro práci pochází jak z tuzemských, tak zahraničních zdrojů. V rámci česky psaných zdrojů se práce opírá hlavně o veřejně dostupné knihy, publikace, metodiky, normy a vysokoškolské práce (diplomové práce či disertační práce). V případě cizojazyčných zdrojů byly využity jak anglické články, které byly dostupné přes Science Direct, tak německá literatura (publikace). V současné době je daná problematika v menší míře též diskutována na odborných seminářích (např. společnost STOP pro technologie opravy památek).

1.2.1 Rešerše, podklady z České republiky

V následujících odstavcích jsou konstatovány skutečnosti týkající se problematiky dvojitých oken v ČR.

Nosným tématem je rekonstrukce či výměna dožívajících původních historických oken, konstrukce ostění je okrajovým tématem. Rekonstrukcí se míní úprava či výměna dvojitého okna a to buďto nahrazením části konstrukce (vnějšího či vnitřního křídla za křídlo s dvojsklem) či zcela novou konstrukcí okna, či náhradou za jiný typ okna a to okno jednoduché se zasklením s tepelně izolačním dvojsklem či trojsklem.

Smyslem památkové ochrany je snaha zachovat dochovaná hodnotná historická okna a ovlivňovat podobu nových oken ve prospěch zachování adekvátní architektonické podoby.

Z pohledu uživatele dvojitých oken je důležitým faktorem především projev nežádoucích vlhkostních jevů na konstrukci a to rosení oken, vznik plísní na konstrukci je spojován s tepelnými ztrátami okny způsobené „profukováním okna“.

Z pohledu majitelů a správců oken převládá v užívání historických oken otázka ve vztahu ke správné péči o výplňové konstrukce, sledování správné funkčnosti či v neposlední řadě sledování ekonomických parametrů.

V dostupné literatuře z posledních 5 let se vyskytuje např. podrobněji zpracované téma v rámci disertační práce „Tepelně technické vlastnosti rámu okenní výplně a připojovací spáry“ [1]. Práce se týká především vylepšení novodobých systémů okenních konstrukcí z pohledu jejich nedostatků (např. mnohonásobně větší ztráty okenním rámem oproti zasklení) či vlastním provedením připojovací spáry. Autor práce prováděl experimentální měření na reálném modelu metodou teplé skříně. Toto měření je dále porovnáno s modelováním v programu ANSYS a termovizním snímkováním. Dále bylo zhodnoceno ekonomické porovnání různých variant návrhu řešení. Závěrem je udáváno, že zlepšení výplně rámu okna se dosáhlo pomocí vakuové izolace do dutin rámu a bylo nalezeno optimální řešení osazení okenních výplní z hlediska technického, ekonomického i technologického. Jedná se o způsob usazení okna na líc zdiva s přetažením tepelné izolace do dutiny mezi zateplovací systém a zdivo a tím vylepšení tepelně technických vlastností připojovací spáry a následně celkového součinitele prostupu tepla.

Často se v diplomových či disertačních pracích vyskytuje zaměření na výzkum tepelně technických vlastností okenních výplní, např. „Konstrukční varianty oken a jejich vliv na tepelně technické vlastnosti v historických budovách“ autora P. Uvalda [2] či „Předsazená montáž oken“ autora P. Kasala [3].

Významné podklady pocházejí z Národního památkového ústavu [4], který vydává publikace ohledně oken. Péči o historická okna se věnuje např. „Pečujeme o historická okna a dveře“ [5] či „Péče o výplně historických okenních a dveřních otvorů“ [6].

Další zajímavý zdroj informací lze nalézt v metodice „Repliky oken v památkových zónách“ [7]. Metodika byla vypracována autory z Národního památkového ústavu. Je zde zhodnocení přístupu k renovaci či výměně oken na základě velmi podrobného zmapování dostupných podkladů. Metodika je zaměřena na oblast památkové zóny Zlín, konkrétně na okna „Baťových“ domků. V metodice se nachází podrobná dokumentace historických dvojitých oken, vysvětlení stavebně fyzikálních procesů v oknech či popis a posouzení rekonstrukce na reálné stavbě in situ. Autoři uvádějí, že metodika vznikla jako reakce na významný úbytek původních historických okenních výplní u staveb, které nejsou prohlášeny za kulturní památku, ale nacházejí se v plošně chráněných územích (v památkových rezervacích a zónách).

Publikace „Obnova okenních výplní a výkladců“ vydaná Národním památkovým ústavem v roce 2010 [8] se zabývá významnou otázkou repasí, rekonstrukcí či výměnou původních historických okenních konstrukcí. Část publikace obsahuje rozsáhlý popis původních konstrukcí a historický vývoj oken. Popis je doplněn rozsáhlou fotodokumentací a projektovou dokumentací oken. Dále jsou zde popsány jednotlivé prvky konstrukce oken. Popis je doplněn přehlednou terminologií. Další část se věnuje tepelně technickým výpočtům součinitelů prostupu tepla několika variant konstrukcí oken. Pozn. součinitel prostupu tepla pro okenní konstrukci zahrnuje rám i zasklení okna. V rámci výpočtů byly porovnávány tyto konstrukce: původní historické dvojitě okno, dvojitě okno s dvojsklem na vnitřním křídle, dvojitě okno s dvojsklem na vnějším křídle a jednoduché okno. Z porovnání vychází, že nejpříznivější tepelně izolační parametry vykazuje dvojitě okno s dvojsklem na vnějším křídle (hodnota součinitele prostupu tepla $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$), pro původní historické dvojitě okno vychází součinitel $U = 2,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, okno s dvojsklem na vnitřním křídle $U = 1,36 \text{ W/m}^2$ a jednoduché okno s dvojsklem $U = 1,35 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Z pohledu stavební fyziky a výskytu nežádoucích jevů na povrchové oblasti vnitřního ostění do rešerší spadá široká škála článků zaměřených na diskuzi fyzikálních parametrů. Mezi tyto články patří např. „Vliv parametrů vnitřního prostředí na vznik kondenzačních oblastí“, autor M. Papranec [9] či „Faktory ovlivňující vnitřní povrchovou teplotu a kondenzaci na povrchu konstrukcí-Díl 1“, autoři M. Papranec a D. Bečkovský [10].

V článku „Nejnižší povrchová teplota výplní otvorů“ [11] autor P. Slanina informuje o normativních úpravách tepelně technických parametrů pro navrhování staveb. Např. uvádí

změnu v normě ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budovy (2012), tj. kde byl požadavek na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu výplní oken přesunut z normativní části do informativní. Článek též obsahuje vlastní autorovo tepelně technické posouzení ve 2D softwaru. V závěru uvádí, že požadavek na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu výplní otvoru je požadavek na stavbu, nikoliv na výrobek okno, a proto výplně otvorů je nezbytné posuzovat pouze v návaznosti na vnější a vnitřní prostředí budovy a ve vztahu k ostatním stavebním konstrukcím. Dále autor doporučuje projektantům a zhotovitelům používat pouze kvalitní výrobky s plastovými (teplými rámečky) a při zabudování výplní otvorů přetahovat vnější tepelný izolant přes rám výplně minimálně o 3 až 4 cm.

Co se týče odborných seminářů či konferencí, téma rekonstrukce dvojitých oken bylo v poslední době diskutováno odbornou veřejností na seminářích pořádané společností STOP (Společnost pro technologie ochrany památek) [12]. V uplynulých letech byly uspořádány dva semináře „Okna historických budov I“ v roce 2014 [13] a „Okna historických budov II“ v roce 2015 [14].

1.2.2 Zahraniční rešerše

Dle databáze Science Direct (např. Journal - Energy and building) je problematika tepelně vlhkostních procesů a ostění za posledních pět let (2015 - 2020) popsána cca v 375 odborných, recenzovaných článcích, viz tabulka 1. Většina řešené problematiky souvisí s renovací oken a problematikou tepelných zisků a ztrát okenních výplní včetně prostupu tepla. V některých článcích autoři popisují tepelně vlhkostní procesy v 2D modelovacích výpočtech.

Tabulka 1: Počet článků v databázi Science Direct v letech 2015 až 2020

Klíčové slovo	Počet nalezených článků
Window fillings	203
Window and thermal bridge	44
Historic building and window	22
Window reveal and surface temperature	6
Condensation and window	121

V publikaci „Hygrothermal analysis of window construction joints“ [15] se maďarští autoři B. Nagy a C. Tömböly zabývají výzkumem připojovací spáry okenních konstrukcí (jednoduchých oken) a různých způsobů použití tepelné izolace a umístění okenní konstrukce v různých úrovních ostění od exteriérové strany a zateplení. Výzkum je proveden na základě modelování v tepelně vlhkostním softwaru. Porovnání je vypracováno na detailech ostění, nadpraží i parapetu. Modelování je provedeno za konstantních okrajových podmínek. Výsledky ukazují odlišný průběh sledovaných parametrů (teplota, vlhkost) na různě izolovaných připojovacích spárách a na odlišnostech při použití expandovaného polystyrenu či minerální vaty. Při

výzkumu povrchových teplot bylo zjištěno, že rozdíl je víceméně zanedbatelný, rozdíl byl zjištěn u tepelných toků, kdy měla okna umístěná na vnější stranu s izolací minerálních vláken až o 26 % menší tepelné ztráty než ostatní konstrukce.

V článku „Critical values for temperatur to assess thermal bridge“ [16] estonští autoři T. Kalamees a kolektiv zmiňují výsledky klimatické analýzy ke stanovení hodnoty teplotního faktoru. Teplotní faktor slouží k posouzení konstrukce při prohlídce objektů termovizní kamerou pláště budovy. Termovizní měření vyhledává tepelné mosty na povrchu konstrukce, tj. místa, která lokálně vykazují výrazně odlišné teploty od okolních ploch. Analýza vychází z naměřených meteorologických dat (exteriérové podmínky) a kritických povrchových hodnot z terénních měření. Kritériem k vyloučení tepelných mostů bylo vyloučení povrchové kondenzace a růstu plísní. Kritické hodnoty teplotního faktoru byly vypočteny pro různé vnitřní vlhkosti a teplotní podmínky. Bylo zjištěno, že pro tepelné mosty v bytech s vyšší vlhkostí a nízkou ventilací by teplotní faktor f_{Rsi} měl být vyšší než 0,8 či 0,7 (podmínky pro kondenzaci). Pro domy s normální vlhkostí a větráním (okolo 50 %) pro růst plísní musí být teplotní faktor větší než 0,65 (plísně) či 0,55 (kondenzace).

Článek „Moisture problems of functional joints of wooden window – causes analysis“ [17] slovenských autorů A. Palková, M. Palko a P. Buday je zaměřen na vlhkostní problémy na funkční spáře okna. Autoři vycházejí ze zvyšujících se požadavků na energetickou náročnost oken. Od roku 2020 se jedná o budovy s téměř nulovou potřebou energie, které nelze dosáhnout bez rekuperačních systémů. Koncept rekuperačních systémů obvykle funguje jako tlakový systém, který zvyšuje pravděpodobnost exfiltrace. Článek popisuje experiment prováděný v laboratoři v klimatické komoře. Provedená měření ukazují, že difuze vodní páry může překonat infiltrační tok venkovního vzduchu, a to má za následek námrazu nebo kondenzaci na funkční spáře okna, které následně poškodí povrchovou úpravu dřeva či podmíní růst plísní na povrchu.

Článek „Mould growth prediction by computational simulation on historic“ [18] německých autorů M. Krus, P. Kilian a K. Sedlbauer pojednává o predikci růstu plísní pomocí výpočetní simulace. Poukazuje na stav, kdy jsou historické budovy renovovány s vysokými časovými a finančními výdaji, aniž by byly zkoumány a zvažovány příčiny jejich nedostatků. V mnoha případech lze historické budovy udržovat pouze změnou jejich využití. Tato změna může výrazně ovlivnit vnitřní klima. Byl vyvinut předpokladní model, který jednoduše popisuje závislost růstu plísní a jeho prostředí na povrchové teplotě. Model byl vyvinut v softwaru WUFI. V článku je též uvedeno praktické použití pro budovu muzea v Amsterodamu. Zabývá

se vnitřním zateplením ostění historických objektů. Vnitřní a vnější ostění oken muzea je z pískovce. Simulace ukazuje, že kvůli vysoké tepelné vodivosti pískovce, zejména v zimním období, dochází k nízkým povrchovým teplotám v interiéru a vysoké relativní vlhkosti (10,8 °C 97 %) Vnitřní izolace z tepelně izolačních desek (difúzně otevřený materiál z křemičitanu vápenatého) o tloušťce 40 mm zlepšuje podmínky, teplota se zvýšila na 13,1 °C při 87 %.

V článku „Analysis of heat flow in composite structures used in window installation“ [19] polští autoři J. Adamus a M. Pomada popisují tepelné toky v kompozitní konstrukci parapetní oblasti okna použité při instalaci okenních konstrukcí. Byl analyzován vliv materiálu kotvení okenní konstrukce. Numerické výpočty byly zpracovány v systému ADINA (metoda konečných prvků), výpočty byly doplněny experimentálním měřením. Bylo zjištěno, že kovové výztuhy v parapetních nosnících mají významný vliv na distribuci teplot ve vnější stěně. Posunutí okna do tepelně izolační vrstvy pomocí montážních prvků z materiálů s nízkým součinitelem prostupu tepla vylučuje riziko kondenzace na vnitřním povrchu stěny v zimním období. Při porovnání experimentálních a numerických výpočtů nepřesáhly teplotní rozdíly 5 %.

Článek „Providing thermal protection when replacing window blocks in historical buildings“ [20] autorů A. Konstantinov a A. Mukhin popisuje nahrazení původních dvojitých oken novými konstrukcemi oken na historických objektech. Ve vlastní analýze je uvedeno modelové porovnání průběhu teplot na konstrukci ostění. Porovnání obsahuje původní dvojitě okno a nové jednoduché okno, se zateplením ostění a bez zateplení ostění. Bylo zjištěno, že použití nových jednoduchých oken do historických budov vede ke vzniku kritických povrchových oblastí v oblasti ostění. Je proto nutné dodatečné použití tepelné izolace vnitřního ostění.

Německá kniha „Bauphysik und Denkmalpflege“ [21], autor Helmut Künzel, se zabývá stavební fyzikou ve vztahu k historickým stavbám. Zahrnuje analýzu kondenzace vodní páry na konstrukcích v interiéru. Kniha je doplněna mnohými inspirativními grafy z dlouhodobých měření podmínek mikroklimat a povrchových teplot.

1.2.3 Normy

Normativní dokumenty v ČR týkající se této problematiky obsahují základní normy tepelné ochrany budov tj. ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie (2005) [22], ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky (2011) [23], ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin (2005) [24] a ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody (2005) [25].

Mezi další normy týkající se problematiky posouzení konstrukcí a kondenzace vodních par se řadí ČSN EN ISO 9346 Tepelně vlhkostní chování budov a materiálů [26], Tepelně vlhkostní chování budov a stavebních materiálů – Fyzikální veličiny pro přenos hmoty – Slovník (2008) [26] či ČSN EN ISO 10211 Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchové teploty – podrobný výpočet [27].

Následující normy uvádí problematiku numerické simulace: Hodnocení šíření vlhkosti stavebními dílci pomocí numerické simulace ČSN EN 15026 [28] a Tepelně-vlhkostní chování stavebních konstrukcí a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzaci uvnitř konstrukce – Výpočtové metody ČSN EN 13788 [29].

Výpočet tepelně technických vlastností konstrukcí oken je uveden v ČSN EN ISO 10077-1 Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 1: Obecně[30] a ČSN EN ISO 10077-2 Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 2: Výpočtová metoda pro rámy [31].

1.3 CÍL PRÁCE

Cílem práce je sledování tepelně vlhkostních procesů v oblasti ostění oken ve vztahu ke kritickým podmínkám těchto konstrukcí (tj. podmínkám pro kondenzaci vodní páry či růstu plísní).

Cílem disertační práce je:

1) stanovení okrajových podmínek prostředí a shrnutí extrémních podmínek ovlivňujících stavební konstrukci ostění,

Okrajové podmínky prostředí ovlivňují tepelně vlhkostní procesy ve stavební konstrukci. Cílem je vyhledat a stanovit extrémní podmínky, které nejvíce ovlivňují stavební konstrukci a způsobují vznik nežádoucích jevů na konstrukci, tj. vznik a růst plísní či kondenzaci vodní páry.

2) stanovení tepelně vlhkostních procesů v konstrukci a na povrchu konstrukce ostění,

Podrobně popsat a graficky vyjádřit působení a rozvržení tepelně vlhkostních v oblasti konstrukce (teplota, relativní vlhkost, tepelné toky).

3) stanovení tepelně vlhkostních rozdílů mezi konstrukcemi jednoduchého okna a dvojitého okna,

Porovnání srovnává dva základní konstrukční typy okenních výplní, tj. dvojitě a jednoduché okno. Výsledky vychází z rozvržení tepelně vlhkostních procesů na povrchu konstrukce vnitřního ostění.

- 4) **stanovení optimálního řešení rekonstrukcí oken (včetně vlivu zateplení) ve vztahu k ostění z pozice přiměřených tepelných toků a oblastí bez kondenzace a plísní,**
- 5) **vyjádření optimálního řešení rekonstrukcí oken ve vztahu k ostění ve vztahu k objektu památkové péče a zlepšení energetické náročnosti.**

1.4 STRUKTURA PRÁCE

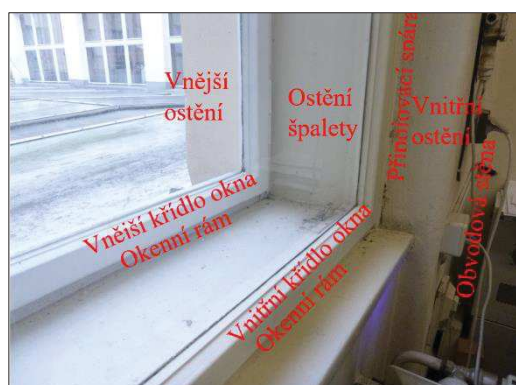
Tato disertační práce se skládá z několika částí. Úvodní část je zaměřena na obecné seznámení se studovanou problematikou. Teoretická část zahrnuje popis stavebních konstrukcí, vysvětlení stavebně fyzikální problematiky tepelně vlhkostních procesů v závislosti na jejich okrajových podmínkách. Další kapitoly obsahují vlastní práci autora. Experimentální část obsahuje vlastní výzkum zahrnující autorova dlouhodobá měření reálných konstrukcí in situ. Měření zahrnovala monitorování tepelných a vlhkostních parametrů předmětných oblastí stavební konstrukce včetně monitorování okolních prostředí. Kapitola věnující se modelovým výpočtům zahrnuje tepelně vlhkostní modelování stavebních konstrukcí měřených v experimentální části. Modelové výpočty porovnávají jednotlivé konstrukce pomocí různě zadaných okrajových podmínek či různých konstrukčních řešení. Závěr práce shrnuje získané výsledky z experimentálního měření a modelových výpočtů.

2 TEORIE

Kapitola Teorie shrnuje ostění jak z pohledu stavebně technického (konstrukce, materiály), vlivu okolního prostředí, tak specifikací tepelně vlhkostních procesů, které jsou na konstrukci sledované. Věnuje se též shrnutí informací ohledně nežádoucích jevů vyskytujících se na konstrukci (plísně, kondenzace vodní páry). Stavebně technická část se zaměřuje jednak na geometrický popis konstrukce tak na přehled použitých materiálů či možných variant rekonstrukcí. Dále jsou popsány okrajové podmínky prostředí (neboli mikroklimata), která ovlivňují chování stavební konstrukce ostění. Podstatná část kapitoly obsahuje souhrn tepelně fyzikálních procesů působících ve stavební konstrukci. Jsou zde popsány principy šíření tepla a vlhkosti, specifikovány konkrétní veličiny a vyjádřeny závislosti jednotlivých parametrů. V závěru kapitoly je uvedeno shrnutí různých typů ostění v závislosti na typech okenních výplní.

2.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OSTĚNÍ HISTORICKÝCH OBJEKTŮ

Konstrukce ostění tvoří postranní část okenní výplně. Konstrukčně lze ostění definovat pomocí tvaru, přiléhající okenní konstrukce, materiálu povrchové vrstvy, dle vzdálenosti okenních křídel od líce obvodové stěny (tj. polohy okenní konstrukce v obvodové stěně), v případě dvojitého okna pak dle šířky špalety okna. Dva základní typy oken jsou okno dvojitě a jednoduché. Konstrukce dvojitého okna zahrnuje dvě dovnitř otvíraná křídla oken, viz obr. 1, která jsou oddělena vnitřní dřevěnou špaletou. Konstrukci jednoduchého okna tvoří jedno křídlo okna, viz obr. 2. [32]



Obr. 1: Popis konstrukce ostění u dvojitého okna



Obr. 2: Popis konstrukce ostění u jednoduchého okna

Okenní konstrukce k ostění přiléhá okenním rámem. Styk okenního rámu a ostění obvodové stěny tvoří připojovací spára. Okenní konstrukce rozděluje ostění na tři části: vnitřní ostění,

ostění ve špaletě a vnější ostění. Na obr. 3 je zobrazeno původní historické dvojité okno s barevným vyznačením jednotlivých částí ostění.



Obr. 3: Dvojité okno, vyznačená plocha vnitřního ostění (červeně), mezi ostění (zeleně) a vnějšího ostění

Tvar ostění (neboli vodorovný řez stěnou) může být přímý, zalomený či šikmý. Schématické znázornění těchto tvarů je zobrazeno v tabulce 2. Šířku jednotlivých částí ostění v interiéru určuje konstrukce okna, přičemž šířka ostění v interiéru je určena vzdáleností mezi lícem obvodové stěny v interiéru a lícem přípojovací spáry v interiéru. Zatímco v první polovině 20. století se nejčastěji vyskytují okna se zalomeným ostěním, později převládá tvar rovného ostění [33].

Tabulka 2: Názorná schémata různých typů ostění dle tvaru ostění

Dle tvaru ostění		
rovné	zalomené	šikmé

Část ostění je konstrukčně spjata s konstrukcí okna. Tvoří ji přípojovací spára, která může být provedena v různých konstrukčních variantách s ohledem na typ okenní konstrukce. Přípojovací spáru původního dvojitého okna tvoří oblast dřevěného ostění a ostění obvodové stěny. Tento prostor (šířka cca 2-3 cm) je tvořen stavební maltou či může být částečně tvořen vzduchovou dutinou. Svrchní vrstvu ostění v jednotlivých částech tvoří povrchová úprava. Pod touto úpravou se nachází vlastní nosná část ostění, tj. nejčastěji obvodová stěna konstrukce či jiný např. staticky významný celek. Na obr. 4 je zobrazena ukázka obnaženého ostění po vybourání původního historického dvojitého okna. Fyzikální procesy, které probíhají na povrchu či skrz předmětnou stavební konstrukci jsou vysvětleny v kapitole 2.4 a 2.5.



Obr. 4: Obnažené ostění původního dvojitého okna

2.2 MATERIÁLY

Tato kapitola shrnuje použité materiály v povrchové vrstvě ostění a dává přehled o jejich materiálových charakteristikách. Materiály na předmětné stavební konstrukci se odlišují svými tepelnými a vlhkostními parametry. Materiál ostění v interiéru a exteriéru bývá totožný s materiálem vnitřní obvodové stěny. Nejčastěji je tvořen omítkou. Dále může být tvořen dřevěným obkladem či obložen keramickými obklady. Materiál ostění ve špaletě je tvořen dřevěnou špaletou (tj. tvoří ji část okenní konstrukce dvojitého okna). Vnější část ostění je tvořena exteriérovou omítkou. Přehled materiálů s jejich základními tepelně vlhkostními vlastnostmi je uveden v tabulce 3. Tyto vlastnosti materiálů určují prostup tepla a vodní páry skrze povrchovou vrstvu konstrukce. Vzhledem k tepelně vlhkostním procesům jsou nejvhodnější materiály s nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti a nízkou hodnotou faktoru difúzního odporu. V případě faktoru difúzního odporu platí, že čím nižší hodnota je, tím je materiál prostupnější pro vodní páru. V případě omítek vychází nejlépe vápenná omítka. Naopak omítka s akrylátovým nátěrem na povrchu má mnohonásobně nižší prostup vodní páry. Součinitel tepelné vodivosti u všech specifikovaných materiálů je porovnatelný. V případě materiálu dřeva se jedná především o sledování parametrů optimálního vysušení. V případě dřeva je důležitým parametrem jeho hygroskopicita, což je obsah vlhkosti ve vztahu k okolnímu prostředí a náchylnosti k degradačním procesům. [34], [35]

Tabulka 3: Materiálové charakteristiky dle databáze Svoboda Software Teplo verze 2017 [36]

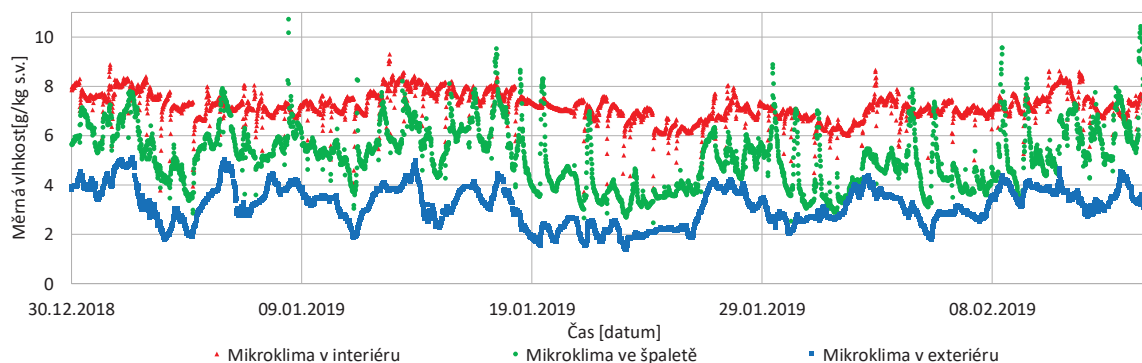
	Součinitel tepelné vodivosti	Měrná tepelná kapacita	Objemová hmotnost	Faktor difuzního odporu	Součinitel difuze vodní páry
Materiál	λ [W/mK]	C [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	μ [-]	δ [s*10 ⁻⁹]
Sádrová omítka	0,57	1 000	1300	10	0,0188
Vápenná omítka	0,87	840	1600	6	0,0031
Vápenocementová omítka	0,99	790	2 000	19	0,0100
Sanační omítka WTA	0,53	790	1 400	12	0,0157
Břizolit	0,90	840	1 900	25	0,0075
Keramický obklad	1,01	840	2 000	200	0,0001
Sádrokarton	0,22	1 060	750	9	0,0210
Materiál pro okna (části rámu z měkkého dřeva)	0,13	1 600	500	50	0,0038
Materiál pro okna (části rámu z tvrdého dřeva)	0,18	1 600	700	200	0,0009
Vápenná barva malířská	1	1 000	1 500	120	0,0015
Akrylátový nátěr	0,7	900	1 600	230	0,0008

2.3 MIKROKLIMA

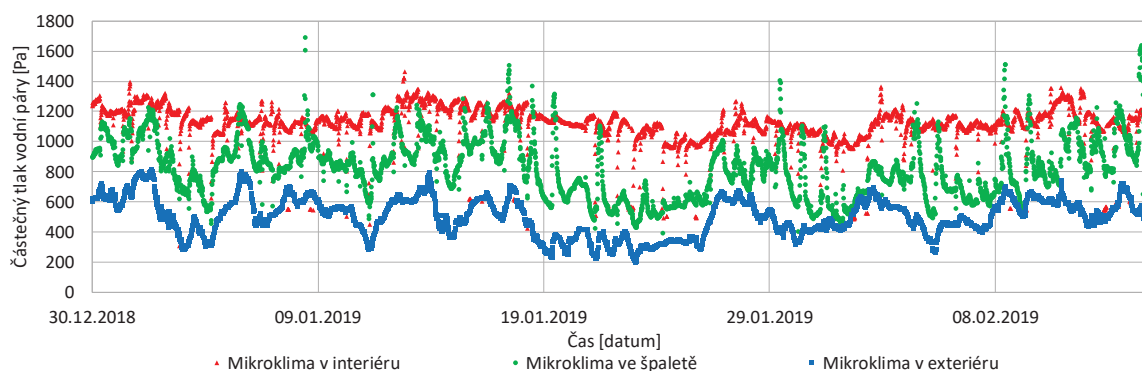
Stavební konstrukce odděluje jednotlivá prostředí neboli mikroklimata, která jsou utvářena exteriérem a interiérem či vzájemnou interakcí obou prostředí, tj. prostředí špalety dvojitého okna. Mikroklimata jsou určena teplotou, relativní vlhkostí a rychlostí proudění vzduchu. Tepelně vlhkostní procesy vznikají na základě rozdílných podmínek jednotlivých mikroklimat.

Stavební konstrukce, skládající se z obvodové stěny, okenní výplně a ostění, tvoří bariéru mezi exteriérem a interiérem. Skrze tuto bariéru prochází teplo a vodní pára. Tok vodních pár skrze obvodovou stěnu probíhá z interiéru do exteriéru během převážné části ročního období. Tok probíhá na základě rozdílů částečných tlaků vodní páry, viz graf 2. Je vidět zásadní rozdíl v množství vodní páry ve vzduchu. V interiéru je množství vodní páry několikanásobně vyšší, a proto se pára „tlačí“ z interiéru do exteriéru a proudí skrze oddělovací konstrukci. Stav mikroklimatu interiéru má tudíž velký vliv na procesy probíhající na povrchu konstrukce a v konstrukci. Čím teplejší a vlhčí interiér, tím se rapidně zvyšuje teplota rosného bodu v místnosti a tím musí mít obvodová stěna lepší tepelně technické parametry. Správně navržená a fungující je ta konstrukce, na které nejsou přítomny nežádoucí jevy (např. plísně, kondenzace vodní páry).

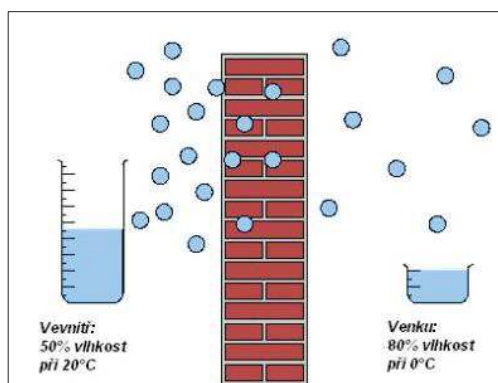
Ukázka měření na grafu 1 a 2 zobrazuje naměřené hodnoty mikroklimatu měřeného v blízkosti stavební konstrukce ostění, tj. mikroklimatu interiéru (červeně značeno), mikroklimatu ve špaletě (zeleně značeno) a mikroklimatu exteriéru (modře značeno). Graficky je znázorněno obecně porovnání obsahu vlhkosti v mikroklimatu při různé teplotě na obr. 5. Stavebně fyzikální podtext parametrů vzduchu je uveden v kapitole 2.4.



Graf 1: Průběh měrné vlhkosti v interiéru (červeně), ve špaletě (zeleně) a v exteriéru (modře)



Graf 2: Průběh částečného tlaku vodní páry v interiéru (červeně), ve špaletě (zeleně) a v exteriéru (modře)

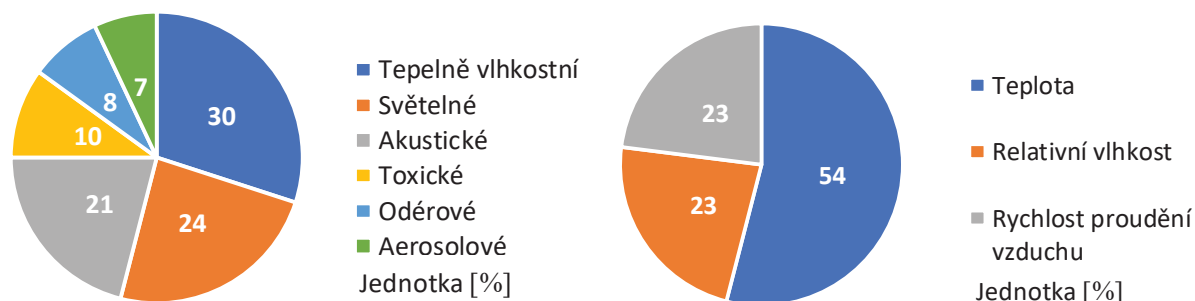


Obr. 5: Názorné porovnání kolik obsahuje vzduch vody při 50 % (20°C) a při 80 % (0°C) [37]

2.3.1 Vnitřní mikroklima

Vnitřní mikroklima tvoří prostředí interiéru. Toto mikroklima je dynamické a neustále se mění. Interiérové mikroklima obytných budov se skládá z jednotlivých složek, mezi než patří: tepelně vlhkostní, světelné, akustické, toxické, odérové a aerosolové složky. Procentuální zastoupení těchto složek je vyjádřeno v grafu 3. Nejvíce je zastoupena 30 % právě tepelně vlhkostní složka. Podíl zastoupení tepelně vlhkostní složky mikroklima je vyjádřeno v procentech v grafu 4 [38]. Na tepelně vlhkostní složku má největší vliv teplota (z 54 %). Parametry mikroklimatu interiéru se liší dle užitné funkce interiéru. Jiné jsou návrhové podmínky pro obývání prostoru lidmi (20 °C a 50 %) či pro skladování (např. 15 °C, 65 %)

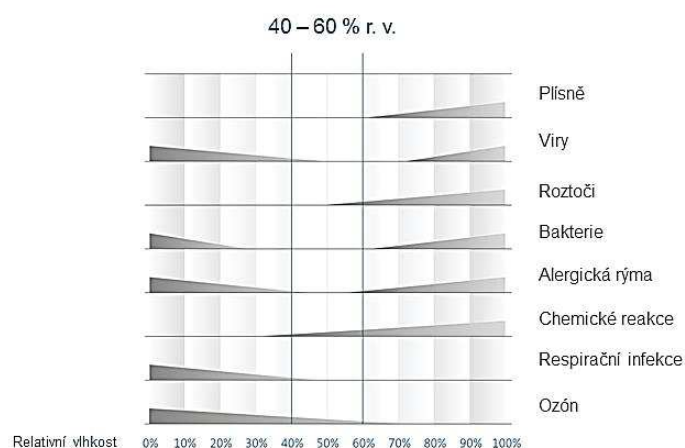
[24]. Mikroklima interiéru je též závislé na vnější obálce prostoru, tj. okolních stěnách a okenní výplni. Stěny v závislosti na základě vlastností materiálů absorbují či adsorbují vlhkost na základě dotace okolním prostředím.



Graf 3: Interní složky obytných budov, zastoupení vyjádřené v procentech [38]

Graf 4: Tepelně vlhkostní složky vyjádřené v procentech [38]

Sterling-Scofieldův diagram na obr. 6 znázorňuje vlivy prostředí na lidský organismus v závislosti na relativní vlhkosti. Optimální podmínky pro pobyt lidí v interiéru jsou 40 % až 60 % relativní vlhkost vzduchu.



Obr. 6: Sterling-Scofieldův diagram (1985) [39]

Prostředí s relativní vlhkostí menší než 40 % je prostředí suché, s relativní vlhkostí vyšší než 60 % je prostředí vlhké. Vyhláška č. 6/2003 [40] stanovuje hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

Obsah vlhkosti ve vzduchu závisí na zdrojích vlhkosti v interiéru a na povaze materiálů stavební konstrukce. V případě bytu je dominantním zdrojem vlhkosti koupelna či kuchyně, dále rostliny a pobyt lidí. Vliv lidí na obsah vlhkosti v místnosti je patrný např. po ránu kondenzací vodní páry na zasklení okna. Mikroklima interiéru se monitoruje též z důvodu optimálního prostředí pro pobyt lidí dle obsahu CO₂ [41]. S tímto parametrem souvisí samotná konstrukce okenní výplně. V případě použití historických původních oken je konstrukce méně těsná a tudíž je

prostor interiéru přirozeně provětráván. V případě použití novodobých oken jsou konstrukce mnohonásobně těsnější a ovlivňují průběh vodní páry v její blízkosti, to znamená i v blízkosti konstrukce ostění.

Mikroklima interiéru historických budov je mezi odbornou veřejností často řešenou problematikou. Je to z důvodů ochrany a zachování kulturních památek, zamezení degradace materiálů a nastavení vhodného způsobu fungování ve vztahu k návštěvníkům památek. Tato problematika je řešena např. v Publikaci „Developments in climate control of historic buildings“ [42], v „Optimalizaci vnitřního prostředí historické místnosti“ [43] či v disertační práci „Interní mikroklima v historických objektech“ [44].

Historické stavby mají oproti dnešním zvyklostem vysoké stropy, což má významný vliv na rozdíl obsahu vodní páry v těchto místnostech. Tabulka 4 ukazuje porovnání obsahu vodní páry ve vzduchu v místnostech s různou výškou stropu, podlahová plocha místnosti je 20 m², teplota 20 °C. Výpočet vychází z Mollierova diagramu [45]. V případě stejného množství vodní páry v místnostech o stejném půdorysu, ale jiné výšce stropu, vykazuje místnost s vysokým stropem o 15 % nižší relativní vlhkost vzduchu.

Tabulka 4: Porovnání vlhkosti v různě vysokých místnostech při shodné měrné vlhkosti

Ozn. míst.	Výška místnosti	Objem místnosti	Suchý vzduch	Such. vz. místn.	Měrná vlhkost	Měr. vlh. v místnosti	Odpovídající rel.vlh. při 20 °C
	[m]	[m ³]	[kg s.v./m ³]	[kg.s.v]	[g/kg s.v.]	[g v.p.]	[%]
1	2,6	52	1,19	43,7	7,4	323,4	50
2	3,7	52	1,19	62,2	5,2	323,4	35

Mezi parametry, které ovlivňují mikroklima, patří zdroje vodní páry. Na následujícím výpočtu v tabulce 5 je ukázán příklad, jakou hraje roli zdroj vlhkosti (květina) ve špaletě okna na obsah vlhkosti v prostoru. Je počítáno s úvahou, že květina produkuje 5 g/h vodní páry. Stav mikroklimatu ve špaletě je stálý a během hodiny neměnný. Je vidět, že květina má zásadní vliv na mikroklima v prostředí špalety a její přítomnost způsobí zvýšení vlhkosti a dochází ke kondenzaci vodní páry [41], [46], [45].

Tabulka 5: Jak se zvýší dodaný zdroj vlhkosti ve špaletě (květina) celkovou vlhkost v prostoru

Ozn. míst.	Objem špalety	Měrná Vlhkost	Suchý vzduch	Suchý vzduch ve špaletě	Vodní páry v místnosti	Odpovídající rel.vlh při 10 °C
	[m ³]	[g/kg s.v.]	[kg s.v./m ³]	[kg.s.v]	[g v.p.]	[%]
1	0,75	5,2	1,19	0,63	3,3	68
2	0,75	13,1	1,19	0,63	8,3	100

Pozn. Prostor vnitřní špalety 1,5 x 2 x 0,25 m = 0,75 m³

2.3.2 Vnější mikroklima

Vnější mikroklima tvoří prostředí exteriéru. Parametry exteriéru jsou kromě základních parametrů teploty a vlhkosti ovlivněny slunečním zářením, větrem či deštěm. Prostředí

exteriéru je specifické pro dané lokality, lokality se odlišují jak nadmořskou výškou, tak hustotou zástavby. Pro posouzení modelů konstrukcí, přesněji tepelně vlhkostních výpočtů stavebních konstrukcí, se používá hodnota extrémní návrhové teploty venkovního vzduchu. Tabulka 6 shrnuje návrhové teploty venkovního vzduchu dle teplotních oblastí v ČR [47]. Pro přesnější posouzení konstrukcí je vhodné vycházet z dlouhodobých dat, které poskytuje Český hydrometeorologický ústav [48] či nejbližší meteorologické stanice [49]. Pro získání reálného chování konstrukce v závislosti na okrajových exteriérových podmínkách je ideální použít data z měření in situ.

Tabulka 6: Přehled teplotních oblastí v ČR

Obec/místo	Nadmořská výška [m n.m.]	Teplotní oblast (označení)	Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období [°C]
Praha	181	1	-13
Plzeň	311	2	-15
Klatovy	409	3	-17
Horské oblasti ČR	820	4	-20

2.3.3 Mikroklima špalety

V případě dvojitého okna je stavební konstrukce ostění obklopena ještě dalším mikroklimatem. A to mikroklimatem, které se nachází mezi okenními křídly dvojitého okna. Toto mikroklima tvoří přechod mezi interiérem a exteriérem. Krátkodobě může být ovlivněno extrémními podmínkami a to především v závislosti na oslunění prostoru špalety či během větrání.

Ke zvláštnímu jevu v prostoru špalety dochází při působení slunečního záření. To ohřeje vzduch ve špaletě, dojde ke snížení relativní vlhkosti a následně se do prostoru dostává vodní pára z interiéru spárovou difuzí do vzduchové mezery. Když pak sluneční záření pomine, mezera se ochladí a přebytečná vodní pára zkondenzuje. Venkovní chladné sálání prostor vzduchové mezery a vnější sklo ještě více ochladí, čímž se kondenzace znásobí [7].

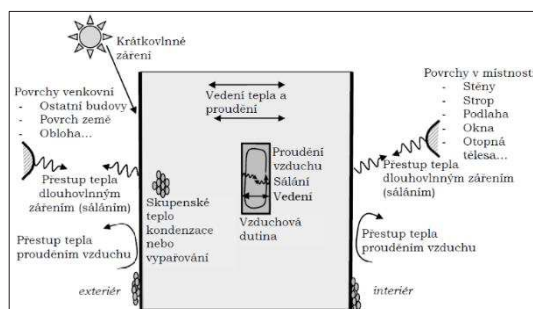
2.4 TEORIE STAVEBNÍ FYZIKY, VYSKYTUJÍCÍCH SE V PRÁCI

V souvislosti s tématem disertační práce jsou sledovány tepelně vlhkostní procesy. Jedná se o procesy, které probíhají v povrchové vrstvě konstrukce, či v blízkosti povrchu. Sledují se procesy šíření tepla a vlhkosti. Tyto procesy šíření tepla a šíření vlhkosti se vzájemně ovlivňují. Fyzikální zákonitosti šíření tepla a vlhkosti použité pro výzkum v práci jsou vysvětleny v následujících kapitolách.

2.4.1 Šíření tepla

Kapitola šíření tepla obsahuje popis procesů, které se podílejí na transportu energie z jednoho místa na druhé. Přenos probíhá v pevných látkách, kapalinách a plynech. Vedení tepla je dominantní v pevných látkách, proudění a sálání jsou naopak důležité v kapalinách a plynech,

např. ve vzduchové dutině uzavřené v pevném materiálu. V kapitole jsou uvedeny vybrané procesy, které nejvíce ovlivňují konstrukci ostění [27]. Na obr. 7 je zobrazeno grafické vyjádření šíření tepla stavebním prvkem.



Obr. 7: Grafické vyjádření šíření tepla stavebním prvkem [50]

Šíření tepla vedením

Šíření tepla vedením v pevné látce popisuje Fourierův zákon. Tento zákon popisuje základní veličinu přenosu tepla - hustotu tepelného toku q_{cd} (1). Hustota tepelného toku je přímo úměrná teplotnímu gradientu a má opačný směr než vektor teplotního gradientu. λ je součinitel tepelné vodivosti [W/mK], T je teplota [K], x je souřadnice v metrech. Šíření tepla ovlivňují vlastnosti materiálů. Čím vyšší je hodnota teplotní vodivosti materiálu, tím rychleji se po změně teploty okolí dostane teplota materiálu do rovnovážného stavu s teplotou okolí.

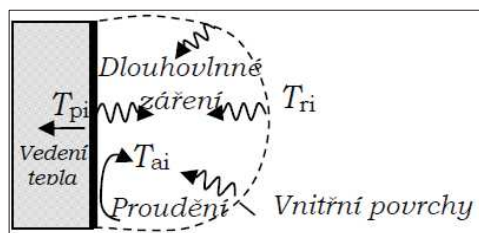
$$q_{cd} = -\lambda \frac{dy}{dx} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1)$$

Šíření tepla v uzavřené dutině

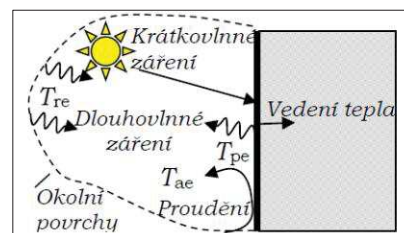
Dutina je vrstva plynu, jejíž tloušťka je v porovnání s ostatními rozměry malá. V dutině s plynem dochází ke všem třem druhům šíření tepla. Pro výpočty se využívá orientační hodnota tepelného odporu dutiny, viz např. publikace „Materiál a konstrukce“, autora P. Kopeckého [51].

2.4.2 Povrchová teplota

Povrchovou teplotu konstrukce ovlivňuje jednak vedení tepla v samotné konstrukci, tak proudění a záření v okolí konstrukce. Případů, kdy se přímo zadávají povrchové teploty, je velmi málo. Obvykle jsou známy teploty obklopujícího prostředí. Z prostředí do povrchu stěny, případně z povrchu stěny do prostředí, se teplo šíří prouděním a sáláním. Komplexní vliv tohoto působení lze nahradit odpory při přestupu tepla na vnitřní R_{si} a vnější straně stěn R_{se} , viz obr. 8 a obr. 9 v [52]. U velmi dobře tepelně izolované budovy lze předpokládat, že teploty povrchů jsou blízké teplotě vnitřního vzduchu.



Obr. 8: Tepelná bilance vnitřního povrchu konstrukce [50]



Obr. 9: Tepelná bilance vnějšího povrchu konstrukce [50]

Přestup tepla na vnitřním povrchu konstrukce

Schématické zobrazení procesů podílejících se na výsledné povrchové teplotě je na obr. 8. Při povrchu konstrukce v interiéru dochází k přestupu tepla prouděním, které je důsledkem rozdílu mezi teplotou povrchu konstrukce T_{pi} (2) a teplotou vnitřního vzduchu T_{ai} .

$$T_{pi} = \frac{\alpha_{ri}T_{ri} + \alpha_{ci}T_{ai} + K \cdot T_e}{\alpha_{ri} + \alpha_{ci} + K} [^{\circ}C] \quad (2)$$

Dochází také k přestupu tepla sáláním, které je důsledkem rozdílu mezi teplotou povrchu konstrukce a střední teplotou okolních povrchů T_{ri} . Ve velmi dobře tepelně izolovaných budovách lze předpokládat, že teploty povrchů jsou blízké teplotě vnitřního vzduchu, potom se vztah zjednoduší. Povrchová teplota a jevy probíhající na okolních konstrukcích ostění mají vliv na procesy na ostění. Významné tepelné toky probíhají skrze zasklení. Výpočet teploty zasklení lze provést též pomocí vzorce (2). V tabulce 7 jsou uvedeny typické hodnoty přestupu tepla na vnitřním povrchu konstrukce.

Tabulka 7: Typické hodnoty přestupu tepla na vnitřním povrchu

Popis	Označení	Vztah
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	R_{Si}	$R_{Si} = \frac{1}{(\alpha_{ci} + \alpha_{ri})} = 0,13 [m^2K/W]$ $(\alpha_{ci} + \alpha_{ri}) = \alpha_{ri} = h_i = 8 W/m^2K$
Svislý povrch – součinitel přestupu tepla prouděním	α_{ci}	$\alpha_{ci} = 1,3 - 2,5 [W/m^2K]$
Svislý povrch – součinitel přestupu tepla sáláním	α_{ri}	$\alpha_{ri} = 4,3 - 5,4 [W/m^2K]$

Přestup tepla na vnějším povrchu konstrukce

Schématické zobrazení procesů podílejících se na výsledné povrchové teplotě je na obr. 9. Při vnějším povrchu dochází k přestupu tepla prouděním, které je důsledkem rozdílu mezi teplotou povrchu konstrukce T_{pe} (3) a teplotou venkovního vzduchu T_{ae} .

$$T_{pe} = \frac{\alpha_{re}T_{sky} + \alpha_{ce}T_{ae} + K \cdot T_i}{\alpha_{re} + \alpha_{ce} + K} [^{\circ}C] \quad (3)$$

Dochází také k přestupu tepla sáláním v závislosti na teplotě okolních povrchů (okolní budovy, obloha) T_{re} . V případě oslunění konstrukce slunečním zářením do výpočtových vztahů vstupuje

veličina λ_{sol} . V tabulce 8 jsou uvedeny typické hodnoty přestupu tepla na vnějším povrchu konstrukce.

Tabulka 8: Typické hodnoty přestupu tepla na vnějším povrchu

Popis	Označení	Vztah
Odpor při přestupu tepla na vnějším povrchu	R_{se}	$R_{si} = \frac{1}{(\alpha_{ci} + \alpha_{ri})} = 0,04 [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$ $(\alpha_{ci} + \alpha_{ri}) = \alpha_{ri} = h_i = 10 \text{ až } 30 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
Svislý povrch – součinitel přestupu tepla prouděním na vnějším povrchu	α_{ce}	$\alpha_{ce} = 6-25 [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$
Svislý povrch – součinitel přestupu tepla sáláním na vnějším povrchu	α_{re}	$\alpha_{re} = 4-5 [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$

V případě vnějšího povrchu ostění k započítání exteriérových podmínek vstupuje tzv. zdánlivá teplota oblohy. V tabulce 9 jsou uvedeny zjednodušené vztahy pro výpočet zdánlivé teploty oblohy.

Tabulka 9: Zjednodušené vztahy pro výpočet zdánlivé teploty oblohy

Typ konstrukce	Podmínky	Vzorec
Vodorovný povrch	Jasná obloha	$T_{sky} = 1,2 * T_{ae} - 14$
Svislý povrch	Jasná obloha	$T_{sky} = 1,1 * T_{ae} - 5$
Vodorovný, svislý povrch	Zatažená obloha	$T_{sky} = T_{ae}$

Teplotní faktor

K určení rizika kondenzace a vzniku plísní se užívá dle ČSN 73 0540 – 2 Teplotní faktor. Teplotní faktor by měl být, dle tepelně technické teorie, pro jeden typ skladby zdiva konstantní hodnotou. V reálném prostředí však nelze zcela vyloučit možné nehomogenity zdiva vyvolané např. vlhkostmi, lokálními odlišnostmi tepelně technických vlastností materiálů. Další vliv na proměnlivé hodnoty téže konstrukce mohou mít proměnlivé okrajové podmínky a povrchy konstrukcí, které jsou ovlivněny výkyvy způsobenými osluněním konstrukce, větrem, větráním prostor atd. V neposlední řadě může být vliv na proměnnou hodnotu teplotního faktoru povrchu typ stavební konstrukce. Proto i výsledky výpočtů na základě měřených povrchových teplot oscilují a zcela konstantní nejsou. Závislosti teplot vzduchu interiéru a exteriéru a povrchové teploty se promítají do teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} (4).

$$f_{Rsi} = 1 - \frac{\varphi_{ai} - \varphi_{si}}{\varphi_{ai} - \varphi_e} = \frac{\varphi_{si} - \varphi_e}{\varphi_{ai} - \varphi_e} [-] \quad (4)$$

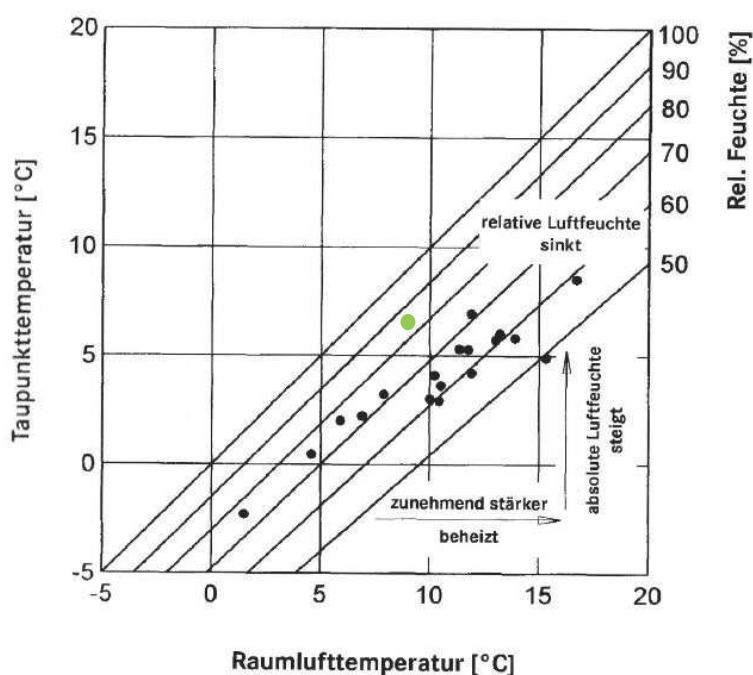
Podíl $(\varphi_{ai} - \varphi_{si}) / (\varphi_{ai} - \varphi_e)$ vyjadřuje kvalitu konstrukce a nezávisí na hodnotách teplot prostředí. Hodnota doplňující tento podíl do jedničky se nazývá teplotní faktor vnitřního povrchu, který se v praxi používá pro posuzování rizika kondenzace vodní páry na povrchu konstrukcí a rizika růstů plísní. V tabulce 10 jsou uvedena hodnotící kritéria teplotního faktoru dle ČSN 730540-2 pro vybrané podmínky interiéru a exteriéru [23].

Tabulka 10: Hodnotící kritéria teplotního faktoru pro teplotu exteriéru -13 °C a -20 °C a podmínky interiéru 20 °C a 50 %

Exteriér	Interiér		Teplotní faktor	
Teplota [°C]	Teplota [°C]	Relativní vlhkost [%]	f_{Rsi} (80 % plísňě) [-]	f_{Rsi} (100 % kondenzace) [-]
-13	20	50	0,748	0,647
-20	20	50	0,776	0,650

Vyjádření povrchové teploty pomocí grafů

Na následujícím grafu 5 je zobrazeno vhodné vyjádření povrchových teplot ve vztahu ke kritickým podmínkám. Na vodorovné ose je vyjádřena teplota vzduchu v °C, na svislé hlavní ose (vlevo) je vyjádřena teplota rosného bodu v °C. Teplota rosného bodu v tomto případě neznáčí pouze vyjádření pro 100 % relativní vlhkost, ale i pro ostatní relativní vlhkosti. V grafu jsou takto znázorněny 50 % až 100 % relativní vlhkosti. Šikmé spojnice znázorňují hranice relativní vlhkosti v %. V závislosti na umístění bodů na grafu je tudíž vyjádřen poměr k relativní vlhkosti. Příklad je zobrazen pomocí zeleného bodu. Tato hodnota je určena veličinami teplota vzduchu 8,7 °C, teplota rosného bodu 6,3 °C a relativní vlhkost 85 %.



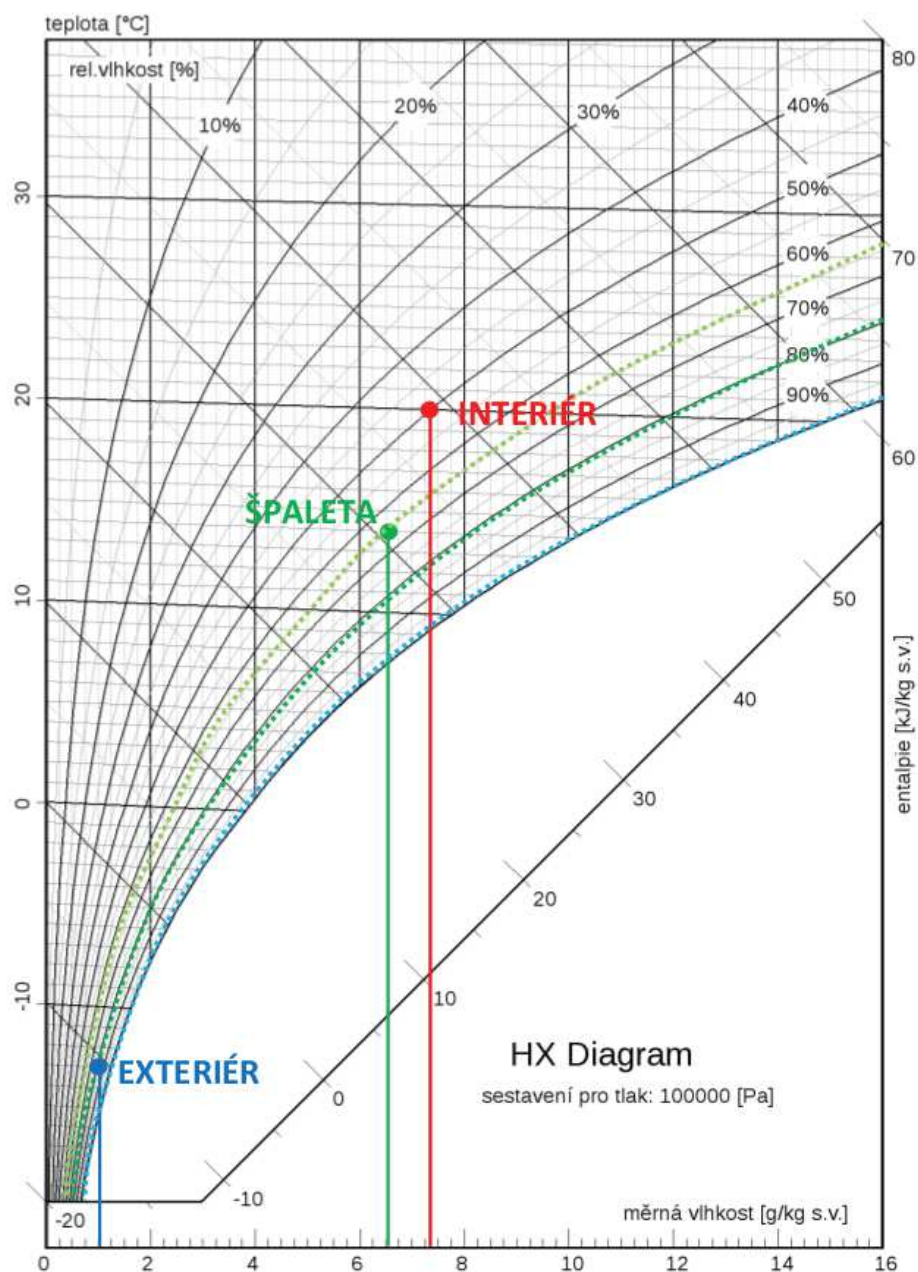
Graf 5: Vyjádření povrchové teploty na grafu ve vztahu ke kritickým hodnotám kondenzace vodní páry a rizika vzniku plísní dle Bauphysik und Denkmalpflege, Raumlufttemperatur= teplota vzduchu místnosti, Taupunkttemperatur=teplota rosného bodu, Relative Feuchte = relativní vlhkost, zunehmend stärker beheizt= neustále více zahříváné, absolute Luftfeuchte steigt = absolutní vlhkost stoupá, relative Luftfeuchte sinkt = relativní vlhkost vzduchu klesá [21]

2.4.3 Vzduch

Okrajové podmínky jsou základní parametry prostředí, které obklopuje stavební konstrukci. Okrajové prostředí tvoří vzduch, který ovlivňuje stavebně fyzikální procesy v konstrukcích.

V následujícím textu jsou popsány tepelně vlhkostní zákonitosti vzduchu. Vzduch za obvyklých hodnot teploty a tlaku, které nastávají v budovách, je možné uvažovat jako směs dvou ideálních plynů: suchého vzduchu a vodní páry.

Pro znázorňování změn stavu vzduchu (při izobarickém ději) se používá tzv. Mollierův diagram, viz Graf 6. Pomocí Mollierova diagramu (též Hx diagram) jsou vysvětleny základní zákonitosti vodní páry ve vzduchu [53]. Svislá osa označuje teplotu vzduchu v °C, vodorovná osa označuje měrnou vlhkost vzduchu v g/kg s.v. a parciální tlak vodní páry p_v , křivka vyznačuje relativní vlhkost vzduchu v %. Diagram zobrazuje i další parametry, které nejsou v práci dále diskutovány. Tabulka 11 uvádí ukázkou parametrů vzduchu pro mikroklima v okolí stavební konstrukce ostění v zimním období (interiér, špaleta a exteriér). Tyto hodnoty jsou vyznačeny na diagramu na grafu 6 červeně je vyznačeno mikroklima interiéru, zeleně mikroklima ve špaletě a modře mikroklima v exteriéru. S ohledem na následující výzkum v práci je důležitý pojem teplota rosného bodu ve vztahu ke kondenzaci vodní páry na povrchu konstrukce, kritické hodnoty zjistitelné na diagramu jsou vyjádřeny v tabulce 12. Rosný bod je dále vysvětlen v kapitole 2.6. Tabulka 13 uvádí závislosti jednotlivých parametrů vzduchu.



Graf 6: Mollierův diagram (Hx diagram), znázornění parametru interiéru (20 °C; 50 %), ve špaletě (14 °C; 65 %), exteriér (-13 °C; 84 %) [45]

Tabulka 11: Popis vybraných veličin na Mollierově diagramu

Spojnice grafu	Teplota	Relativní vlhkost	Měrná vlhkost	Vypočtená hustota vzduchu
Mikroklima	[°C]	[%]	[g/kg s.v.]	[kg/m ³]
Interiér	20	50	7,4	1,18
Špaleta	14	65	6,5	1,21
Exteriér	-13	84	1,0	1,34

Tabulka 12: Kritické veličiny a jejich vyjádření v diagramu

Kritické veličiny	Popis	Jak se vyhledává v diagramu
100 % relativní vlhkost	Vzduch plně nasycen vodní párou	Protnutí svislé čáry a křivky 100 % relativní vlhkosti
80 % relativní vlhkost	Vzduch nasycen z 80 %	Protnutí svislé čáry a křivky 80 % relativní vlhkosti
65 % relativní vlhkost	Vzduch nasycen z 65 %	Protnutí svislé čáry a křivky 65 % relativní vlhkosti

Tabulka 13: Závislosti jednotlivých parametrů vzduchu

p_v	[Pa]	Částečný tlak vodní páry	$p_v V = m_v R_v T$
R_v	[J/kgK]	Plynová konstanta	$R_v = 461,5$
ρ_v	[g/m ³]	Hustota (koncentrace) vodní páry	$\delta_v = \frac{m_v}{V} = \frac{p_v}{R_v T}$
x	[g/kg s.v.]	Měrná vlhkost vzduchu	$x = \frac{m_v}{m_d} = \frac{\rho_v \cdot V}{\rho_d \cdot V} = \frac{R_d \cdot p_v}{R_v \cdot p_d} = 0,622 \frac{\rho_v}{\rho_a - p_v}$

2.4.4 Šíření vlhkosti

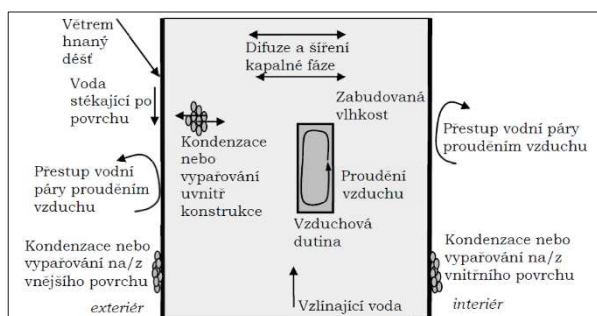
Analogicky s šířením tepla v konstrukci a v okolí konstrukce probíhá šíření vlhkosti. Graficky je vyjádřeno šíření vlhkosti v blízkosti stavebního prvku na obr. 10. Šíření vlhkosti je proces, při kterém je přenášena vlhkost, tj. vodní pára nebo voda v kapalném stavu. V případě předmětné konstrukce je to interiér a exteriér. Šíření vlhkosti je závislé tedy na tlakovém rozdílu ΔP_s dle vztahu (5) specifikace veličin viz tabulka 14.

$$\Delta P_s = z (\rho_{ae} - \rho_{ai}) \cdot g \quad (Pa) \quad (5)$$

Tabulka 14: Závislosti jednotlivých parametrů vzduchu

Ozn.	Jednotka	Název
z	[m]	Vzdálenost od neutrální roviny směrem dolů
ρ_{ae}	[kg/m ³]	Hustota venkovního vzduchu
ρ_{ai}	[kg/m ³]	Hustota vnitřního vzduchu
g	[m ² /s]	Gravitační zrychlení

Šíření vlhkosti může nastat pouze v materiálech, které mají otevřený pórový systém. Vlhkost se může šířit zejména: difúzí vodní páry, prouděním vlhkého vzduchu či kapilárním přenosem. [54].

**Obr. 10:** Grafické vyjádření šíření vlhkosti stavebním prvkem [50]

Difuze

Difuze je proces, kdy látka přechází z prostředí, kde je koncentrace látky vyšší, do prostředí s nižší koncentrací. Probíhá tedy na základně rozdílu částečných tlaků vodní páry. Předpis pro hustotu difuzního toku vodní páry ve vzduchu se nazývá 1. Fickův zákon (6). Difúzní tok vzduchu q_{va} je úměrný gradientu částečných tlaků vodní páry a proudí ve směru opačném než vektor gradientu částečných tlaků vodní páry. V případě pórovitých materiálů ve vzorci přibývá materiálová charakteristika μ , tj. faktor difúzního odporu (7). Veličin δ_{pa} je součinitel difuze vodní páry v samotném vzduchu (8). Popis je uveden v tabulce 15.

$$q_{va} = -\delta_{pa} \frac{dp_v}{dx} \text{ [kg/(m}^2\text{s)]} \quad (6)$$

$$q_v = -\frac{\delta_{pa}}{\mu} \frac{dp_v}{dx} \text{ [kg/(m}^2\text{s)]} \quad (7)$$

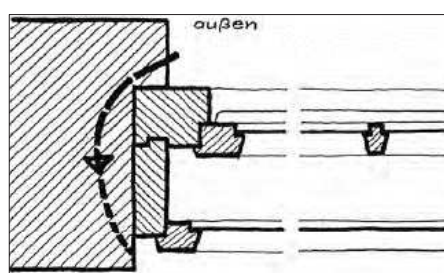
$$\delta_{pa} = \frac{2,306 \cdot 10^{-5} \cdot P_{a0}}{R_v \cdot T \cdot P_a} \left(\frac{T}{273,15} \right)^{1,81} \left[\frac{\text{kg}}{\text{msPa}} = \text{s} \right] \quad (8)$$

Tabulka 15: Závislosti jednotlivých parametrů vzduchu

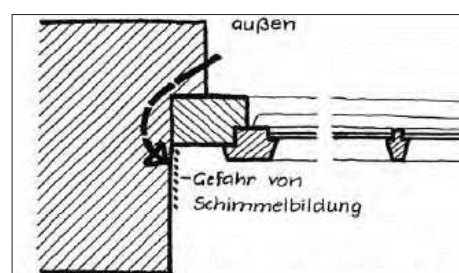
Ozn.	Jednotka	Název
p_v	[Pa]	Částečný tlak vodní páry
P_{a0}	[Pa]	Referenční tlak vzduchu
R_v	[J/kgK]	Plynová konstanta pro vodní páru = 461,5
P_a	[Pa]	Aktuální tlak vzduchu

2.5 PROCESY SLEDOVANÉ V KONSTRUKCI

V následující kapitole jsou popsány a vyobrazeny procesy, které probíhají na předmětné konstrukci. Konstrukce odděluje interiér a exteriér. Jedná se o procesy spojené s přenosem teploty a vlhkosti. Oblast napojení okenní konstrukce na ostění tvoří komplikovanější oblast, skrze niž probíhají konstrukcí zvýšené tepelné toky oproti ostatním oblastem konstrukce. Na obr. 11 a 12 je systematicky zobrazen princip ochlazování konstrukce vnitřního ostění u rozdílných okenních konstrukcí. Ostění u jednoduchého okna vykazuje významnější tepelnou ztrátu na povrchu vnitřního ostění oproti ostění u dvojitého okna [55].



Obr. 11: Tepelné podmínky ostění konstrukce dvojitého okna, nízké ochlazení vnitřního ostění, außen = venkovní [55]

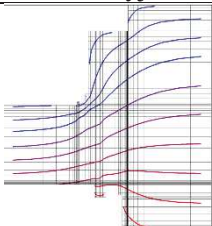
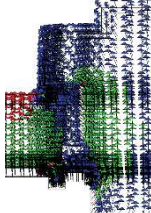
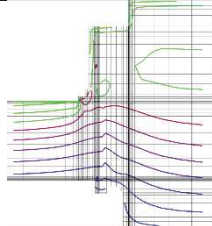
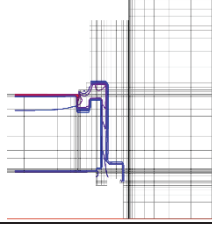
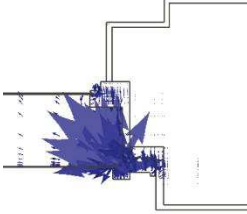
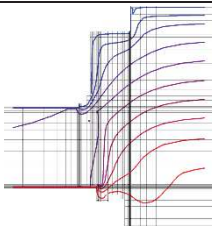


Obr. 12: Tepelné podmínky ostění jednoduchého okna, významné ochlazení vnitřního ostění, außen = venkovní, Gefahr von Schimmelbildung = riziko vzniku plísní [55]

2.5.1 Grafické shrnutí

V následující tabulce 16 je shrnutí grafického zobrazení tepelně vlhkostních procesů, které jsou v rámci konstrukce ostění sledovány, výpočty jsou z programu Svoboda software [56] a Wufi [57].

Tabulka 16: Ukázka průběhu sledovaných parametrů v řezu konstrukce ostění při extrémních návrhových podmínkách

Název	Grafické vyjádření	Legenda	Veličina	Jednotka
Rozložení teploty		Date: 1/19/2019 9:00 AM 8.249 5.359 2.469 0,000 3.311 6.200 9,090 11,980 14,870 17,760	Průběh teploty	[°C]
Rozložení tepelných toků		$q_1 < q_2 < q_3 < q_4 < q_5$	Hustota tepelného toku	[W/m ²]
Rozložení relativní vlhkosti		2/22/2019 8:00 AM 44,504 49,615 54,726 59,837 64,948 70,059 75,170 80,000 85,392 90,503	Relativní vlhkost	[%]
Rozložení množství vlhkosti		1/19/2019 9:00 AM 2,000 19,598 32,500 45,402 58,304 71,206 84,108 97,010 109,912 122,813 135,715 148,617 161,519 174,421 187,323	Množství vody	[kg/m ³]
Průběh difúzního toku		Difúzní tok [kg/(s m ²)] 0,00E+0 <= x < 7,14E-7 7,14E-7 <= x < 1,43E-6 1,43E-6 <= x < 2,14E-6 2,14E-6 <= x < 2,86E-6 2,86E-6 <= x < 3,57E-6 3,57E-6 <= x < 4,28E-6 4,28E-6 <= x < 5,00E-6 5,00E-6 <= x < 5,71E-6 5,71E-6 <= x < 6,43E-6 6,43E-6 <= x <= 7,14E-6	Hustota difúzního toku	[kg/sm ²]
Průběh částečného tlaku vodní páry		1/19/2019 9:00 AM 157,044 243,700 330,355 417,011 503,667 590,322 676,978 763,634 850,289 936,945	Částečný tlak vodní páry	[Pa]

2.6 NEŽÁDOUCÍ JEVY VZNIKAJÍCÍ NA KONSTRUKCI VNITŘNÍHO OSTĚNÍ

Výskyt kritických povrchových teplot na vnitřní konstrukci ostění oken způsobuje postupnou degradaci materiálů a konstrukcí. Předmětný povrch konstrukce je nutné posuzovat na výskyt nežádoucích vlivů, a to na kritické povrchové vlhkosti tj. 80 % relativní vlhkost (vznik plísní) a 100 % relativní vlhkost (kondenzace vodních par). Některé plísně mají podmínky vzniku již za 65 % relativní vlhkosti. Růst plísní je podmíněn dlouhodobým výskytem těchto podmínek (řády dní). Kondenzace vodní páry nastává prakticky okamžitě.

Nežádoucí jevy se na předmětné konstrukci ostění vyskytují např. z důvodů jiného mikroklima současných interiérů oproti původnímu, či jinému funkčnímu využití prostorů oproti dřívějším dobám. Velmi často jsou totiž místnosti, ve kterých se nachází dvojité okna vytápěna na mnohem vyšší teploty či jsou zatěžována mnohem vyšší vlhkostí z provozu kuchyně či koupelen, než tomu bylo před sto lety. Kondenzace na reálných konstrukcích je ovlivněna celou řadou faktorů, primárně je to prouděním vzduchu v interiéru, sáláním tepla či osluněním konstrukcí.

Kritická vnitřní povrchová teplota $\theta_{si,cr}$ [°C] je teplota, při které, při definované teplotě vnitřního vzduchu θ_{ai} a relativní vlhkosti vnitřního vzduchu φ , nabývá relativní vlhkost vzduchu φ_{si} v těsné blízkosti povrchu (v mezní vrstvě) hodnoty kritické relativní (povrchové) vlhkosti $\varphi_{cr,,}$ $\varphi_{cr,,} = 100\%$ u výplní otvorů a $\varphi_{cr,,} = 80\%$ u stavebních otvorů. Je to teplota, při které poměr částečného tlaku vodní páry a částečného tlaku nasycené vodní páry bezprostředně u povrchu konstrukce je vyšší nebo roven hodnotě 1,0 pro výplně otvorů a 0,8 pro ostatní konstrukce. Mezi potenciálně nebezpečné oblasti z pohledu výskytu některých plísní se zahrnuje oblast 65 až 80 % relativní povrchové vlhkosti z pohledu výskytu některých plísní. V tabulce 17 je uvedeno shrnutí kritických podmínek v bezprostřední vzdálenosti povrchu konstrukce [29], [24], [58], [59], [60].

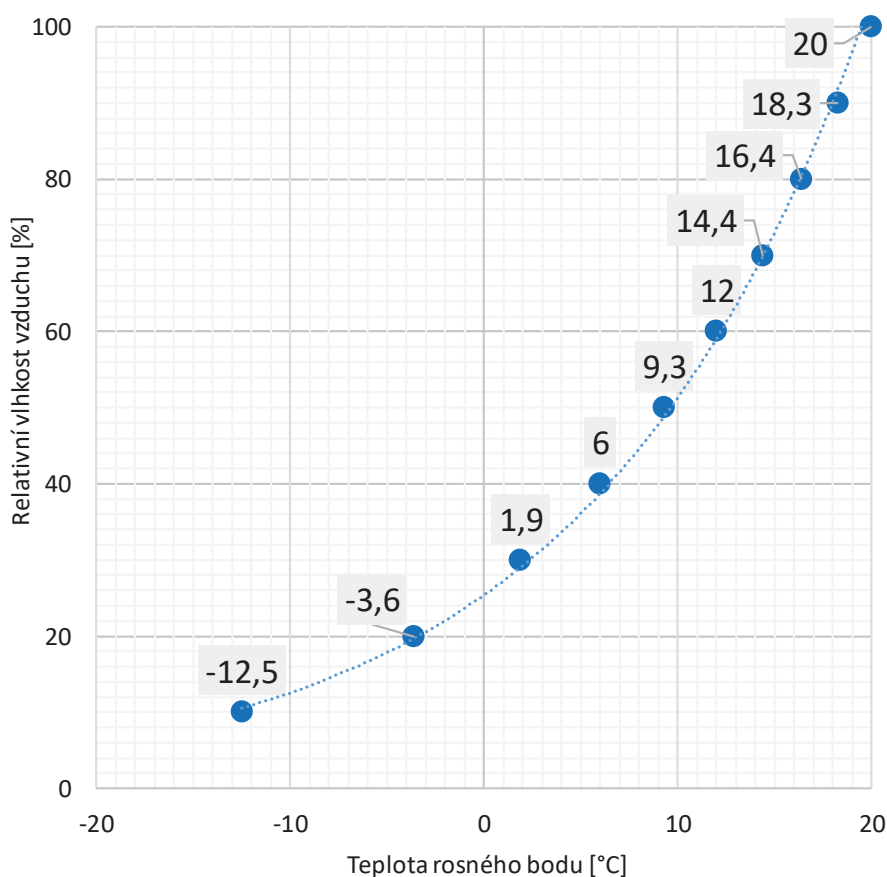
Tabulka 17: Podmínky materiálu pro vznik nežádoucích jevů na povrchu konstrukce

Povrchová relativní vlhkost			
Rozsah hodnot φ	65 – 80 %	80 – 100 %	100 %
Popis oblasti jevů	Riziková oblast výskytu plísní	Oblast plísní	Kondenzace vodní páry

2.6.1 Kondenzace vodní páry

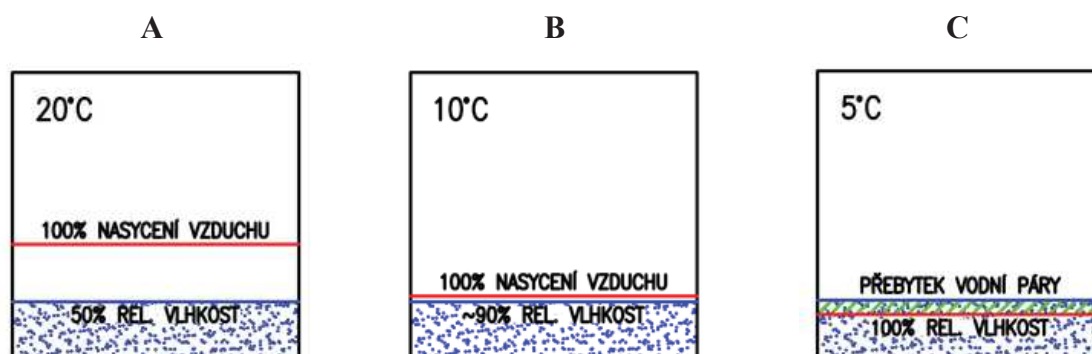
Poklesem vnitřní povrchové teploty konstrukce pod teplotu rosného bodu vnitřního vzduchu jsou splněny fyzikální podmínky pro vznik kondenzace vodní páry na vnitřním povrchu této konstrukce. Obvyklým důsledkem kondenzačního procesu je výskyt plísní na vlhkostí atakovaných površích.

Kondenzace nastává, když je vzduch 100 % nasycen vodou. Kondenzace se vyjadřuje teplotou rosného bodu [$^{\circ}\text{C}$]. Pro podmínky mikroklimatu 20°C a 50 % relativní vlhkosti je rosný bod $9,3^{\circ}\text{C}$. Pro vysvětlení je vhodné podotknout, že relativní vlhkost udává procentuální vyjádření, jak moc je vzduch o dané teplotě nasycen vodou. Se vzrůstající teplotou se zvyšuje kapacita vlhkosti ve vzduchu. To znamená v zimě, ač má vzduch vysokou relativní vlhkost, tak absolutní obsah vlhkosti ve vzduchu je několikanásobně nižší oproti interiéru. V grafu 7 je zobrazena závislost rosného bodu na různé relativní vlhkosti při konstantní teplotě. Vodorovná osa vyznačuje teplotu rosného bodu [$^{\circ}\text{C}$], svislá osa vyznačuje relativní vlhkost [%]. Je patrný stav, kdy se výrazně zvyšuje rosný bod prostředí s relativní vlhkostí, se vzrůstající relativní vlhkostí se rozdíl nepatrně zmenšuje. Např. rozdíl 6°C nastává, pokud je v interiéru při teplotě 20°C a 40 % relativní vlhkost nebo 60 % relativní vlhkost [45].



Graf 7: Závislost teploty rosného bodu a různé relativní vlhkosti ve vztahu k rosnému bodu, dle Hx diagramu při teplotě 20°C [45]

Na následujícím obr. 13 je názorně graficky vysvětlena kapacita vlhkosti ve vzduchu při různých teplotách [45]. Obsah vzduchu je stejný u všech teplot, liší se míra nasycení.



Obr. 13: Grafické nasycení vzduchu vodní párou, A –znázornění 50 % relativní vlhkosti při 20 °C, B - znázornění 90 % relativní vlhkosti při 10 °C, C – 100 % relativní vlhkost při 5 °C [52]

Projevy plísní či kondenzace jsou vizuálně viditelné či pouze mikroskopické a záleží na povrchu konstrukce. Na konstrukci ostění se vizuálně nejvíce projevuje kondenzace na povrchu, který je tvořen nesmáčivým (hydrofobním) povrchem. Teplota vnitřního povrchu stavebních konstrukcí bezprostředně ovlivňuje kvalitu interního mikroklimatu v budovách a má tedy i přímý vliv na uživatelský komfort stavebního objektu.

Naopak ochlazení venkovní povrchové teploty vnějšího ostění pod teplotu venkovního vzduchu znamená nebezpečí kondenzace vodní páry a následného vytvoření námrazy na povrchu konstrukce.

2.6.2 Plísně na konstrukci ostění

Plíseň je typ mikroskopických vláknitých hub, které tvoří rozvětvené vláknité mycelium [61]. Spolu s bakteriemi patří k nejčastěji vyskytujícím se mikroorganismům ve vnitřních prostorách staveb. Růst plísní je ovlivněn vlhkostí, prouděním vzduchu, UV zářením či odplavováním spor deštěm. [37]

Některé bakterie jsou užitečné (mléčné výrobky, ocet, atd.) a některé mají nepříznivý vliv na zdraví člověka a jsou původci nemocí [62]. Lidé v dnešní době tráví většinu svého času ve vnitřních prostorách budov, buďto v práci nebo doma. Neuvědomují si však, že právě tam se mohou vystavovat škodlivým mikroorganismům a tím riziku nemocí.

V tabulce 18 je uveden přehled jednotlivých plísní, které se objevují jako více či méně nebezpečné patogeny na vnitřním prostředí staveb [63]. Většina plísní jsou patogeny pro člověka.

Tabulka 18: Souhrn plísní, které se vyskytují ve vnitřním prostředí staveb [63] [64]

Skupina	Popis
<i>Alternaria</i> sp.	Psychrofil, saprofyt, nalézá se na uhnívajících listech. Vyskytuje se velmi hojně na celém světě, a to na různých substrátech rostlinného původu včetně potravin a krmiv, a také v půdě. Patří mezi oportunní patogeny.
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Intenzivně rozšířen po celém světě v půdě, patogen živočichů i člověka. Vyvíjí se v interiéru na některých materiálech, produkuje gliotoxin,
<i>Penicillium marffenei</i>	Druhově velmi pestrý, celosvětově velmi rozšířen, když na organickém substrátu tvoří nízké porosty zejména zelenavých tónů.
<i>Penicillium</i> sp.	Vyskytuje se velmi hojně po celém světě, je jedním z nejběžnějších plísní kontaminujících potraviny rostlinného i živočišného původu, krmiva i různé suroviny. Vyskytuje se také často na zaplísňených stěnách. Příležitostně byl zaznamenán jako původce různých typů mykóz u člověka.
<i>Aspergillus versicolor</i>	Typický jako pomalu se rozvíjející plíseň v zamokřeném vnitřním prostředí a na potravinách. Nachází se na vnitřních materiálech, které jsou trvale zvlhčené, např. v textilu či ve dřevě.
<i>Trichoderma viride</i>	Vyskytuje se v půdě, na skladovaných obilovinách, často ve dřevě, které svými enzymy může degradovat.
<i>Aspergillus ochraceus</i>	Vyskytuje se v půdě a na fermentujících zbytcích
<i>Stachybotrys chartarum</i>	Rozvíjí se na stavebních materiálech, které jsou bohaté na celulózu a jsou postiženy zvlhčením, Tato plíseň je spojována se Sick building syndrome [65].
<i>Aspergillus niger</i>	Z hlediska barevnosti „černá“ plíseň velmi často kontaminuje jak potraviny, tak vnitřek staveb.
<i>Rhizopus oryzae</i> (řád Mucorales)	Rozvíjí se na mrtvém organickém materiálu.
<i>Rhizopus nigricans</i> Ehrenberg(řád Mucorales)	Nejhojnější výskyt z řádu Mucorales, může kontaminovat potraviny a produkuje toxiny.

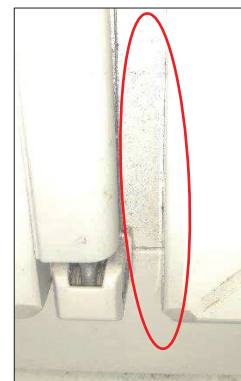
2.7 NEŽÁDOUCÍ PROJEVY NA SOUVISEJÍCÍCH KONSTRUKCÍCH

Nežádoucí projevy jsou zmíněny, protože mohou negativně ovlivňovat konstrukci ostění. Konstrukce ostění může být např. vystavena stékající vodě z okolních konstrukcí. Kritické jevy na sousedících konstrukcích souvisí s jevy na okenních konstrukcích a to především s kondenzací vodní páry. Jedná se především o kondenzaci vodní páry na zasklení a rámech oken[66]. Dalšími jevy může být plíseň vyskytující se na zasklívací spáře (tam, kde stéká voda po skle). Tyto jevy souvisí zejména s tepelně technickými parametry samotných okenních konstrukcí. Vliv ostění a obvodové stěny je pouze v možném případě zabudování okna do konstrukce. V tomto případě se ovšem více projevuje vliv kritické oblasti na ostění.

V případě degradace materiálu okna, může být ostění vystaveno mechanicko-fyzikálnímu zatížení. Jedná se o tyto projevy:

- kondenzace vodní páry v oblasti zasklívací spáry okenních konstrukcí, viz obr. 14 [66], [67],
- kondenzace na vnitřním povrchu rámu okna, viz obr. 15,

- degradace dřeva rámu okna - plísně v dřevěném rámu okna, viz obr. 16,
- výskyt plísní na zasklívací spáře okna, viz obr. 17.



Obr. 14: Projev kondenzace na zasklívací spáře okenní konstrukce

Obr. 15: Projev kondenzace na vnitřním rámu okna

Projevy plísní a projevy vlhkostí se tedy zejména vyskytují na rámech okna. Jedním z významných degradačních procesů je poškození dřeva plísní. Můžeme tedy říci, že podmínkou pro rozvoj a působení většiny biologických škůdců je dlouhodobě vysoká vlhkost dřeva, cca nad 18 % hmotnostní vlhkosti [68].



Obr. 16: Projev plísní na dřevěné konstrukci okna

Obr. 17: Projev černé plísně na zasklívací spáře

2.8 REKONSTRUKCE OSTĚNÍ

V případě rekonstrukce oblasti ostění okna může nastat několik technických změn v chování samotného ostění. Zamýšlené úpravy a změny oken probíhají především se záměrem zlepšení tepelně technických parametrů okenní konstrukce. V následujících kapitolách jsou vysvětleny příklady rekonstrukcí, které mají vliv na změnu procesů na povrchu a v blízkosti ostění. Rekonstrukce probíhá na základě posouzení ověřující hodnoty existujících oken (např. zda je možné je odstranit) a posouzení návrhu nového řešení [8].

2.8.1 Okenní výplně

Primárně se jedná tedy o zlepšení parametrů okenních výplní. Je zde několik přístupů a to méně invazivní a invazivnější. Přehled přístupů k rekonstrukce je zobrazen v tabulce 19. Přístup

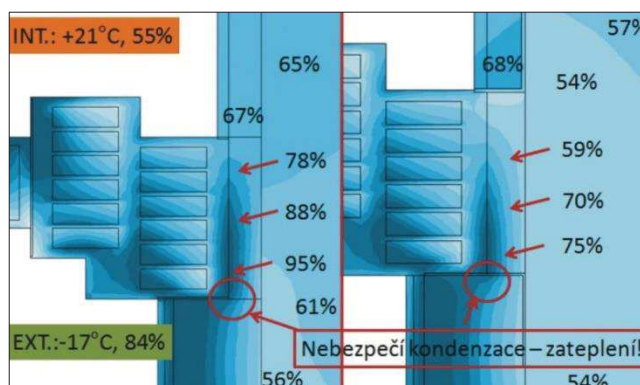
k rekonstrukci okenních výplní souvisí především s typem objektu, zda se jedná o památkově chráněný objekt. V případě památkově chráněného objektu je nutné schválení rekonstrukce s památkářským dohledem [4]. U rekonstrukcí je nutné např. dodržet zachování vizuálního vzhledu okenní konstrukce, tj. především poměr ráků oken, příček a zasklení. Z tohoto ohledu je v některých případech problematické využití křidel s tepelně izolačními dvojskly. Křídlo okna s dvojsklem není tak subtilní jako původní. Z tohoto důvodu jsou většinou upřednostňovány rekonstrukce či repase oken s dvojskly na vnitřním křídle okna.

Tabulka 19: Přehled možných přístupů rekonstrukcí s vlivem na ostění oken

Méně invazivní	Invazivní – nové konstrukce
Repase stávajícího okna nebo částečná výměna	Výměna výplně okna za novou konstrukci
Výměna křídla okna za křídlo s tepelně izolačním dvojsklem	Dvojsklo na vnitřním křídle okna
-	Dvojsklo na vnějším křídle okna
-	Jednoduché okno

2.8.2 Připojovací spára jednoduchých oken

V případě výměny dvojitěho okna za jednoduché nastává změna v oblasti připojovací spáry. [69]. Novodobé připojovací spáry u jednoduchých oken vytvářejí bariéry v podobě šíření vlhkosti. Připojovací spára novodobých oken je tvořena parotěsným uzávěrem (z interiérové strany), tepelně izolační výplní a paropropustným uzávěrem (z exteriérové strany) [69],[70]. Hlavní funkcí vnitřního uzávěru je zabránit průniku vzdušné vlhkosti (ten po většinu ročního období proudí z interiéru do exteriéru) z místnosti do připojovací spáry a chránit tak tepelně izolační výplň, aby nedošlo k její degradaci a ztrátě jejích vlastností. Tepelně izolační výplň tvoří funkci tepelné izolace mezi rámem okna a ostěním okna. Venkovní uzávěr tvoří základní tři funkce a to vodotěsnost (zabraňuje průniku dešťové vody do prostoru spáry), paropropusnost (umožňuje difuzi nežádoucí vodní páry v tepelně izolační spáře do exteriéru) a ochranu spáry proti slunečnímu záření. Podrobně pojednáno např. v [70]. Změny v připojovací spáře při použití uzávěru a při jeho absenci jsou zobrazeny obr. 18, kde je patrné, že relativní vlhkost na hranici oblasti vnitřního parotěsného uzávěru a tepelněizolační výplně spáry je o 20 % nižší než v případě varianty bez uzávěru [71].



Obr. 18: Připojovací spára – rozložení relativní vlhkosti po konstrukci, vlevo připojovací spára bez použití parotěsných a paropropustných uzávěrů, vpravo konstrukce s uzávěry [71]

Správné zabudování okenní výplně do objektu je důležité pro optimální fungování výplně jako součásti fasády, bohužel v praxi se často vyskytují chyby při realizaci, např. netěsná připojovací spára či absence vnitřních a vnějších závěrů, viz článek Časté chyby u napojení oken a dveří na stěnu a zateplovací systém autora P. Rydlo [72].

Při montáži kopií historických otvorových výplní musí být použit technologický postup respektující původní zabudování a použité materiály musí být co nejpodobnější původnímu řešení. Pro montáž musí být zpracován technologický postup. [73], [69], [74]

Při montáži replik historických otvorových výplní a to především v revitalizovaných budovách, je nutné podle ustanovení normy [73] přihlídnout ke stávajícímu stavu stavební konstrukce a návrhovým parametrům vnitřního prostředí budovy. Zásahy do otvorových výplní budov jmenovitě zapsaných jako kulturní památky nebo budov, jež jsou součástí plošně památkově chráněných území, podléhají schválení orgánů státní památkové péče.

Pro zabudování nových dvojitých oken platí stejné zásady návrhu a provedení připojovací spáry jako pro jednoduchá okna [73]. Při jakémkoliv způsobu rekonstrukce okenní výplně je nutné ctít vnější linii zasklení původního okna.

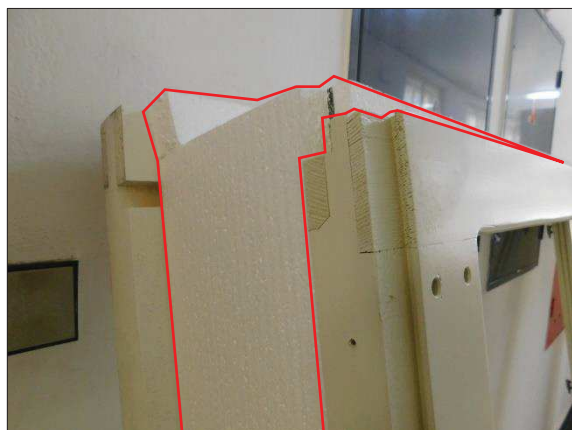
2.8.3 Zateplení stavební konstrukce

Zateplení obvodové stěny a ostění má vliv na tepelně vlhkostní procesy na konstrukci ostění. Z důvodů zvyšování požadavků na nízkou energetickou náročnost je nutné přihlídnout kromě zlepšení tepelně technických vlastností okenních výplní i k zateplení obvodové stěny. V případě zateplení tepelně izolačním materiálem je možné zvážení několika variant.

Historické objekty nabízejí dva hlavní přístupy k zateplení. V prvním případě jsou to objekty, které mají původní okna a které mohou být zatepleny z exteriéru (např. nejsou památkově chráněny, jedná se např. o rodinný dům). V druhém případě se jedná o objekty, kde nelze přistoupit k zateplení v exteriéru ať už z důvodu památkové ochrany či zdobných fasád (např.

činžovní domy z období 1. republiky). Povrchové parametry konstrukce lze v tomto případě vylepšit pomocí vnitřního zateplení.

Další méně invazivnější metodou je zateplení prostoru dřevěné špalety. Při výměně okenních výplní se provádí dodatečné zateplení špalety, tj. vyplnění prostoru pod dřevěným ostěním tepelnou izolací. Příklad zateplení konstrukce je na obr. 19 a 20. [75][76][77][78]



Obr. 19: Zateplení prostoru pod dřevěnou špaletou, konstrukce dvojitého okna před instalací do objektu

Obr. 20: Zateplení prostoru pod dřevěnou špaletou, konstrukce dvojitého okna před instalací do objektu

Jak bylo řečeno v úvodu tendence dnešní době je snižování energetické náročnosti budovy, to zahrnuje snižování tepelných ztrát obálkou budovy. Toto snižování se děje i u stávajících historických objektů zateplením tepelnou izolací.

Zateplení by mělo mít vliv na zvýšení kritických povrchových teplot sledovaného ostění. Vlastní experimentální měření probíhala na nezateplených objektech, tudíž v této problematice nelze udělat závěry. Tato problematika bude ovšem analyzována v následující kapitole 4 pomocí modelových výpočtů.

V případě historických objektů se k zateplení přistupuje vícero přístupů. Experimentálně měřená místa lze rozdělit na dva přístupy.

Prvním případem jsou historické objekty, kde lze provést exteriérové zateplení (objekt není památkově chráněn). U těchto objektů převládá funkce trvalého bydlení, snížení energetické náročnosti budovy je tudíž více než žádoucí.

Druhým případem jsou objekty, kde s největší pravděpodobností nelze provést exteriérové zateplení (objekt je památkově chráněn, fasáda má hodnotné prvky) V případě experimentálních měření se jednalo o kancelářské objekty. V této variantě lze uvažovat o možném zateplení stavební konstrukce z interiéru. V tomto případě se např. zatepluje povrch vnitřního ostění tepelně izolačními deskami, toto zateplení je vhodné pro historické objekty.

Tato problematika je často řešena viz např. Vnitřní zateplení historických budov [75] či Diagnostika technických předpokladů pro aplikaci vnitřního zateplení v oblasti architektonického dědictví [79]. V případě repasí či výměny dvojitých oken se provádí v některých případech dodatečné zateplení oblasti pod dřevěnou špaletou. Řešena bývá též otázka vnitřního zateplení tzv. kapilárně aktivními materiály.

2.8.4 Změna okrajových podmínek při rekonstrukci staveb

U rekonstrukcí se většinou setkáváme se specifickými prostory, které většinou mění svoje funkční využití oproti původnímu. U těchto prostor je tedy nutné počítat s výraznou změnou jejich mikroklimatu a tudíž i se zcela jinými podmínkami působícími na okolní konstrukce, tj. i konstrukci ostění. Příkladem může být změna suterénního prostoru, původně nevyužívaného, na sklad vína či na pobytovou místnost. Návrhové parametry pro prostředí vinárny jsou 60 až 80 % relativní vlhkost a teplota 12 °C. Je proto nutné se zaměřit na možné nežádoucí poruchy vznikající při obnově výplní otvorů ať už z konstrukčního hlediska či hlediska změny mikroklimatu u budov v památkových zónách [80].

V následujících bodech je vyjádřeno působení vzduchu v mikroklimatu, které musí mít na zřeteli každý, kdo pečuje o památkový objekt [81] [82]:

- teplota a vlhkost venkovního vzduchu jsou veličiny dané počasím i roční dobou a ovlivňující svým průnikem do budovy stav vzduchu v jejích interiérech,
- mikroklima interiérů může být krátkodobě ovlivňováno významnými výkyvy,
- vysoká vlhkost vzduchu přispívá k biodegradaci materiálů (k rozvoji mikroorganismů), plísní a hub.

2.9 PROGRAMY

V rámci teoretické přípravy na zpracování dlouhodobých experimentálních měření v rámci práce byly autorem vyhotoveny programy pro urychlení zpracování. Programy usnadňují výpočet hodnot (např. kondenzací vodní páry, povrchových kritických teplot atd.). Programy jsou vytvořeny jako naprogramované formuláře v Microsoft Excel či jako aplikace .exe ve Microsoft Visual studio [83]. Tyto pomůcky jsou použitelné i pro další práci nejenom autora. Příklady výpočtových formulářů a aplikací jsou vyobrazeny na obr. 21 a 22. V následujících odstavcích jsou zobrazeny programy včetně použitých vzorců pro výpočet jednotlivých parametrů.

2.9.1 Výpočet teploty rosného bodu

Vzorec pro výpočet teploty rosného bodu je zobrazen v následující rovnici (8). Program v programu Excel je zobrazen na Obr. 21.

$$\theta_{dp} = 4030 * (\theta_a + 235) / [4030 - (\theta_a + 235) \ln \varphi] - 235 \quad (8)$$

ROSNÝ BOD	
θ_a	20 °C
φ	50 %
θ_{dp}	= 9,29 °C

Obr. 21: Výpočet teploty rosného bodu (formulář v programu Excel)

2.9.2 Výpočet kritické vnitřní povrchové teploty

V následující tabulce 20 jsou vyjádřeny vzorce pro výpočet kritické vnitřní povrchové teploty dle [24].

Tabulka 20: Vyjádření vzorců pro výpočet kritické vnitřní povrchové teploty

Popis	Vzorec
Skutečný částečný tlak vodní páry	$p_v = \frac{p_{v,sat} * \varphi_a}{100} [\text{Pa}]$
Kritický parciální tlak nasycené vodní páry	$p_{sat, cr} = \frac{100 - p_v}{\varphi_{si, cr}} = p_v / \varphi_{si, cr} [\text{Pa}]$ $\varphi_{si, cr} = 100 \%$ hranice kondenzace vodní páry $\varphi_{si, cr} = 80 \%$ hranice rizika vzniku plísní $\varphi_{si, cr} = 65 \%$ potenciální riziko vzniku plísní
Kritická vnitřní výpočtová teplota	$\theta_{si, cr} = \frac{237,3 * \ln\left(\frac{p_{sat, cr}}{610,5}\right)}{17,269 - \ln\left(\frac{p_{sat, cr}}{610,5}\right)} [^\circ\text{C}]$

V návaznosti na jednotlivých závislostech, byl vytvořen pomocný Excel pro výpočet kritických povrchových teplot. Na základě tohoto programu byla v rámci experimentální činnosti autorkou dizertační práce naprogramována aplikace .exe v programu Microsoft Visual studio viz obr. 22.

VÝPOČET KRITICKÝCH TEPLŮT	
VNITŘNÍ TEPLOTA <16,0 - 25,9> °C	20 °C
VNITŘNÍ RELATIVNÍ VLHKOST <0,1 - 100> %	50 %
VÝPOČET	
VÝSKYT PLÍSNÍ NA POVRCHU KONSTRUKCE při 80% rel. vlhkosti	12,6 °C
KONDENZACE VODNÍ PÁRY NA POVRCHU KONSTRUKCE při 100% rel. vlhkosti	9,26 °C

Obr. 22: Program (aplikace) pro výpočet kritických povrchových teplot

2.9.3 Výpočet měrné vlhkosti

Dále byl vytvořen výpočet pro měrnou vlhkost vzduchu z parametrů vzduchu teploty a relativní vlhkosti dle [84]. V následujících rovnicích (9) až (11) je uvedeno shrnutí použitých vzorců pro měrnou vlhkost vzduchu x [g/kg s.v.].

Tabulka 21: Vyjádření vzorců pro výpočet měrné vlhkosti vzduchu

$$x = 0,622 \frac{\varphi \cdot p''_v}{p - \varphi \cdot p''_v} \text{ [g/kg s.v.]} \quad (9)$$

$$\ln p''_v = 23,58 - \frac{4044,2}{235,6 + t} \quad (10)$$

$$p''_v = 2,73^{(23,58 - \frac{4044,2}{235,6+t})} \text{ [Pa]} \quad (11)$$

2.10 METODY PRŮZKUMY STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ IN SITU

Za účelem zjištění stavu konstrukce v terénu se provádí vizuální prohlídka. Vizuální prohlídka je jedním z nejdůležitějších diagnostických postupů stavebních konstrukcí, neboť jen tento postup umožňuje odhalit nedostatky prakticky v celé zkoumané ploše. Vizuální prohlídka se provádí za účelem zjištění stavu konstrukce z předem daného hlediska, např. se může zaměřovat na vyhledávání statických poruch či vlhkostních problémů konstrukce. Vizuální prohlídku vhodně doplňuje fotografická dokumentace konstrukcí a zaměření konstrukcí. Vizuální prohlídka patří mezi nedestruktivní průzkumy konstrukcí. Mezi další tyto metody patří měření konstrukce pomocí měřících zařízení. V rámci práce bylo použito především měření teplot a relativních vlhkostí. Byly použity, jak přístroje měřící konstrukci dlouhodobě (tzv. datalogery) a ukládající naměřená data do vnitřní paměti, tak přístroje pro změření aktuálního stavu konstrukci. Byly použity přístroje od firem Comet system [85] a Testo [86].

Další specifickou metodou pro nedestruktivní snímání povrchové teploty je termovizní kamera. V rámci termovize se provádí snímání povrchu stavební konstrukce za účelem vyhledání kritických oblastí na daném povrchu. Termografie neboli termovize je stanovení a znázornění rozložení povrchové teploty pomocí měření hustoty infračerveného záření povrchu, zahrnující vyhodnocení přibližných mechanismů způsobujících nepravidelnosti v tepelných obrazech. Termografie uvádí rozmístění a teplotní rozdíly teplotních oblastí o stejné teplotě a místa s náhlou změnou teploty (tepelné mosty). Výstupem z termovizního měření je termogram neboli infračervený snímek. Termovizní měření se provádí pomocí speciální kamery. Pomocí termovize se běžně provádí měření na historických objektech s cílem nalezení nehomogenit povrchu fasády [87]. Termovizní měření se provádí dle norem ČSN EN 13187 Tepelné chování budov – Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov – Infračervená metoda

[88] a ČSN ISO 18434-1 Monitorování stavu a diagnostika strojů – Termografie – Část 1: všeobecné postupy[89].

V rámci průzkumu lze provádět tzv. destruktivní průzkumy. Tyto průzkumy narušují lokálně konstrukci. Jejich součástí je např. odběr vzorků z konstrukce a provedení jejich následné analýzy v laboratoři. V rámci disertační práce nebylo využito destruktivních průzkumů, proto nebude tato problematika dále zmíněna.

V rámci disertační práce byly provedeny následující metody průzkumu stavebních konstrukcí:

- vizuální prohlídka konstrukcí in situ s fotografickou dokumentací,
- zaměření konstrukcí,
- měření aktuálního tepelně vlhkostního stavu konstrukcí,
- dlouhodobé měření konstrukcí a termovizní měření.

3 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ IN SITU

Monitorování stavebních konstrukcí in situ je důležitou součástí průzkumu stavby. Monitorování zahrnuje jak diagnostiku aktuálního stavu konstrukce, tak dlouhodobé sledování vybraných parametrů konstrukce. V průběhu dlouhodobého monitorování se zjišťuje fungování konstrukcí vzhledem k měnícím se okolním podmínkám. Těmito podmínkami mohou být například okolní prostředí, tj. parametry mikroklimatu v blízkosti konstrukcí či zatěžování konstrukcí. Cílem monitorování konstrukcí je získání reálných parametrů a sledování kritických jevů vyskytujících se na konstrukcích. Tyto poznatky jsou použity pro následný návrh způsobu rekonstruování výplňových okenních konstrukcí. Při rekonstrukcích je žádoucí tyto kritické vlivy odstranit či účinně eliminovat.

Monitorování konstrukcí se provádí vždy s ohledem na požadované sledované parametry a prostředí konstrukce. Měření lze provádět jak destruktivní, tak nedestruktivní metodou, tj. bez zásahu do stavebních konstrukcí. Lze tudíž monitorovat i stavby, které jsou vysoce památkově chráněné, např. monitorování mikroklimatu kaple sv. Kříže na hradě Karlštejn [90] či kostela ze 13. století v Lisabonu [91]. Další nedestruktivní metodou je průzkum pomocí termovizní kamery [92], tj. snímání infračerveného spektra povrchové vrstvy objektu.

Měření in situ je možné do určité míry nahradit laboratorními podmínkami. V případě sledování tepelně vlhkostních parametrů to může být měření v laboratorní klimakomoře viz [93].

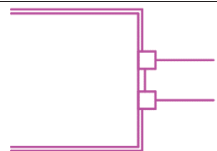
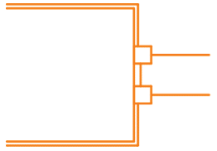
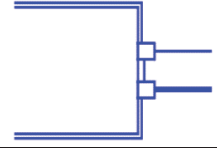
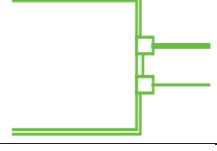
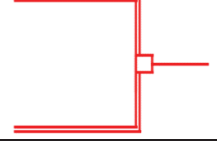
Tato práce se týká tepelně vlhkostních procesů, které probíhají ve stavebních konstrukcích ostění oken. Tyto procesy jsou významně ovlivněny podmínkami okolních mikroklimat konstrukce. Významnou část výzkumu proto tvoří experimentální monitorování reálných konstrukcí. V průběhu několika let bylo provedeno několik dlouhodobých a krátkodobých měření. Cílem měření bylo popsání reálných procesů a sledování nežádoucích jevů, které probíhají na předmětné konstrukci v závislosti na měnících se okrajových podmínkách [94]. V následujících kapitolách je ucelený přehled naměřených dat a jejich výsledky.

3.1 POPIS MĚŘENÝCH KONSTRUKCÍ

Sledovanou konstrukcí je povrchová oblast vnitřního ostění okenní konstrukce. Monitorování ostění zahrnovalo sledování parametrů na sousedících konstrukcích (obvodová stěna, okenní výplň) a v okolí konstrukcí (mikroklimata). Stavební konstrukce měly různé parametry, lišily se tloušťka obvodové stěny, materiál obvodové stěny či tvar ostění. Měřené konstrukce se nacházely v různých prostředích (lokalita, orientace ke světovým stranám atd.). Stáří měřených

stavebních konstrukcí bylo mezi 50 a 80 lety. V následující tabulce 22 jsou popsány jednotlivé typy okenních výplní, které byly měřeny. Popis konstrukčního řešení ostění je v kapitole 2.2.

Tabulka 22: Přehled měřených typů konstrukcí

Popis konstrukce	Schéma konstrukce
Dvojitá okna původní (jednoduché zasklení na vnitřním i vnějším okenním křídle)	
Dvojitá okna nová (jednoduché zasklení na vnitřním i vnějším okenním křídle)	
Dvojitá okna (izolační dvojsklo na vnitřním okenním křídle, jednoduché zasklení na vnějším okenním křídle)	
Dvojitá okna (izolační dvojsklo na vnějším okenním křídle, jednoduché zasklení na vnitřním okenním křídle)	
Jednoduché okno s izolačním dvojsklem	

Na následujících obr. 23 až obr. 26 je zobrazen přehled typů dlouhodobě měřených konstrukcí v rámci disertační práce.



Obr. 23: Ostění u původní konstrukce dvojitého okna, části ostění: vnitřní, mezi, vnější

Obr. 24: Ostění u novodobé konstrukce dvojitého okna, části ostění: vnitřní, mezi, vnější



Obr. 25: Ostění u novodobé konstrukce dvojitého okna, části ostění: vnitřní, špaleta a vnější

Obr. 26: Ostění u novodobé konstrukce jednoduchého okna na místě původního dvojitého okna, části ostění: vnitřní a vnější

Měření zahrnovalo též geometrické zaměření konstrukcí in situ. Reálné provedení tvaru konstrukce ostění pod okenní konstrukcí či přítomnost dutin nelze při zaměření analyzovat. V průběhu zpracování disertační práce byl autor přítomen kompletní rekonstrukci jednoho z měřených oken. Jednalo se o výměnu původního dvojitého okna za dvojitě okno nové. Díky této rekonstrukci bylo možné zachycení stavu konstrukce po obnažení původního ostění. Tento stav umožnil přesné zaměření ostění. Tato stavební konstrukce byla součástí experimentálního měření č. 1, 9 a 10. Dále byla využita v kapitole 4 modelování. Fotografická dokumentace tohoto stavu je na obr. 27 až obr. 29. Na obr. 30 je zobrazen detail dřevěného ostění po vybourání.



Obr. 27: Vybourání parapetní části okna

Obr. 28: Stavební otvor po vybourání okenní konstrukce (stavební konstrukce je z 30. let 20. století)



Obr. 29: Detailní fotografie tvaru a stavu ostění



Obr. 30: Detail dřevěného ostění dvojitého okna

3.2 TECHNICKÝ POPIS MĚŘENÍ

Měření bylo ve všech případech prováděno pomocí malých přenosných měřicích zařízení od firem COMET SYSTÉM [85] a Testo [86]. Měřenými veličinami byla teplota a relativní vlhkost. Zařízení byla umístěna in situ na konstrukce. Zařízení tzv. datalogery dlouhodobě monitorovala jak parametry vzduchu jednotlivých mikroklimat obklopující stavební konstrukci, tak povrchové teploty či teploty uvnitř konstrukce. Nejistota měření přístrojů je dle výrobce $\pm 0,4$ °C a $\pm 2,5$ % relativní vlhkosti [95]. Měřenými mikroklimaty byly interiér a exteriér. V případě konstrukce dvojitého okna se monitorovalo i prostředí v prostoru špalety. Exteriérová měření probíhající v oblasti Praha byla doplněna o hodnoty z meteorologické stanice v Praze 6 na Suchdole [49].

Samotné zařízení obsahuje sondy na měření příslušných parametrů či jsou k němu napojeny externí sondy. Datalogery zaznamenávaly měřené parametry v pravidelných intervalech (hodina, čtvrt hodina). Příklad stavební konstrukce osazené datalogery je na obr. 31 a obr. 33. Na obr. 32 je zobrazeno měřicí zařízení monitorující aktuální mikroklima interiéru. Na obr. 34 je zobrazen detail měřicího zařízení S3120 se sondou měřící povrchovou teplotu (A) a s teplotní sondou měřící okolí vzduchu či materiálu (B).



Obr. 31: Osazená konstrukce měřicími zařízeními



Obr. 32: Detail měřicího zařízení, D4130, COMET SYSTEM [96]

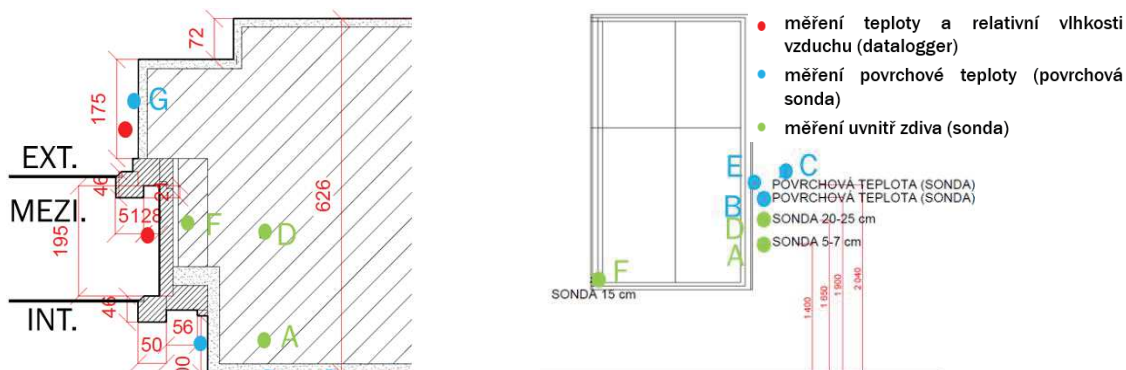


Obr. 33: Měřicí zařízení in situ, typ S3631 [85]



Obr. 34: Detail měřicího zařízení, s příložnou sondou (A) a teplotní sondou (B), typ S0141 [85]

Měřenými parametry in situ byly: teplota a relativní vlhkost vzduchu, povrchová teplota a teplota uvnitř konstrukce. Z naměřených hodnot pro mikroklima vzduchu lze vypočítat dle rosného bodu měrnou vlhkost či částečný tlak vodní páry. Příklad zakreslení měřících dataloggerů u experimentálního měření číslo 1 (viz kapitola 0) je na obr. 35 a na pohledu obr. 36.



Obr. 35: Detail konstrukce ostění dvojitého okna se sondami, vodorovný řez

Obr. 36: Pohled na měřené okno, umístění sond

Při měření byly vyzkoušeny různé typy měřících zařízení. V případě dataloggerů se jednalo o rozdílné technologie v průběžném odečítání dat. Starší „klasické“ modely data ukládají ve stanovených pravidelných časech do své paměti, stažení dat v tomto případě probíhá přímo in situ. Při závěrečných měřeních byla využita „novější“ technologie dataloggerů [97]. Tyto datalogger pracují na bázi Wi-fi a data se sdílejí online přes Cloud [98], data lze tudíž vidět aktuálně. Obě varianty mají své výhody a nevýhody. Výhodou u klasických přístrojů je to především spolehlivost a jednoduchost stažení dat, ovšem nevýhodou je nemožnost stažení dat bezdrátově „na dálku“. U Wi-fi přístrojů je výhodou především online sledování dat, ovšem na úkor náročnější instalace.

3.3 PŘEHLED MĚŘENÍ

V průběhu let 2015 až 2020 bylo provedeno 13 dlouhodobých měření. Měření probíhala celkem na 7 rozdílných objektech, v některých případech byla prováděna měření na stejném objektu

např. na původním okně a poté na zrekonstruovaném okně (měření č. 1, 9 a 10) nebo byla měření prováděna ve více obdobích (měření č. 2 až 4 a č. 5 až 7).

Časová období měření byla různá, v jednom případě se jednalo o dlouhodobé více jak roční měření. V ostatních případech byla měření kratší (od několika dnů po několik měsíců) z důvodů dostupnosti a možnosti využití daného prostředí na daném místě. Byly měřeny různé typy konstrukcí ostění oken při různých funkčních využitích přilehlých interiérů. Pro získání co nejširší škály dat byla měření prováděna ve městech i vesnicích, v nížinách či horách, v létě či v zimě.

V tabulce 23 je uveden přehled měření včetně stručného popisu. Všechna experimentální měření probíhala v letech 2015 až 2020. V tabulce 24 je uvedeno přiřazení jednotlivých měření k daným grafickým schématům předmětných oken. V tabulce 25, kde je uvedena fotografická dokumentace jednotlivých měření. Následuje tabulka 26, kde je celkové shrnutí všech měřených období experimentálních měření.

Tabulka 23: Přehled měření in situ, stručný popis (2015 - 2020)

Označení	Popis				Období měření			Mikroklima			Povrch	
	Lokalizace	Prostředí	Fasáda	Stáří Kce*/okno	Začátek	Konec	Počet dní	Interiér	Špaleta	Exteriér	Vnitřní	Špalety
Stavební konstrukce ostění s dvojitým oknem												
1	Praha 6	AB/ Kancelář	JZ	1930	21.01.2015	11.02.2016	387					*2
2	Příchovice	HCH/ Ubytování	JV	1950	25.11.2016	27.11.2016	3				-	-
3					18.03.2017	19.03.2017	2					
5	Semily	CH/ Kuchyně	S	1960	16.12.2016	18.12.2016	3				-	-
6					06.01.2017	08.01.2017	3					
7					20.01.2017	22.01.2017	3					
8	Praha 6	RD/ Ložnice	JV	1960	29.12.2018	14.02.2019	48					
9	Praha 6	AB/ Kancelář	JZ	1930	29.11.2018	04.12.2018	6					
Stavební konstrukce ostění s novým oknem												
10	Praha 6	AB/ Kancelář	JZ	1930/ 2018	20.12.2018	02.01.2019	14				-	
11	Praha 4	BD/ Kuchyně	SZ	1930/ 2016	21.04.2017	24.04.2017	4				-	-
4	Příchovice	HCH/ Ubytování	JZ	1970/ 2020	16.01.2020	19.01.2020	4				-	
Stavební konstrukce ostění s jednoduchým oknem												
12	Praha 6	BD/ Ložnice	V	1960/ 2007	29.11.2017	28.11.2018	61		-			-
13	Praha 6	BD/ Ložnice	JZ	1960/ 2017	05.04.2019	09.09.2019	158		-		-	-

Pozn. AB: Administrativní budova, HCH: Horská chalupa, CH: chalupa, RD: Rodinný dům, BD: Bytový dům

*1kce = konstrukce, roky přibližně zaokrouhleno na desetiletí *2prostor pod špaletou

Tabulka 24: Přehled měření in situ, rozdělení konstrukcí dle grafického schématu

	Dvojité okno				Jednoduché okno
Schéma konstrukce					
Experiment. měř č.	1;2;3;5;6;7;8;9	4	10	11	12;13

Tabulka 25: Přehled monitorovaných konstrukcí ostění

	Ostění u dvojitého okna s jednoduchým zasklením		
Ozn.	1	2,3	4
Fotodokumentace experimentálního měření			
Ozn.	5;6;7	8	9
Fotodokumentace experimentálního měření			
	Ostění u dvojitého okna s izolačními dvojskly		
Ozn.	10	11	
Fotodokumentace experimentálního měření			
	Ostění u jednoduchého okna		
Ozn.	12	13	
Fotodokumentace experimentálního měření			

Pozn. čísla uvádí označení měření

Tabulka 26: Přehled souhrnných období měření in-situ během let 2015-2020, kdy probíhalo měření

Rok	Měsíce											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2015												
2016												
2017												
2018												
2019												
2020												

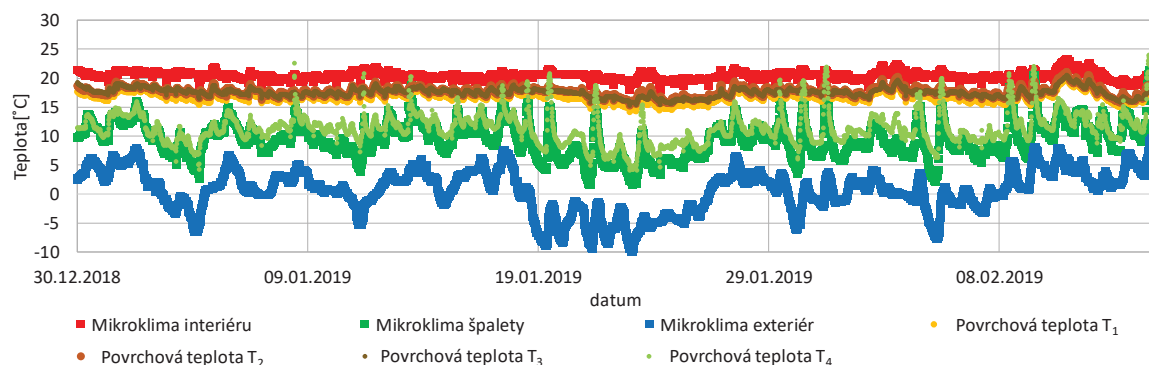
Pozn. zeleně označeny měsíce, ve kterých probíhalo měření

3.4 ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ

Výsledkem dlouhodobých a krátkodobých měření je souhrn naměřených veličin v předemných místech konstrukce. Naměřená data utvářejí komplexní informaci o vlivu tepelně vlhkostních procesů v daném místě konstrukce ve vztahu k okolním podmínkám. V rámci shromažďování dat je nutno konstatovat, že konstrukce byly sledovány ve všech ročních obdobích v průběhu 5 let, a následující výběr zastupuje široké spektrum možných procesů na těchto prvcích.

Data pro každá dlouhodobá měření vykazují stovky až desetitisíce hodnot naměřených na jednom místě v různém čase. Data byla analyzována pomocí programu Excel s využitím statistického vyhodnocení dat dle [99], z dat byly následně vytvořeny grafy. Vyhodnocení dat obsahovalo tyto (funkce): minimální hodnoty (v textu označené Min), maximální hodnoty (v textu označované Max), průměr a vzájemná korelace dat. Jednotlivé parametry byly následně porovnávány. Dále byly v Excelu pomocí Hx diagramu ([45], [100]) nastaveny následující výpočty pro odvození parametrů vycházejících z naměřených hodnot: rosný bod, 80 % povrchová vlhkost, částečný tlak vodní páry a měrná vlhkost vzduchu. Podkladem pro vlastní výpočet vybraných hodnot v Excelu byly hodnoty částečného tlaku vodní páry pro jednotlivé teploty dle ČSN 73 0540-3 [24]. Inspirací pro zpracování dat z dlouhodobých měření byly články popisující monitorování staveb např. „Chapel of cemetery church of all saints in Sedlec – Long-term analysis of hygrothermal conditions“ autorů Z. Pavlík a kolektiv [101]–[103].

Na grafu 8 je zobrazen příklad grafu z monitorované konstrukce experimentální měření č. 8. Na vodorovné ose je časová osa, tj. monitorované období (datum), na svislé ose jsou měřené parametry, v tomto případě teploty vzduchu v jednotlivých mikroklimatech a povrchové teploty konstrukce.



Graf 8: Ukázka grafu z monitorování stavební konstrukce, experimentální měření č. 8

Ve všech případech byly sledovány hodnoty teploty a relativní vlhkosti ve vztahu ke kondenzaci vodní páry na konstrukci. Klíčovými hledisky bylo hledání kritických míst sledovaných oblastí oken, sledování vlastností jednotlivých mikroklimat (interiér, špaleta, exteriér) a změny tepelně technických parametrů oblastí sledovaných ostění. Mezi sledované parametry patřily minimální povrchové teploty, maximální povrchové vlhkosti a maximální tepelné toky.

Z dat byly následně vytvořeny shrnující tabulky a grafy shrnující naměřené údaje. Tyto údaje jsou uvedeny v kapitole 3.5.1 a v Příloze 1.

3.5 VÝSLEDKY DLOUHODOBÉHO EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

Z naměřených parametrů dlouhodobého měření byly vybrány nejzajímavější okrajové podmínky v okolí konstrukcí. Níže budou na několika případech uvedeny závislosti okrajových podmínek na konstrukci ostění oken a popsány různé procesy a jevy, které byly pozorovány v okolí a na těchto konstrukcích během dlouhodobých měření.

3.5.1 Shrnutí dlouhodobých měření

Vyhodnocená data ze všech experimentálních měření vykazují široký rozsah dat. Tabulky 27 a 28 obsahují přehled naměřených hodnot všech monitorovaných veličin mikroklimat v okolí stavebních konstrukcí.

Tabulka 27: Souhrnná tabulka naměřených dat mikroklimat experimentálních měření č. 1 až 6

			OZNAČENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ/ PARAMETRY MIKROKLIMA																	
			1			2			3			4			5			6		
			INT	ŠPAL	EXT	INT	ŠPAL	EXT	INT	ŠPAL	EXT	INT	ŠPAL	EXT	INT	ŠPAL	EXT	INT	ŠPAL	EXT
TEPLOTA	[°C]	MIN	17,2	2,2	-8,5	17,9	8,5	0,5	18,3	7,4	-2,0	7,9	0,7	-2,3	8,1	1,3	-7,2	6,4	-6,3	-17,0
		MAX	33,6	54,2	53,3	21,9	13,3	9,6	24,1	19,4	15,7	20,2	16,0	10,1	27,6	11,4	0,2	19,6	5,4	-5,6
		PRŮM	22,5	17,5	13,3	20,2	10,2	3,9	22,1	12,8	3,9	14,4	6,8	1,1	15,4	5,7	-3,1	11,4	-0,5	-10,5
RELATIVNÍ VLHKOST	[%]	MIN	17,2	7,0	10,6	43,3	32,5	42,2	26,5	36,8	24,9	35,1	51,2	54,7	20,4	40,4	80,8	12,1	28,4	47,1
		MAX	58,4	83,0	100	55,5	84,3	100	42,6	71,5	79,4	57,2	82,6	100	76,9	57,0	93,5	46,4	51,2	71,6
		PRŮM	33,9	43,6	59,3	50,5	75,2	88,8	33,2	58,3	67,2	48,8	70,2	93,5	44,1	50,5	87,6	29,0	36,3	63,0
ROSNÝ BOD	[°C]	MIN	-4,4	-15,6	-15,5	6,7	-3,2	-5,6	-6,8	1,1	-6,8	-1,8	-3,1	-2,4	-6,0	-7,6	-9,7	-14,7	-19,9	-23,5
		MAX	17,1	19,3	21,7	11,7	10,3	5,6	3,0	8,0	3,0	8,9	8,0	5,0	8,7	-1,2	-1,3	0,9	-6,9	-11,0
		PRŮM	5,5	4,5	4,7	9,5	6,0	2,1	-2,0	4,7	-2,0	3,8	1,7	0,1	1,2	-3,9	-4,8	-6,8	-13,7	-16,2
MĚRNÁ VLHKOST	[g/kg s.v.]	MIN	2,8	1,1	1,1	6,1	3,0	2,5	4,7	4,2	2,3	3,3	3,0	3,2	2,4	2,1	1,8	1,2	0,8	2,4
		MAX	12,4	14,2	16,6	8,7	7,9	5,7	6,7	6,7	4,8	7,2	6,7	5,5	7,1	3,5	3,5	4,1	2,3	1,6
		PRŮM	6,0	5,7	5,9	7,5	5,9	4,5	5,5	5,4	3,3	5,1	4,4	3,8	4,3	2,9	2,7	2,3	1,3	1,1
ČÁSTEČNÝ TLAK VODNÍ PÁRY	[Pa]	MIN	368	178	170	535	484	403	745	663	361	533	485	510	337	341	274	193	146	94
		MAX	1938	2138	2578	1368	1254	908	1064	1063	758	1143	1072	872	1127	561	556	651	360	251
		PRŮM	918	855	891	1162	941	716	876	848	532	808	699	602	676	460	420	372	226	173

Pozn. INT=interiér, ŠPAL= špalety (prostředí mezi okenními křídly) EXT=exteriér, barevná škála: modře označené nejnižší hodnota, červeně nejvyšší hodnota

Tabulka 28: Souhrnná tabulka naměřených dat mikroklimat experimentálních měření č. 7 až 13

			OZNAČENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ/ PARAMETRY MIKROKLIMA																		
			7			8			9			10			11			12		13	
			INT	ŠPAL	EXT	INT	ŠPAL	EXT	INT	ŠPAL	EXT	INT	ŠPAL	EXT	INT	ŠPAL	EXT	INT	EXT	INT	EXT
TEPLOTA	[°C]	MIN	9,0	-0,7	-10,7	17,9	1,5	-10,6	20,4	3,0	-1,3	21,4	5,3	1,8	17,2	12,1	4,0	18,5	-4,6	22,1	-0,3
		MAX	22,8	10,5	2,1	23,3	21,4	9,7	23,8	16,2	14,3	23,9	13,4	13,3	23,2	18,5	14,7	22,4	12,2	27,7	37,1
		PRŮM	13,1	4,2	-4,7	20,5	9,5	0,7	21,7	7,3	5,1	22,7	8,6	6,5	19,9	15,5	8,8	20,6	2,6	24,8	17,1
RELATIVNÍ VLHKOST	[%]	MIN	17,7	32,2	52,0	26,6	36,3	41,6	20,3	18,6	27,2	28,3	41,8	48,4	32,8	45,4	27,1	30,4	46,9	23,2	10,9
		MAX	56,2	48,7	79,5	58,9	98,0	94,1	39,0	79,4	88,5	34,5	73,0	85,4	64,5	61,8	73,3	63,5	98,5	63,3	96,9
		PRŮM	36,4	41,4	70,4	47,4	67,9	77,6	27,6	60,5	70,0	31,9	59,0	69,4	46,8	54,1	48,5	41,1	81,9	46,5	61,0
ROSNÝ BOD	[°C]	MIN	-6,4	-12,8	-15,0	-0,2	-5,8	0,0	-1,5	-8,7	-11,5	2,6	-3,8	-4,6	5,0	3,3	-6,7	2,6	-9,7	-50,6	-12,4
		MAX	3,4	-3,8	-5,2	12,8	14,9	0,0	7,5	8,6	9,7	6,3	5,3	6,6	12,5	9,6	4,5	14,7	8,3	-41,1	20,5
		PRŮM	-2,1	-7,8	-9,3	8,9	3,8	0,0	1,9	-0,1	-0,1	5,1	1,0	1,3	8,1	6,3	-1,7	6,8	-0,3	-44,4	8,4
MĚRNÁ VLHKOST	[g/kg s.v.]	MIN	2,4	1,4	1,2	3,7	2,5	1,4	3,4	2,0	1,6	4,6	2,9	2,7	5,4	2,3	2,3	4,6	1,8	5,2	2,1
		MAX	4,9	2,9	2,6	9,3	10,7	5,1	6,5	7,0	7,6	6,0	5,6	6,1	9,2	7,5	5,3	10,6	6,9	15,5	15,4
		PRŮM	3,3	2,2	1,9	7,2	5,2	3,2	4,5	4,1	4,1	5,5	4,2	4,3	6,8	6,0	3,4	6,3	3,8	10,7	7,5
ČÁSTEČNÝ TLAK VODNÍ PÁRY	[Pa]	MIN	249	227	173	309	392	102	540	314	253	730	460	431	514	367	371	438	291	438	291
		MAX	775	457	413	1464	1690	1132	1024	1116	1202	946	891	973	1444	1193	844	1278	1092	1278	1092
		PRŮM	530	344	297	1120	821	495	706	647	654	874	664	678	1071	938	546	996	607	996	607

Pozn. INT=interiér, ŠPAL= špalety (prostředí mezi okenními křídly) EXT=exteriér, barevná škála: modře označené nejnižší hodnota, červeně nejvyšší hodnota

Na základě dat lze konstatovat následující skutečnosti:

- Měření zahrnují konstrukce ovlivněné osluněním, mrazem či 100 % relativní vlhkostí okolních mikroklimat.
- Mikroklimata interiérů prostor s vysokými stropy (vyšší než 3,5 m) vykazovala nízkou relativní vlhkost místností (např. průměrná celoroční hodnota relativní vlhkosti v prostředí kanceláře byla 36,4 %).

- Měření zahrnovala okrajové podmínky v různých lokalitách ČR. Příkladem jsou měření č. 1 v městské lokalitě v nadmořské výšce 240 m n.m. a měření č. 2 až 4 v horské vesnici v 780 m n.m..
- V měření se vyskytovaly jak interiéry s konstantním prostředím (např. měření č. 8), tak s výraznějšími výkyvy zahrnující vychladnutí interiéru během noci či vzrůst teploty v ranních hodinách (měření č. 5 až 7).
- V měření byly zachyceny konstrukce s výskytem teploty ve špaletě pod bodem mrazu (měření č.5 až 7) či v blízkosti bodu mrazu (měření č. 4).
- Byly zachyceny prostředí ve špaletě přesahující 80 % relativní vlhkost (měření č. 1;2;4;8)
- Minimální teplota prostředí v exteriéru byla – 17 °C.
- Teplota prostředí ve špaletě dosahovala až 54 °C.

Tabulky 29 a 30 ukazují přehled naměřených hodnot povrchových teplot na jednotlivých experimentálních měřeních. Rozsah naměřených hodnot povrchových teplot v interiéru se pohybuje v rozmezí 6,3 °C až 33,3 °C, rozsah povrchových teplot ve špaletě se pohybuje v rozmezí 1,9 °C až 40 °C.

Tabulka 29: Souhrnná tabulka naměřených dat povrchových teplot experimentálních měření č. 1 až 6

				POVRCHOVÁ TEPLOTA OSTĚNÍ																	
				1			2			3			4			5			6		
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
POVRCHOVÁ TEPLOTA	VNITŘNÍ	[°C]	MIN	17,5	-	-	-	-	-	19,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			MAX	32,7	-	-	-	-	-	23,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			PRŮM	21,6	-	-	-	-	-	21,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ŠPALETA	MIN	9,6	-	-	-	-	-	8,6	-	-	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	
		MAX	32,5	-	-	-	-	-	19,6	-	-	17,7	-	-	-	-	-	-	-	-	
		PRŮM	19,6	-	-	-	-	-	13,5	-	-	7,7	-	-	-	-	-	-	-	-	

Pozn. VNITŘNÍ=vnitřní ostění, ŠPALETA= povrch dřevěné špalety, barevná škála: modře označené nejnižší hodnota, červeně nejvyšší hodnota

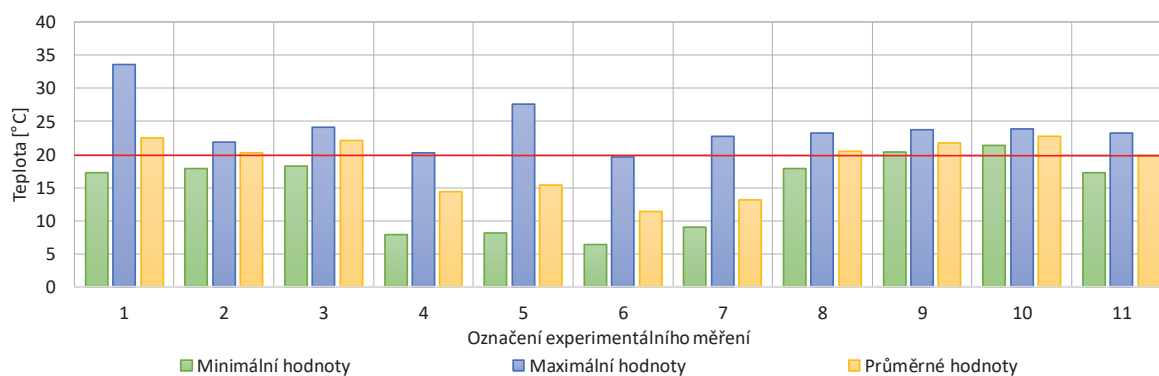
Tabulka 30: Souhrnná tabulka naměřených dat povrchových teplot experimentálních měření č. 7 až 13

				POVRCHOVÁ TEPLOTA OSTĚNÍ																			
				7			8			9			10			11			12		13		
				T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
POVRCHOVÁ TEPLOTA	VNITŘNÍ	[°C]	MIN	-	-	-	14,2	15,3	15,3	15,4	17,3	18	-	-	-	-	-	-	6,3	8,4	-	-	
			MAX	-	-	-	20,1	21,1	20,5	23,7	24,4	23,9	-	-	-	-	-	-	-	18,7	20,6	-	-
			PRŮM	-	-	-	16,8	17,7	17,6	16,8	18,7	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	15,2	16,8	-
	ŠPALETA	MIN	-	-	-	4,1	-	-	5,4	-	-	5,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		MAX	-	-	-	24	-	-	15,2	-	-	18,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		PRŮM	-	-	-	11,4	-	-	9,16	-	-	9,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

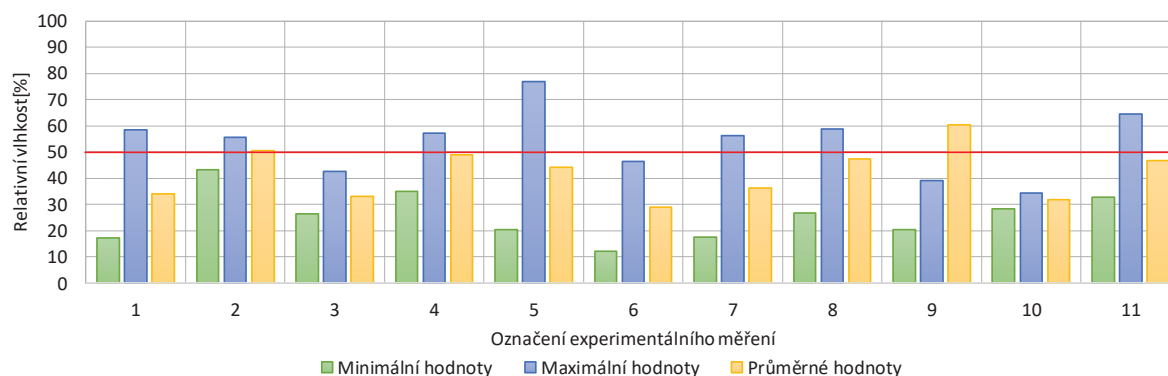
Pozn. VNITŘNÍ=vnitřní ostění, ŠPALETA= povrch dřevěné špalety, barevná škála: modře označené nejnižší hodnota, červeně nejvyšší hodnota

3.5.2 Okrajové podmínky mikroklimat a vliv na procesy na ostění

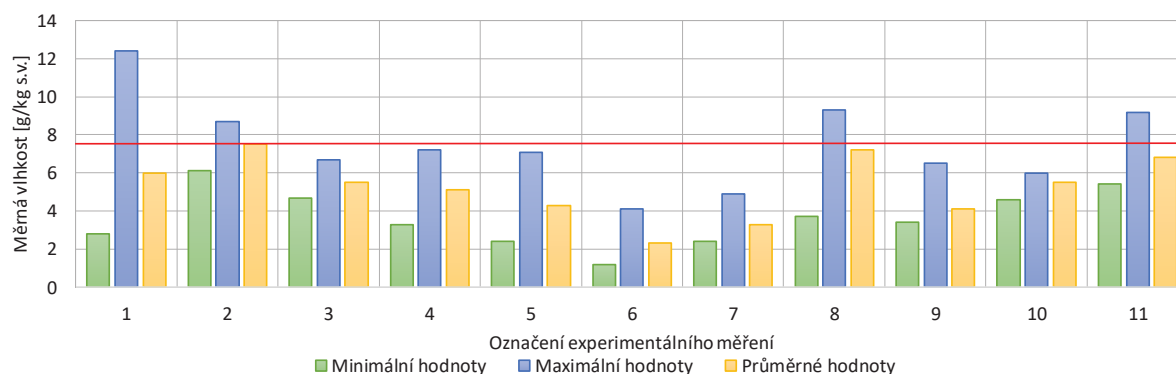
Tepelně vlhkostní procesy probíhají během celého roku na základě okrajových podmínek. Okrajové podmínky jsou závislé na dané lokalitě, umístění objektu či orientaci stavební konstrukce ke světovým stranám. V této kapitole jsou uvedena data z měření okrajových podmínek. Prostředí mikroklimatu interiéru má významný vliv na kritické povrchové teploty konstrukcí. Následující grafy 9 až 11 uvádějí porovnání všech naměřených hodnot v jednotlivých mikroklimatech. V grafech jsou červenou vodorovnou čarou vyznačeny návrhové hodnoty vzduchu pro obývaný interiér dle ČSN 730540-3. Jsou to hodnoty 20 °C, 50 % a 7,4 g/kg s.v. Průměrné naměřené hodnoty vykazují nižší hodnoty teplot, relativních vlhkostí i měrných vlhkostí. Z těchto údajů lze uvést, že průměrně byla měření, co se týče prostředí interiéru na straně bezpečnosti z pohledu výskytu kritické povrchové teploty. Průběh obsahu vlhkosti ve vzduchu koreluje s teplotou vzduchu. Celkový naměřený obsah vlhkosti v mikroklimatech byl analogicky k teplotě též nízký.



Graf 9: Porovnání naměřených hodnot mikroklimat interiérů experimentálních měření

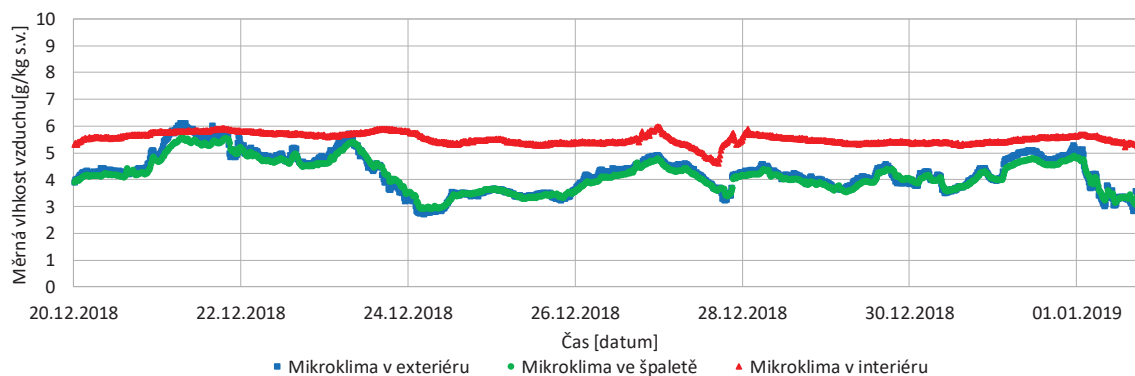


Graf 10: Porovnání naměřených hodnot relativních vlhkostí interiérů experimentálních měření

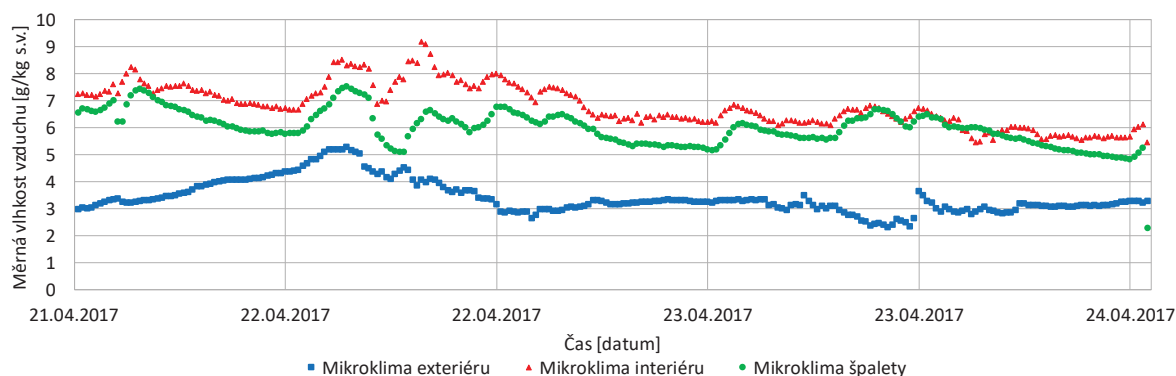


Graf 11: Porovnání naměřených hodnot měrných vlhkostí interiérů experimentálních měření

V zimním období je patrný výrazný rozdíl v obsahu vlhkosti v mikroklimatu interiéru a exteriéru. Vzduch v exteriéru je suchý, naopak v interiéru je vyšší vlhkost. V následujících grafech 12 a 13 je zobrazen průběh měrné vlhkosti vzduchu z experimentálního měření č. 10 respektive č. 11. Vodorovná osa grafu zobrazuje časové období, na svislé ose je rozsah měrných vlhkostí mikroklimat [g/kg s.v.]. Měřené stavební konstrukce se liší typem okna, zatímco v prvním případě u experimentálního měření č. 10 se jedná o okno s dvojsklem na vnitřním křídle okna, v případě experimentálního měření č. 11 se jedná o konstrukci dvojitého okna s dvojsklem na vnějším křídle okna. Je dobře vidět, že v interiéru obou mikroklimat je cca dvojnásobný obsah vlhkosti oproti mikroklimatu v exteriéru. Obsah vlhkosti v prostoru špalety se liší v závislosti na konstrukci okna, v případě dvojskla na vnitřním křídle okna jsou hodnoty více korelují s hodnotami obsahu vzduchu v exteriéru. V případě dvojskla na vnějším křídle okna obsah vlhkosti vzduchu ve špaletě více koreluje shodný s interiérovými hodnotami. Z průběhu těchto hodnot je patrné, že umístění tepelně izolačního dvojskla na vnitřní či vnější křídlo okna má významný vliv na obsah vlhkosti v konstrukci dvojitého okna. Materiály špalety dvojitého okna s dvojsklem na vnějším křídle okna jsou vystaveny cca dvojnásobně vyšší vlhkosti oproti konstrukci dvojitého okna s dvojsklem na vnitřním křídle okna.



Graf 12: Průběh měrných vlhkostí vzduchu, mikroklima u konstrukce dvojitého okna s dvojsklem na vnitřním křídle okna, experimentální měření č. 10



Graf 13: Průběh měrných vlhkostí vzduchu u konstrukce s dvojsklem na vnějším křídle okna, experimentální měření č. 11

Všechna experimentální měření probíhala na stavebních konstrukcích (obvodová stěna s okenní výplní), která oddělují jednotlivá mikroklimata, jež se vzájemně ovlivňují. Z naměřených hodnot jednotlivých mikroklimat (teplota, relativní vlhkost, měrná vlhkost) byly určeny vzájemné korelace těchto mikroklimat. Korelace byla stanovena pro mikroklimata interiéru a exteriéru, špalety a exteriéru, špalety a interiéru. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 31.

Z hodnot korelace v tabulce (teploty, relativní vlhkosti a měrné vlhkosti) je patrné, že mikroklima exteriéru a interiéru u všech konstrukcí spolu lineárně nesouvisí. Ostění špalety dvojitého okna je lineárně ovlivněno jak mikroklimatem interiéru, tak mikroklimatem exteriéru. Korelace měrné vlhkosti v exteriéru a ve špaletě historického dvojitého okna vykazuje významnou lineární závislost, v případě mikroklimatu ve špaletě a v interiéru je závislost menší. Z toho plyne, že exteriérové podmínky historického okna mají významný vliv na mikroklima ve špaletě.

V případě nové konstrukce dvojitého okna s jednoduchým zasklením na obou křídlech je z hodnot vypočtené korelace patrné, že došlo k výraznému poklesu lineární závislosti ve špaletě na měrné vlhkosti exteriéru. Z hlediska teplot nedochází k významné změně závislosti. Z těchto korelací lze usoudit, že výměna okna nemá vliv na všechny parametry a to především tepelné, nicméně z hlediska vlhkostních parametrů je patrná změna k větší nezávislosti na exteriéru.

Tabulka 31: Korelace naměřených hodnot mezi jednotlivými mikroklimaty

Ozn. měření	Mikroklimata								
	Interiér a exteriér			Špaleta a exteriér			Špaleta a interiér		
	Teplota	Relativní vlhkost	Měrná vlhkost	Teplota	Relativní vlhkost	Měrná vlhkost	Teplota	Relativní vlhkost	Měrná vlhkost
	[°C]	[%]	[g/kg s.v.]	[°C]	[%]	[g/kg s.v.]	[°C]	[%]	[g/kg s.v.]
Mikroklima u konstrukce s historickým dvojitým oknem									
1	0,79	0,14	0,93	0,98	0,87	0,99	0,82	0,49	0,95
2	0,64	0,04	0,28	0,84	0,52	0,64	0,74	-0,05	0,31
3	-0,23	-0,31	0,21	0,94	0,67	0,52	-0,25	0,05	0,44
5	0,06	0,32	0,65	0,53	0,49	0,82	0,89	0,79	0,59
6	0,53	0,37	0,14	0,83	0,63	0,90	0,88	0,54	0,16
7	0,16	-0,07	0,74	0,58	-0,09	0,89	0,89	0,88	0,68
8	0,16	-0,07	0,38	0,58	-0,09	0,89	0,89	0,88	0,68
9	-0,42	0,67	0,92	0,97	0,95	1,00	-0,33	0,77	0,94
Mikroklima u konstrukce nového dvojitého okna s jednoduchým zasklením									
4	-0,02	0,12	-0,24	0,19	0,66	0,59	0,66	0,31	0,79
Mikroklima u konstrukce nového dvojitého okna s dvojsklem na vnitřním křídle									
10	-0,06	0,18	0,58	0,94	0,83	0,98	-0,19	0,23	0,63
Mikroklima u konstrukce nového dvojitého okna s dvojsklem na vnějším křídle									
11	0,48	0,36	0,51	0,87	0,47	0,20	0,81	0,36	0,73
Mikroklima u konstrukce jednoduchého okna									
12	0,06	0,37	0,37	-	-	-	-	-	-
13	0,63	0,24	0,81	-	-	-	-	-	-

Pozn. zelená barva: hodnoty přímo korelují, červená: hodnoty nekorelují, korelace nabývají hodnot od -1 do 1

U nového dvojitého okna s dvojsklem na vnějším křídle je patrná malá lineární závislost měrné vlhkosti mikroklimatu špalety na mikroklimatu exteriéru. To značí, že vnější křídlo s dvojsklem tvoří vlhkostní bariéru mezi prostředím.

Dvojité okno s dvojsklem na vnitřní straně vykazuje významnou závislost mikroklimatu špalety na mikroklimatu exteriéru. To značí, že ostění špalety je nestálé a je vystaveno působení prostředí exteriéru včetně prudkých výkyvů mikroklimat.

Na základě měření mikroklimat lze říci, že nejkritičtější podmínky v oblasti ostění byly naměřeny v období největších rozdílů částečných tlaků vodní páry mezi mikroklimatem interiéru a exteriéru, v tomto případě dochází k největším tepelným tokům stavební konstrukce a povrch ostění je vystaven nejnižším teplotám. V případě experimentálního měření číslo 8 (původní dvojité okno) byl nejvyšší naměřený rozdíl částečných tlaků vodní páry mezi interiérem a exteriérem 932 Pa za podmínek exteriéru -8,5 °C a 83 % a interiéru 20 °C a 50,7 °C, naměřená povrchová teplota na vnitřním ostění dvojitého okna byla 15,5 °C. V případě experimentálního měření č. 12 byl nejvyšší naměřený rozdíl částečných tlaků vodní páry mezi interiérem a exteriérem byl obdobný a to 1001 Pa za podmínek exteriéru 0,7 °C a 92,9 % a interiéru 21,7 °C a 62,0 %, naměřená povrchová teplota na vnitřním ostění jednoduchého okna byla 15,7 °C. Ani jedna z naměřených předcházejících povrchových teplot nebyla ovšem nejnižší ze všech dat. Nejnižší teploty ostění byly naměřeny za speciálních podmínek způsobených prudkými výkyvy a to např. otevřením okna.

3.5.3 Povrchová teplota vnitřního ostění

Za účelem zjištění chování vnitřního povrchu ostění reálných konstrukcí byla měřena povrchová teplota. Povrchová teplota byla sledována pomocí teplotních sond [104]. Tyto sondy tvoří mosazný plíšek, který je přiložen k povrchu konstrukce (viz obr. 34).

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 32. Je zde uveden přehled nejnižších a nejkritičtějších hodnot naměřených na povrchu vnitřního ostění. Nejkritičtější hodnoty jsou takové hodnoty, u kterých je nejnižší rozdíl povrchové teploty konstrukce ostění a ohraničujících podmínek. Z měření je patrné, že tyto hodnoty nemusí vždy nastat pouze u nejnižších naměřených hodnot. Povrchové teploty konstrukce ostění jsou porovnány s hraničními podmínkami daného mikroklimatu interiéru. Jedná se o hranici kondenzace vodní páry (tj. 100 % relativní vlhkost vzduchu), hranici růstu plísní (80 % relativní vlhkost vzduchu) a potenciální hranici růstu plísní (65 % relativní vlhkost vzduchu).

Tabulka 32: Naměřené nejnižší a nejkritičtější povrchové teploty vnitřního ostění

Ozn. měření	Nejnižší naměřená povrchová teplota				Nejkritičtější naměřené povrchové teploty			
	Povrch Teplota	Teplota rosného bodu	Hranice		Povrch Teplota	Teplota rosného bodu	Hranice	
			Růstu plísní	Potenciálního růstu plísní			Růstu plísní	Potenciálního růstu plísní
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
1	17,1	-2,9	0,2	3,1	23,2	14,0	17,5	20,8
3	19,3	4,3	8,4	11,5	20,4	6,5	6,7	9,8
8	14,2	2,1	5,3	8,5	16,2	12	15,5	18,7
9	15,4	1,2	4,5	7,4	17,7	7,4	10,7	13,8
12	6,3	8,2	11,5	14,6	7,4	9,4	12,7	15,9

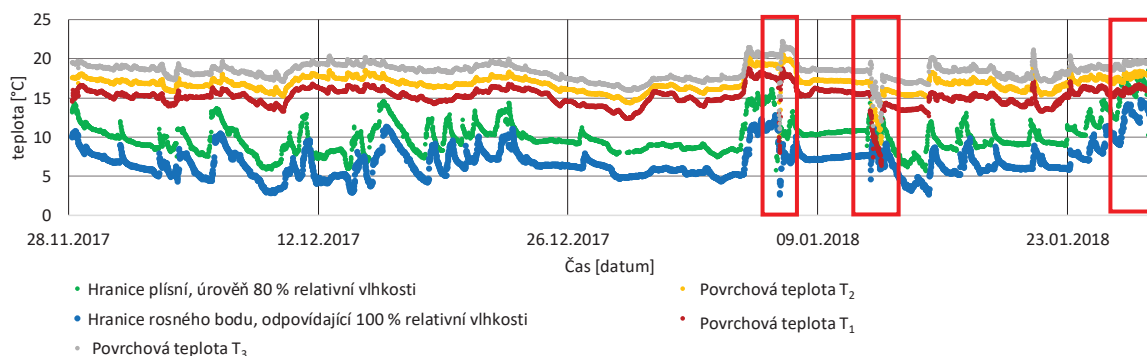
Pozn. červeně označené kritické povrchové teploty

Kritická povrchová teplota byla shledána pouze u experimentálního měření č. 12 na konstrukci ostění u jednoduchého okna. Povrchová teplota je v obou případech nižší než teplota rosného bodu daného mikroklimatu. Za těchto podmínek tudíž probíhá na povrchu konstrukce ostění kondenzace vodní páry.

Hodnoty průměrných povrchových teplot na konstrukci vnitřního ostění u dvojitého okna v experimentálním měření č. 8 byla 1,6 °C od potenciálních podmínek vzniku plísní, přesněji v 9 % měřeného období byl povrch konstrukce vystaven podmínkám potenciálního růstu plísní. Těmto podmínkám byla konstrukce vystavována pravidelně v krátkodobějších intervalech, především v ranních hodinách a při větrání interiéru, viz průběh mikroklimat Příloha 1 – experimentální měření č.8. Zdroj vlhkosti v mikroklimatu interiéru při tomto experimentálním měření byl dominantně způsoben obýváním prostoru lidmi.

Nejnižší povrchová teplota na vnitřním ostění ze všech experimentálních měření byla naměřena na sondě T₁ při experimentálním měření č. 12 (ostění u jednoduchého okna), vyjádřeno v grafu 14 a to hodnota 6,3 °C viz tabulka 32. Tohoto stavu bylo dosaženo při krátkodobé změně

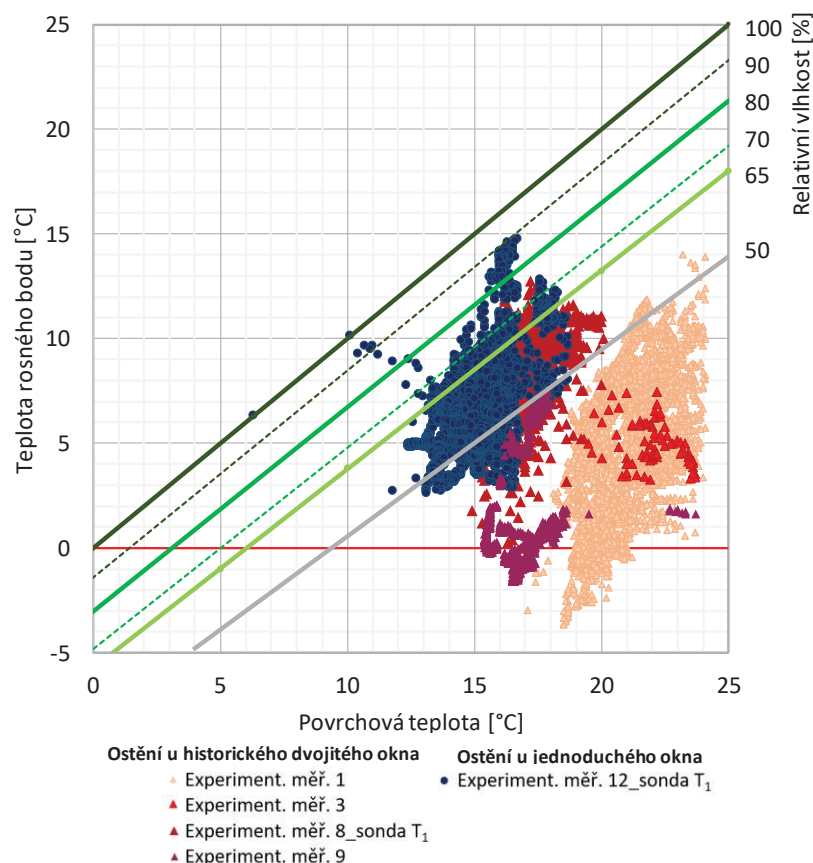
stavu mikroklimatu a to větráním oknem. V tuto dobu byl povrch vystaven kondenzaci vodních par.



Graf 14: Průběh naměřených teplot na konstrukci, experimentální měření č. 12

Graf 14 uvádí přehled povrchových teplot, měřených při experimentálním měření č. 12 na ostění jednoduchého okna (sondy T_1 až T_3). Vodorovná osa zobrazuje časovou osu (měření probíhalo v zimních měsících), svislá osa zobrazuje povrchovou teplotu. Zelenou křivkou je vyznačena hraniční oblast plísní, modře je vyznačena hraniční oblast kondenzace vodní páry. Je vidět, že v lokálních obdobích (označeno červeně) se povrchové teploty pohybují v podmínkách kritických hodnot výskytu plísní. K těmto podmínkám dochází především při zvýšeném obsahu vlhkosti v interiéru, když hodnota parametru obsahu měrné vlhkosti překračuje 8 g/kg s. v. (grafy viz Příloha 1, experimentální měření č. 12). Tyto podmínky interiéru byly způsobeny zvýšenou teplotou a relativní vlhkostí v interiéru (nad 50 % relativní vlhkosti), tj. interiér byl dotován významnějšími zdroji vlhkosti. Exteriérové podmínky období výskytu kritických podmínek pro růst plísní nevykazovaly významně nízké teploty. Lze konstatovat, že nejvýznamnějším parametrem ovlivňujícím výskyt podmínek pro růst plísní na konstrukci (experimentální měření č. 12) je obsah vlhkosti v interiéru (v tomto případě až 60 % relativní vlhkosti).

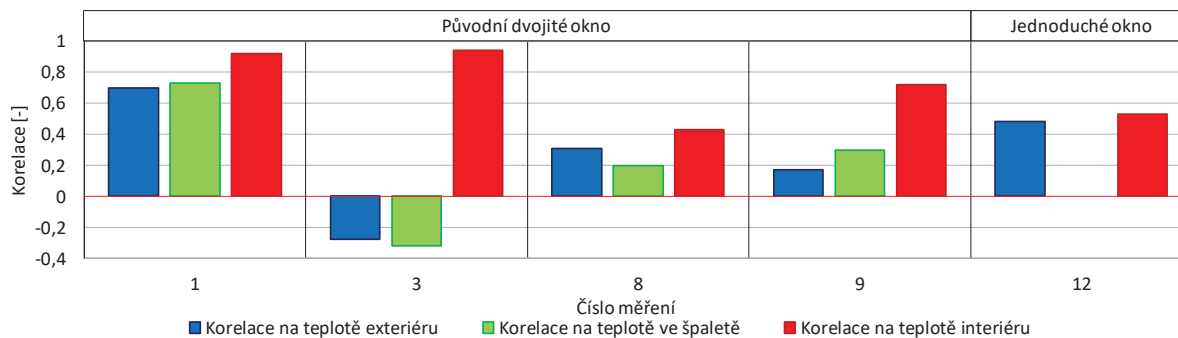
Zobrazení naměřené povrchové teploty vnitřního ostění dle potenciálního rizika vzniku plísní pro vybrané konstrukce z experimentálního měření je v grafu 15. Graf 15 byl zpracován na základě grafu 5 v kapitole 2.4.2. Graf znázorňuje rozložení povrchových teplot vnitřního ostění ve vztahu k rosnému bodu a povrchové relativní vlhkosti. Vodorovná osa označuje povrchovou teplotu, svislá osa vyznačuje teplotu rosného bodu a šikmé čáry znázorňují relativní vlhkost. Ze všech měřených konstrukcí pouze povrch vnitřního ostění u jednoduchého okna vykazoval hodnoty povrchové teploty v potenciálních podmínkách vzniku plísní.



Graf 15: Závislost naměřených povrchových teplot vnitřního ostění na potenciálním riziku vzniku plísní, experimentální měření č. 1, 3, 8, 9 a 12

Korelace povrchové teploty vnitřního ostění s jednotlivými mikroklimaty

Pro vyhodnocení vlivu mikroklimat na povrchovou teplotu vnitřního ostění konstrukcí byla použita korelace naměřených hodnot. V následujícím grafu 16 je ukázána korelace (závislosti na změně prostředí) povrchové teploty ostění v interiéru s jednotlivými mikroklimaty. Hodnoty korelace jsou v rozmezí $<-1;1>$, hodnota jedna odpovídá stavu, kdy jednotlivé hodnoty mají mezi sebou lineární závislost. Na vodorovné ose jsou zobrazena jednotlivá měření (označení 1 až 12), svislá osa vyznačuje hodnoty korelace.



Graf 16: Korelace povrchové teploty konstrukce vnitřního ostění na jednotlivých mikroklimatech

V případě dvojitého okna je vidět výraznější korelace povrchové teploty s teplotou mikroklimatu v interiéru. Závislosti povrchové teploty na mikroklimatu špalety a exteriéru jsou

z naměřených dat nejednoznačné. Lze konstatovat to, že z vypočítaných korelací je povrchová teplota nejvíce závislá na mikroklimatu interiéru.

V rámci zpracování dat byla též analyzována naměřená data ve vztahu k časovému období kritických podmínek vyskytujících se na konstrukci. V následující tabulce 33 je vyjádřeno procentuální zastoupení kritických podmínek na předeměných místech konstrukce z celého časového období probíhajícího měření.

Tabulka 33: Naměřené nejnižší a nejkritičtější povrchové teploty vnitřního ostění dle procentuálního zastoupení během sledovaného období

Konstrukce	Vnitřní ostění u jednoduchého okna (experimentální měř. č. 12)		Vnitřní ostění u dvojitého okna (experimentální měření č. 8)	
	Riziko vzniku plísní	Kondenzace vodní páry	Riziko vzniku plísní	Kondenzace vodní páry
	Procentuální vyjádření v %			
T ₁ (3 cm)	76,6	11,4	66,0	21,2
T ₂ (10 cm)	10,7	1,8	9,6	0
T ₃ (uprostřed)	1,5	0,3	0,4	0

*vzdálenost sondy od vnitřního křídla okna

V případě sond T₁ jsou na obou ostěních predikovány podmínky pro riziko vzniku plísní v 77 % časového období měření na konstrukci ostění jednoduchého okna a v 66 % časového období měření konstrukce dvojitého okna. Riziko vzniku plísní je predikováno v 11 % časového období měření jednoduchého okna a v 21 % časového období měření dvojitého okna.

Posouzení povrchové teploty dle teplotního faktoru

V následujícím odstavci jsou porovnány teplotní faktory dle naměřených povrchových teplot na vnitřním ostění. Teorie k teplotnímu faktoru je uvedena v kapitole 2.4.2. Teplotní faktory byly vypočítány pro všechny konstrukce, na kterých probíhalo měření povrchové teploty ostění, viz tabulka 34. Hodnoty vypočteného teplotního faktoru vychází pro všechny konstrukce v určitém rozmezí. Je zřejmé, že rozmezí hodnot (minimální a maximální) vychází z nestálých okrajových podmínek, především prudkých výkyvů způsobených slunečním zářením. Pro porovnání jednotlivých konstrukcí je použita průměrná hodnota teplotního faktoru.

Tabulka 34: Hodnoty teplotního faktoru povrchu vnitřního ostění pro všechna měření

Označení měření	Teplotní faktor [-]			
	Min	Max	Rozdíl	Průměr
1	0,125	1,500	1,375	0,974
3	0,910	1,182	0,272	0,994
8	0,712	0,886	0,174	0,810
9	0,413	1,000	0,587	0,686
12	0,255	0,814	0,559	0,694

Pozn. zeleně označeny kritické teplotní faktory, riziko růstu plísní

Na základě průměrné hodnoty teplotního faktoru bylo analyzováno, že ostění u konstrukce jednoduchého okna (experimentální měření č. 12) a ostění u konstrukce dvojitého okna (experimentální měření č. 9) vykazuje průměrný teplotní faktor daného povrchu v podmínkách růstu plísní. Tyto varianty byly následně porovnány. Pomocí kritérií teplotního faktoru byla vyhodnocena data, za kterých dochází ke kondenzaci vodní páry či k výskytu plísní dle ČSN 73 0540-2 viz Tabulka 10 v kapitole 2.4.2 [23]. Hodnoty teplotního faktoru z celého souboru naměřených dat pro jednotlivé povrchové sondy T_1 až T_3 jsou v tabulce 35. Jsou zde uvedeny minimální, maximální a průměrné hodnoty teplotního faktoru. Červeně jsou vyznačeny hodnoty teplotního faktoru s podmínkami kondenzace vodní páry, zeleně hodnoty s rizikem vzniku plísní.

Tabulka 35: Hodnoty teplotního faktoru povrchu vnitřního ostění

Sondy (umístění*)	Vnitřní ostění u jednoduchého okna (12)			Vnitřní ostění u dvojitého okna (9)		
	T_1 (3 cm)	T_2 (10 cm)	T_3 (uprostřed)	T_1 (3 cm)	T_2 (10 cm)	T_3 (uprostřed)
Jednotka	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
Min	0,255	0,280	0,441	0,413	0,667	0,733
Max	0,814	0,918	1,005	1,000	1,036	1,010
Průměr	0,694	0,787	0,874	0,686	0,813	0,860

*vzdálenost sondy od vnitřního křídla okna

pozn. červeně vyznačeny hodnoty s podmínkami kondenzací vodní páry, zeleně hodnoty s rizikem vzniku plísní

Při dlouhodobém měření byly na povrchu vnitřního ostění u konstrukce jednoduchého okna i u okna dvojitého zachyceny podmínky pro vznik kondenzace vodní páry. Oproti předpokladům o teoretickém chování konstantního teplotního faktoru na povrchu konstrukce (viz kapitola 2.4.2) vykazují hodnoty teplotního faktoru velký rozptyl. Rozsah hodnot teplotního faktoru povrchu ostění u konstrukce dvojitého okna činí 0,273, u povrchu jednoduchého okna je rozsah dat až 0,507. Takovýto rozptyl hodnot může být způsoben komplikovanou stavební konstrukcí ostění a zmíněným vlivem výrazně proměnlivých okolních podmínek. Teplotní faktor pro hodnoty ve všech místech měřených povrchů vykazuje v měřeném časovém období podmínky pro vznik plísní či kondenzaci vodní páry. Souhrnně lze konstatovat, že v porovnání teplotních faktorů dvou odlišných ostění u různých typů oken vykazuje ostění u jednoduchého okna horší hodnoty.

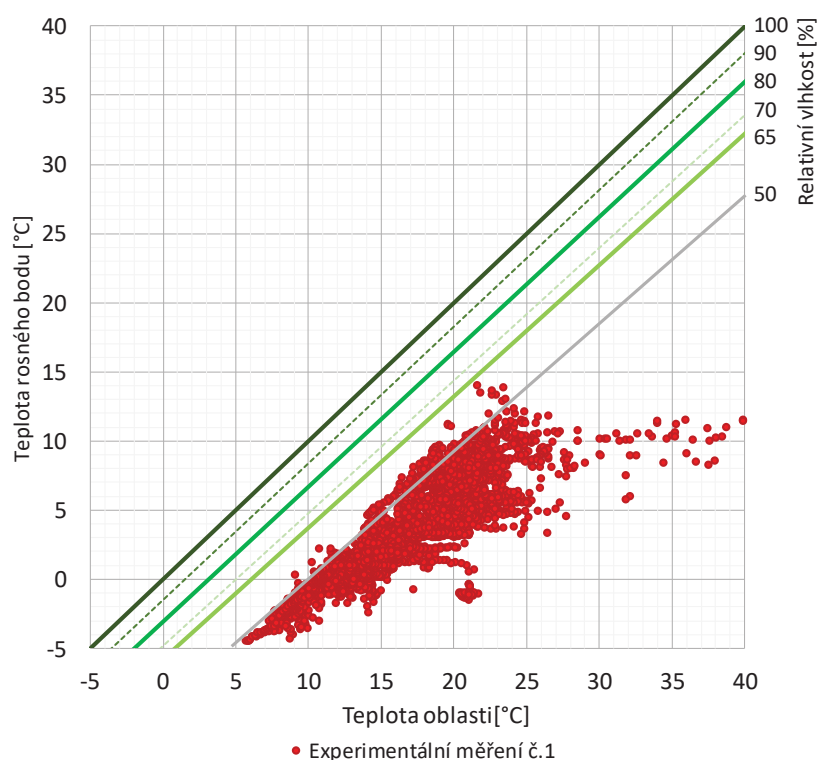
3.5.4 Oblast špalety a pod špaletou

Oblast špalety je specifickou částí konstrukce dvojitého okna. Mikroklima špalety tvoří předěl mezi interiérem a exteriérem, dochází zde k vzájemnému propojení obou mikroklimat, jak bylo diskutováno v kapitole 3.5.2.

Oblast pod špaletou

Pro zachycení chování oblasti pod špaletou byla v experimentálním měření č. 1 umístěna do prostoru pod dřevěnou špaletou externí teplotní sonda přístroje S 3631 [85], sonda je zobrazena na Obr. 34. Prostor pod špaletou byl v této konstrukci částečně dutý. Okenní konstrukce se nachází na fasádě s jihozápadní orientací, proto je v části období (od jara do podzimu) ovlivněna slunečním zářením. Teploty v oblasti pod špaletou jsou v závislosti na rosném bodu a relativní vlhkosti zobrazeny v grafu 17. Vodorovná osa grafu zobrazuje teplotu oblasti, svislá osa zobrazuje teplotu rosného bodu a šikmé čáry znázorňují kritické podmínky relativní povrchové vlhkosti.

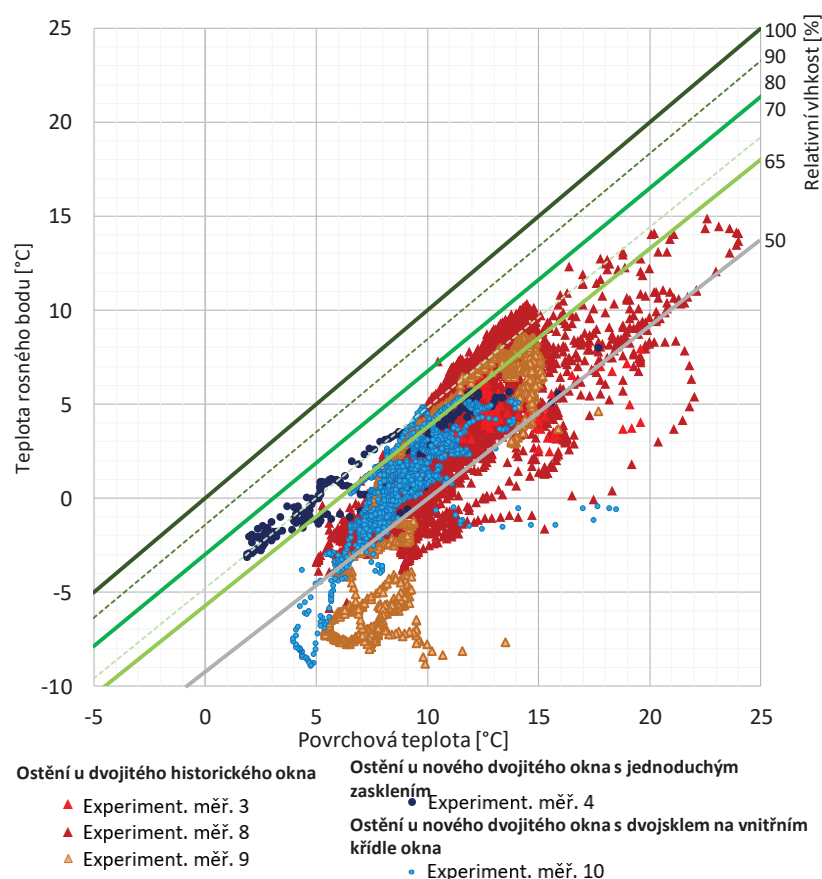
Naměřené hodnoty uvádějí značný rozsah hodnot, pohybující se od cca 5,5 °C v zimním období po vysoké hodnoty až 50 °C v letním období. Většina naměřených hodnot oblasti se soustředí v oblasti s relativní vlhkostí cca 50 %. Ani v jednom měřeném případě nebylo dosaženo kritických podmínek potenciálního výskytu plísní. Z průběhu teplot v oblasti pod špaletou (Příloha 1, experimentální měření č. 1) v dutině plyne, že oblast je významně ovlivněna působením exteriéru, a to především osluněním způsobujícím lokální výkyvy v oblasti. Největší výkyv teploty nastává po oslunění konstrukce (výkyvy 17,5 °C, během 5 hod). Tyto výkyvy jsou na grafu významně patrné. Nejkritičtější jevem měření se jeví prudký nárůst teploty, který může způsobovat teplotní změny okolních materiálů špalety, což může např. ovlivnit roztažnost dřeva.



Graf 17: Roční průběh teplot pod špaletou na monitorované konstrukci, měření č. 1

Povrch špalety

V grafu 18 jsou zobrazeny naměřené povrchové teploty ostění ve špaletě ve vztahu ke kritickým hodnotám povrchové vlhkosti. Ve všech případech se jedná o povrchovou teplotu dřevěného ostění. Ve všech případech experimentálního měření vykazují naměřené hodnoty výskyt 65 % a více povrchové relativní vlhkosti, tzn. materiál dřeva je vystavena podmínkám degradace materiálu.



Graf 18: Závislost naměřených povrchových teplot špalety na potenciálním riziku vzniku plísní, experimentální měření č. 3, 4, 8, 9 a 10

Povrch špalety není posouzen pomocí teplotního faktoru. Při výpočtu teplotního faktoru povrchů špalety byl zachycen velký rozptyl výsledků. Tyto rozptyly jsou způsobeny výraznými výkyvy parametrů prostředí v prostoru špalety. Vypočtený teplotní faktor je závislý na povrchové teplotě, teplotě exteriéru a teplotě interiéru vykazuje v některých případech nereálné hodnoty.

Prostředí špalety

Parametry mikroklimatu špalety ovlivňují její povrch a mohou utvářet kritické podmínky pro vznik plísní či kondenzaci vodní páry. V tabulce 36 je uveden přehled naměřených kritických hodnot relativních vlhkostí mikroklimatu ve špaletě (prostor mezi vnitřním a vnějším křídlem

okna) z jednotlivých experimentálních měření. Tabulka vychází z předcházejícího grafu a diskutuje přítomnost kritických podmínek ve vztahu k rozsahu teplot a časovému období působících okrajových podmínek.

Tabulka 36: Přehled kritických hodnot relativních vlhkostí mikroklima špalety ve vztahu k časovému období

Ozn. měř.	Relativní vlhkost > 65 %			Relativní vlhkost >70 %			Relativní vlhkost > 80 %		
	Výskyt	Teplota	Čas*	Výskyt	Teplota	Čas*	Výskyt	Teplota	Čas*
	A/N	[°C]	[%]	A/N	[°C]	[%]	A/N	[°C]	[%]
Historické dvojité okno									
1	A	13 - 24,6	2	A	5 - 25	0,5	A	18 - 22	lokálně
2	A	8,5 - 13,3	90	A	10 -13	85	A	9 - 13	26
3	A	7,4 - 11,8	18	A	7 - 12	4	N	-	-
8	A	1,6 - 20,8	72	A	2 - 20	46	A	5,5 - 16	1,6
9	A	5,2 - 14,0		A	6,5 - 14		A	9 - 8	lokálně
Nové dvojité okno s jednoduchým zasklením									
4	A	0,7 - 11,6	86	A	0,7 - 9,7	51	A	1 - 3,7	4
Dvojité okno s dvojskly na křídlech									
10	A	5,9 - 11,4	13	N	8,5 - 9,5	2,1	N	-	-

*doba výskytu, pouze měření č. 1 celoroční, ostatní část zimního období

Povrch špalety tvoří dřevo. Pro dřevo jsou důležité podmínky bez výkyvů, tedy podmínky za kterých má stejné vlastnosti. Nejkritičtější podmínky byly naměřeny během experimentálního měření č. 2. V 85 % měřeného období se prostor špalety nacházel v podmínkách s relativní vlhkostí vzduchu větší než 70 %.

Tabulka 37 ukazuje, zda došlo při experimentálních měřeních k překročení definovaných kritických podmínek. Jako posuzované podmínky jsou vybrány maximální a minimální hodnoty teplot a měrných vlhkostí.

Během některých experimentálních měření byly naměřeny hodnoty teplot ve špaletě pod bodem mrazu. V případě experimentálního měření 6 to byla teplota velmi nízká a to – 6,3 °C. Hodnoty teploty pod bodem mrazu se významně podílejí na degradaci materiálu špalety okna. V případě měrných vlhkostí bylo kritické měrné vlhkosti dosaženo v experimentálním měření č. 1 a to hodnota 14,2 g/kg s. v. Tyto podmínky jsou pro přítomnost dřevěné špalety kritické.

Tabulka 37: Vnitřní dřevěné ostění oken, podmínky, kterému byl materiál (dřevo) vystaveno

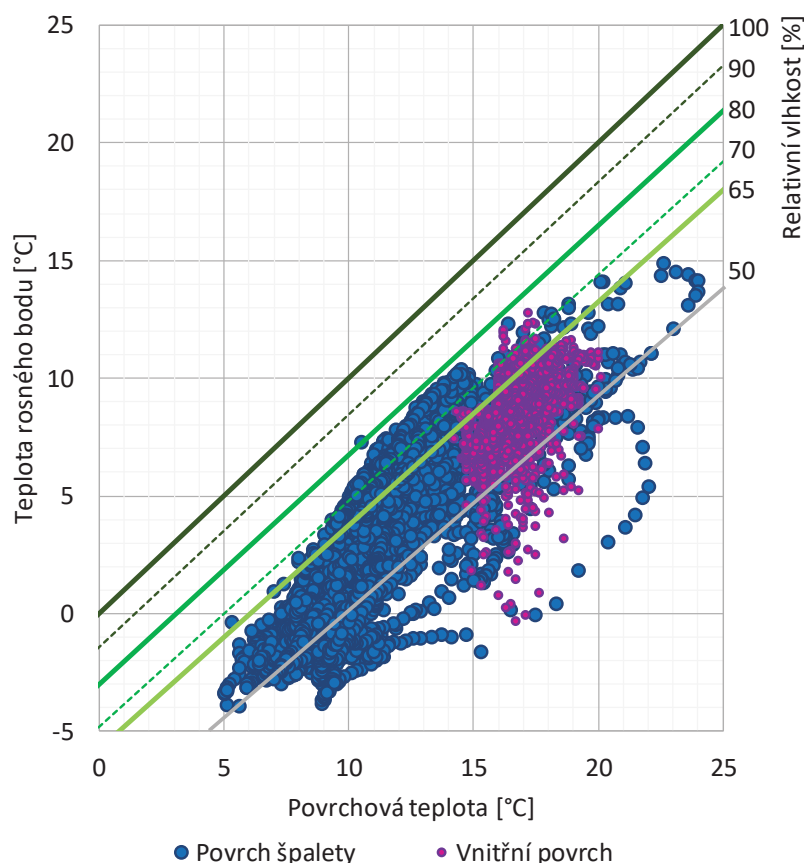
Označení měření	Materiál	Teplota vzduchu			Měrná vlhkost		
		Min	Max	Rozdíl	Min	Max	Rozdíl
		[°C]			[g/kg s. v.]		
1	Dřevo	2,2	54,2	52,0	1,1	14,2	13,1
2		8,5	13,3	4,8	3	7,9	4,9
3		7,4	19,4	12,0	1,1	8,0	6,9
5		1,3	11,4	10,1	2,1	3,5	1,4
6		-6,3	5,4	11,7	0,8	2,3	1,5
7		-0,7	10,5	11,2	1,4	2,9	1,5
8		1,5	21,4	19,9	2,5	10,7	8,2
9		3,0	16,2	13,2	2	7,0	5,0
10		5,3	13,4	8,1	2,9	5,6	2,7
11		0,0	18,5	18,5	2,3	7,5	5,2

Pozn. červeně vyznačené kritické hodnoty

3.5.5 Porovnání povrchu špalety a vnitřního ostění

V rámci experimentálního měření č. 8 bylo studováno porovnání povrchových teplot vnitřního ostění a špalety. Naměřené hodnoty ve vztahu ke kritickým podmínkám jsou uvedeny v grafu 19.

Z rozmístění hodnot na grafu je patrné, že hodnoty obou povrchů se vyskytovaly v delším časovém období v potenciálních podmínkách rizika vzniku plísní. Povrch špalety se v těchto podmínkách vyskytoval častěji než povrch vnitřního ostění. Soubor naměřených hodnot povrchové teploty vnitřního ostění má cca trojnásobně menší rozsah oproti povrchu špalety, to potvrzuje, že je vnitřní povrch vystaven menším výkyvům teplot. Povrch vnitřního ostění má tudíž konstantnější podmínky. Dlouhodobé měření probíhalo za extrémních venkovních okrajových podmínek, za těchto podmínek nebyla na měřených konstrukcích zachycena teplota pod bodem mrazu. Naopak lze říci, že i během zimního období bylo naměřeno na povrchu špalety 24 °C. Procentuální zastoupení kritických podmínek potenciálního růstu plísní na vnitřním povrchu ostění bylo zachyceno v 9 % času měřeného období. Tyto kritické podmínky byly ovšem často přerušovány, nejdelší doba záchytu těchto podmínek byla 8 hodin, což není dostatečná doba pro vývoj plísní. Oproti tomu procentuální zastoupení kritických podmínek potenciálního růstu plísní na povrchu špalety bylo zachyceno v 32 % času měřeného období, tyto kritické podmínky na konstrukci převládaly v rámci jednotek dní.



Graf 19: Porovnání povrchových teplot vnitřního ostění a povrchu špalety na experimentálním měření č. 8

3.5.6 Krátkodobé výrazné výkyvy v interiéru ovlivňující vnitřní kondenzační zónu

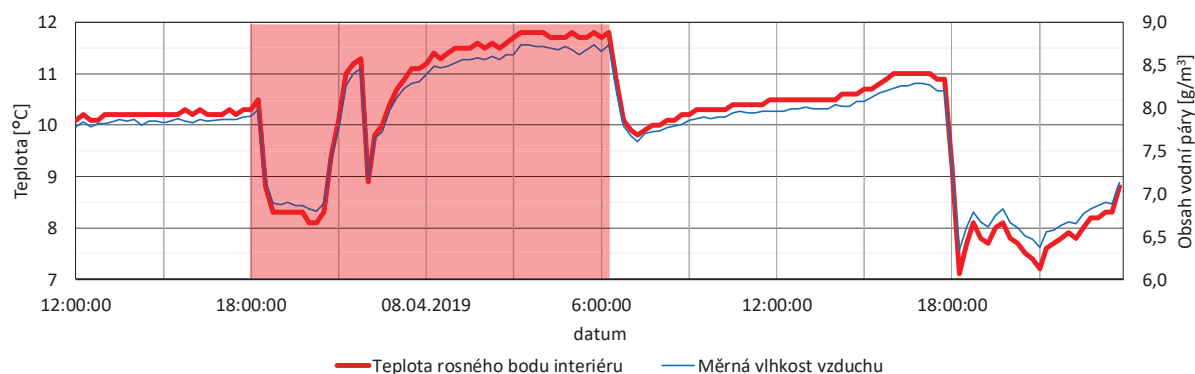
Mikroklimata s výraznými krátkodobými výkyvy mají významný podíl na možnou degradaci materiálů a vzniku kritických oblastí z pohledu výskytu nežádoucích jevů na konstrukci, o těchto vlivech pojednává např. článek o kondenzaci vodní páry na zasklívací spáře „Doba kondenzace vodních par v oblasti zasklívací spáry okenních konstrukcí“ autora R. Jiráka [66]. Výkyvy mohou nastat na základě krátkodobých vlivů okolí (např. oslunění či obývání osobami).

Výkyv kondenzační zóny interiéru obývaný osobami

V následujícím odstavci je diskutována situace, která nastala při experimentálním měření číslo 13 v ložnici během noci, ve které se nacházely dvě osoby. V následujícím grafu 20 je uveden průběh rosného bodu v interiéru během noci. Vodorovná osa grafu zobrazuje časové období, svislá levá osa uvádí teplotu mikroklimatu, svislá pravá osa uvádí obsah vlhkosti mikroklimatu. Vybrané hodnoty z grafu jsou uvedeny v tabulce 38, jedná se o teploty a měrné vlhkosti mikroklimatu interiéru ve večerních a ranních hodinách.

Ve vyznačené červené oblasti na grafu 20 je patrný počáteční výkyv parametrů mikroklimat, tj. prudké snížení větráním, následně postupné zvyšování až na hodnotu 12 °C. Zvýšení teploty

rosného bodu o 3,5 °C je podstatná změna, která může vést v místech povrchu s nejnižší povrchovou teplotou v interiéru ke vzniku plísní či kondenzace. Obsah vlhkosti při změně rosného bodu o 3,5 °C je 2,1 g/m³. Z měření plyne, že člověk vydechující vlhký vzduch má významný vliv na parametry mikroklimatu interiéru, což může mít vliv na vznik podmínek pro výskyt plísní či kondenzaci vodní páry na povrchu ostění.



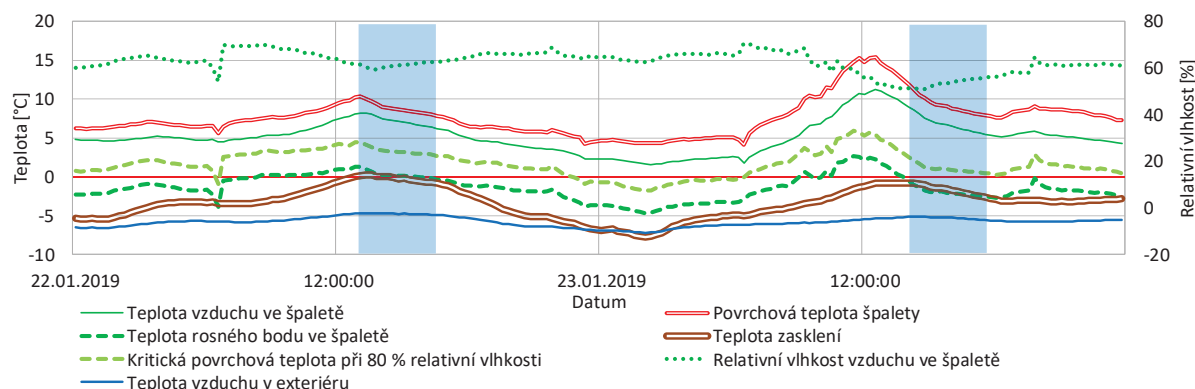
Graf 20: Výrazné zvýšení rosného bodu v interiéru během noci, experimentální měření č. 13

Tabulka 38: Naměřené parametry mikroklima

Sledované období	Večer					Ráno					
	Objem místnosti	Obsah vlhkosti	Celkový obsah vlhkosti	Teplota	Vlhkost	Teplota rosného bodu	Obsah vlhkosti	Celkový obsah vlhkosti	Teplota	Vlhkost	Teplota rosného bodu
	[m ³]	[g/m ³]	[g]	[°C]	[%]	[°C]	[g/m ³]	[g]	[°C]	[%]	[°C]
	34	8	272	24,5	35,6	8,3	10,1	340	24,3	45,6	11,8

Oslunění špalety slunečním zářením

Graf 21 uvádí průběh povrchových teplot špalety a povrchu zasklení. Z grafu je patrné zvýšení teploty v exteriéru a povrchu špalety po polední hodině. Povrchová teplota zasklení vnějšího křídla okna (hnědá složená čára) je do dvanácté hodiny pod teplotou rosného bodu. Vlivem oslunění prostoru špalety se v prostoru sníží krátkodobě relativní vlhkost. Poté následuje zvýšení relativní vlhkosti v prostoru (zelená tečkovaná čára) dotací vlhkosti z interiéru. V tomto čase se dostává teplota zasklení na vnitřním křídle okna pod teplotu rosného bodu. Z tohoto důvodu dochází ke kondenzaci vodní páry na zasklení vnějšího křídla okna z interiéru.



Graf 21: průběh naměřených teplot povrchů a mikroklimat, měření číslo 8

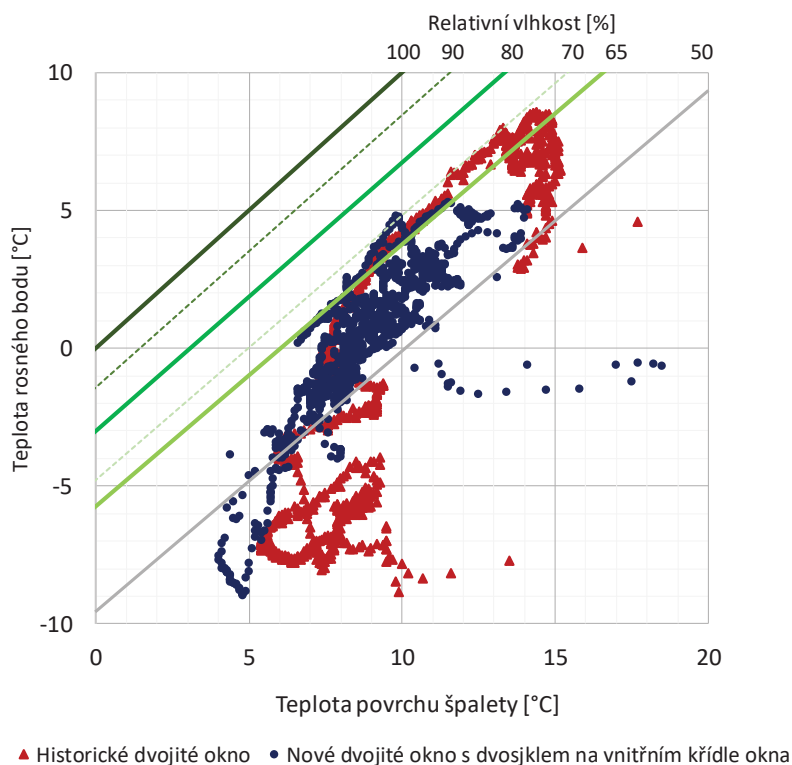
3.5.7 Porovnání ostění u historického dvojitého okna a u novodobého jednoduchého okna

Experimentální měření probíhala i na objektech, na kterých byly v období zpracování disertační práce vyměněny okenní výplně, tzn. první měření bylo provedeno na konstrukci s historickým dvojitým oknem, druhé měření bylo realizováno po výměně okenní konstrukce. Samotná konstrukce ostění, tj. stavební konstrukce obvodové stěny se neměnila.

Porovnání historického dvojitého okna a nového dvojitého okna s dvojsklem na vnitřním křídle okna (experimentální měření č. 9 a experimentální měření č. 10)

Po skončení prvního měření (experimentální měření č. 9), byla historická konstrukce dvojitého okna z 30. let nahrazena novým dvojitým oknem s dvojsklem na vnitřním křídle okna. Na této konstrukci probíhalo opět dlouhodobé měření (experimentální měření č. 10).

Graf 22 zobrazuje, že část hodnot u obou měření se pohybuje v potenciálních podmínkách vzniku plísní (nad 65 %). V případě historického okna se v potenciálních podmínkách kondenzace nachází cca 24 % z všech naměřených hodnot, v případě nového okna je to 6 % hodnot. Konstrukce ostění u nového dvojitého okna byla oproti konstrukci historického okna měřena za okrajových podmínek obsahující průměrně cca 4 krát vyšší rozdíly částečných tlaků vodní páry mezi interiérem a exteriérem, konstrukce byla tudíž vystavena větším tepelným tokům. Z toho lze shrnout, že nová konstrukce dvojitého okna vychází lépe, vykazuje vyšší hodnoty povrchové teploty oproti historické konstrukci, ovšem v lokálních obdobích se nachází stále v podmínkách potenciálního vzniku plísní na konstrukci.

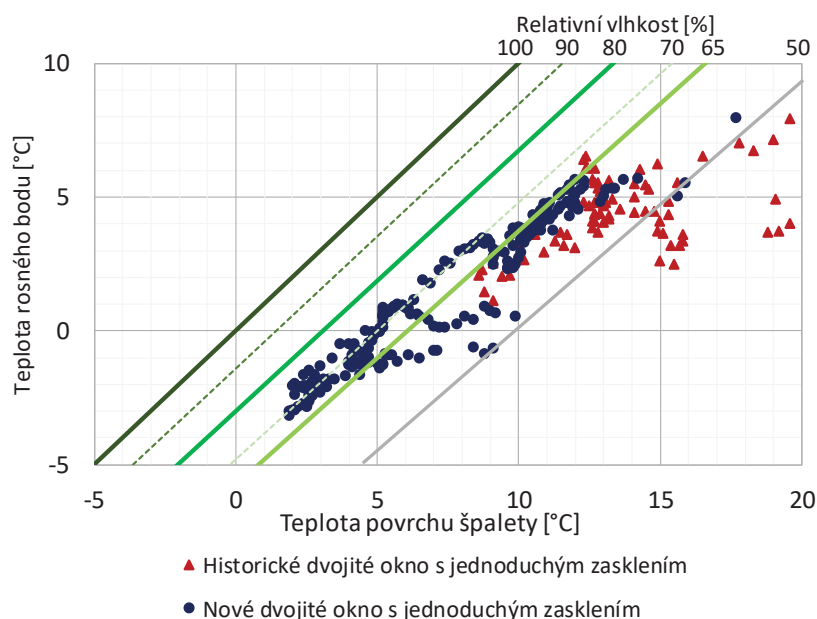


Graf 22: Zobrazení naměřených povrchových teplot dřevěné špalety dvojitých oken z dlouhodobých měření č. 9 (historické dvojité okno) a č. 10 (nové dvojité okno s dvojsklem na vnitřním křídle okna)

Porovnání původního dvojitého okna a nového dvojitého okna s jednoduchým zasklením (experimentální měření č. 3 a experimentální měření č. 4)

Po skončení prvního měření (experimentální měření č. 3), byla historická konstrukce dvojitého okna z 50. let nahrazena konstrukcí nového dvojitého okna s jednoduchým zasklením jako bylo původní historické okno. Na této konstrukci probíhalo opět dlouhodobé měření (experimentální měření č. 4).

V grafu 23 jsou zobrazeny porovnávané povrchové teploty dřevěné špalety. Povrch špalety nového dvojitého okna byl lokalizován v 51 % dat z časového období měření v podmínkách potenciálního růstu plísní, oproti tomu povrch špalety historického dvojitého okna vykazoval potenciální podmínky růstu plísní ve 4 % dat z časového období měření. Podmínky experimentálního měření č. 3 (původní okno) vykazovaly cca 1,7 krát vyšší průměrné hodnoty částečných tlaků vodní páry mezi interiérem a exteriérem. Z tohoto porovnání lze říci, že povrch špalety nového dvojitého okna vykazuje výrazně horší povrchové teploty oproti špaletě historického okna. Tento fakt může být způsoben větší těsností nové konstrukce, tzn. vlhkost se drží uvnitř konstrukce a neodchází přirozeně oknem ven.



Graf 23: Zobrazení naměřených povrchových teplot dřevěné špalety dvojitých oken z dlouhodobých měření č. 3 (historické dvojitě okno) a č. 4 (nové dvojitě okno s jednoduchým zasklením)

3.6 VÝSLEDKY KRÁTKODOBÉHO EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ IN-SITU

Krátkodobé měření zastoupené v této práci se věnovalo vyhledávání nežádoucích jevů, které se projevují vizuálně na konstrukci. Toto měření zahrnuje průzkum konstrukcí v okamžitém stavu.

3.6.1 Vizuální prohlídka in situ zahrnující měření

Vizuální prohlídka byla zaměřena na vyhledávání nežádoucích jevů na povrchu konstrukce ostění v interiéru. Vizuální prohlídky na všech konstrukcích proběhly v zimních měsících, kdy je výskyt nežádoucích jevů nejpravděpodobnější.

Při několika vizuálních prohlídkách byly nalezeny plísně vyskytující se na vnitřním ostění. Tyto plísně byly lokalizovány na ostění jednoduchého okna. V případě konstrukce ostění dvojitě okna nebyly plísně nalezeny. Jednalo se o plíseň, která se projevovala černým a zelenavým povrchem. Nalezené plísně jsou vyobrazeny na obr. 37 a 38. Oblast na obr. 37 byla monitorována infračerveným teploměrem s měřením vlhkosti Testo 835-H1 [105]. Měření povrchové teploty je zobrazeno na obr. 39, povrchová teplota předmětného místa byla 11,9 °C. Na obr. 40 je vyjádřena naměřená povrchová hodnota místa parametrem s hodnotou 0,99. Hodnota pro kondenzaci vodní páry na povrchu je 1. Měřená povrchová konstrukce se tudíž nachází v kritické oblasti vzniku plísní.



Obr. 37: Projev plísně na vnitřním ostění okna

Obr. 38: Významný projev plísně na vnitřním ostění okna



Obr. 39: Měření povrchové kritické teploty in situ, zobrazení aktuální povrchové teploty 11,9 °C

Obr. 40: Měření povrchové kritické teploty in situ, zobrazení aktuální povrchové vlhkosti, hodnota je 0,99 vyjádřením přepočtu k rosnému bodu okolního mikroklima (1 = 100 % kondenzace na měřeném povrchu)

Experimentální měření č. 12 probíhalo na stejném objektu, ale jiném okně než je okno na obr. 37, obr. 39 a obr. 40. Naměřené povrchové hodnoty konstrukce ostění během dlouhodobého měření vykazaly přítomnost podmínek pro vznik plísní. Na konstrukci ovšem nebyly plísně vizuálně zachyceny, nicméně na sousedním ostění okna bylo možno pozorovat růst plísní. Na základě těchto faktů lze říci, že dosažení podmínek relativní vlhkosti pro vznik plísně je pouze jedním předpokladem pro vznik plísní. Dalšími důležitými předpoklady jsou časové období působení podmínek a provedení stavebních konstrukčních detailů.

3.6.2 Příklad vyhodnocení plísně

Na základě odběru vzorku obrusem (lehké obroušení svrchní vrstvy, na které je vizuální projev plísní) byla provedena analýza mikroorganismů a stanovení jejich druhu. Byly odebrány vzorky plísně vyskytující se na obr. 38. Předmětná konstrukce ostění okna je umístěna v ložnici. Analýza byla provedena ve specializované laboratoři [106]. V tabulce 39 je uvedeno vyhodnocení nalezených druhů plísní a jejich zastoupení. Příčinou vzniku plísní je výrazný tepelný most v oblasti přípojovací spáry mezi rámem a ostěním. Tuto kritickou oblast může negativně ovlivňovat též mikroklima ložnice a to zvýšenou vlhkostí.

Tabulka 39: Vyhodnocení plísní na povrchu ostění v interiéru ložnice

Forma vzorků	Identifikované mikroorganismy	Kvalifikace napadení
Obrus	Alternaria sp.	Do 15 %
	Penicillium sp.	Do 50 %

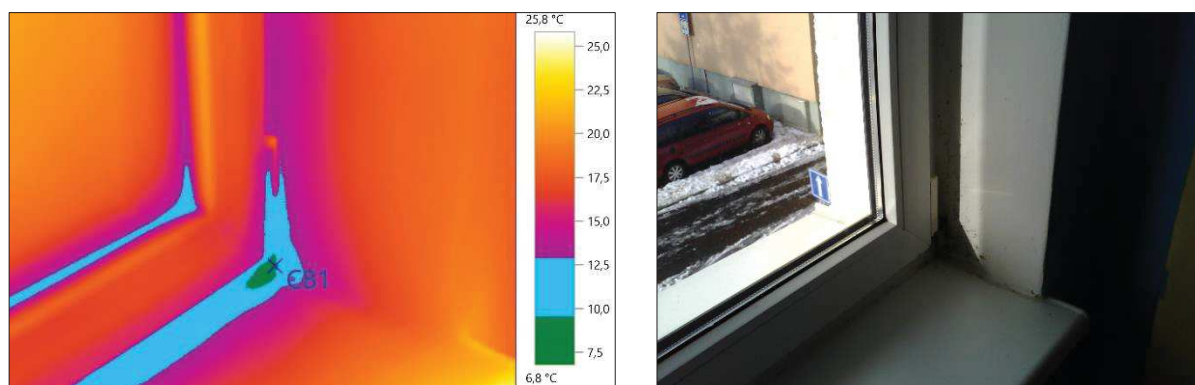
Pozn. Druhové zastoupení mikroorganismů ve vzorcích, hodnocení napadení je v procentuálním pokrytí mikroorganismů na Petriho misce.

„Černá” plíseň nalézající se na konstrukcích vnitřních ostění interiérů bytových domů je nejčastěji: *Alternaria sp.* či *Penicillium sp.* viz 2.6.2.

3.6.3 Termovizní měření in situ

Termovizní snímky ukazují rozmístění povrchových teplot po celé konstrukci. Toto nelze pomocí předchozích měření popsanych v disertační práci v lokálních místech zjistit. V tomto měření bylo použito kamery Testo 885-2 [107]. Termogramy (fotografie z termovizního měření) byly následně zpracovány v programu Testo IRsoft [108].

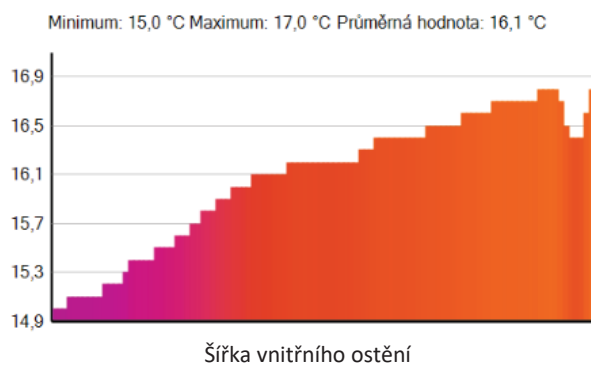
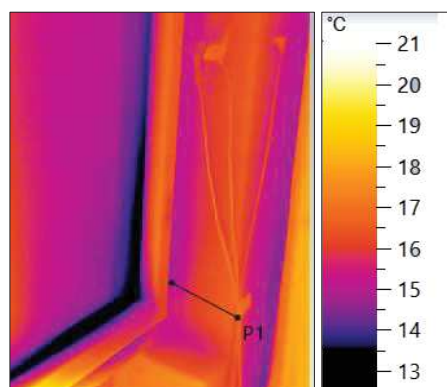
Termogram na obr. 41 ukazuje tepelný most na styku okenní výplně, ostění a parapetu u jednoduchého okna. Naměřená povrchová teplota (6,8 °C) je výrazně pod teplotou rosného bodu mikroklima interiéru. Za těchto podmínek na konstrukci dochází ke kondenzaci vodní páry a vzniku plísní. Na obr. 42 je zobrazena reálná fotografie předmětné stavby, detail ostění je zobrazen na obr. 38.



Obr. 41: Termogram vnitřního ostění, levý dolní roh, minimální teplota 6,8°C

Obr. 42: Reálný obrázek ostění konstrukce, detail obrázku (plíseň u oken) je na předcházejícím

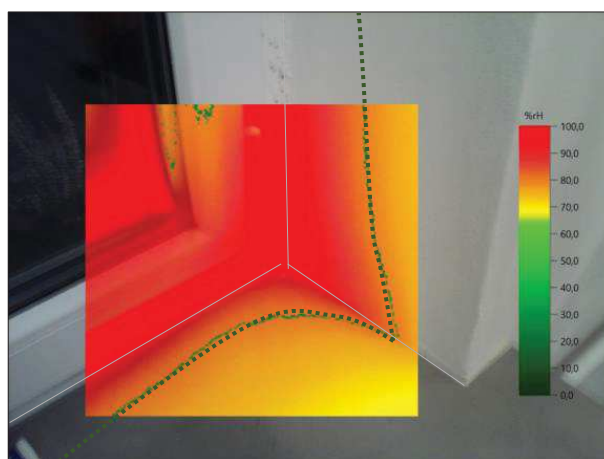
Následující termovizní měření na obr. 43 ukazuje ostění dvojitého okna, na kterém probíhalo dlouhodobé měření č. 8. Na histogramu na obr. 44 je zobrazen průběh povrchových teplot na ostění v úrovni lineární spojnice P1 vyznačené na obr. 43. Je patrné, že povrchové teploty na vnitřním ostění lineárně vzrůstají od vnitřního křídla okna, přibližně uprostřed ostění teploty kolísají, poté opět lineárně narůstají. Je tedy zřejmé, že povrch v blízkosti vnitřního okenního křídla, tj. přibližně čtvrtina šířky vnitřního ostění, je nejnáchylnější k výskytu kritických podmínek pro růst plísní.



Obr. 43: Termogram vnitřního ostění dvojitého okna, levý dolní roh, minimální teplota 6,8 °C

Obr. 44: Histogram průběhu povrchových teplot na ostění, svislá osa značí povrchovou teplotu, šířka vnitřního ostění

Pomocí termovizního snímání lze zobrazit na povrchu konstrukce ostění rozložení povrchových relativních vlhkostí. Termogram s povrchovými relativními vlhkostmi je na obr. 45 vsazen do reálné fotografie. Zelenou spojnicí je zobrazena hranice 80 % vlhkosti. Směrem k okenní výplni je povrchová relativní vlhkost větší než 80 % kritická oblast vzniku plísní. Směrem od parapetní oblasti se oblast s kritickými podmínkami zmenšuje.



Obr. 45: Termogram ostění špalety dvojitého okna vsazený do reálné fotografie okna, zobrazení povrchové relativní vlhkosti, zelená čára = hranice 80 % relativní vlhkosti, červená barva = 100 % kondenzace vodní páry

Dle termovizního měření lze konstatovat, že oblasti přípojovací spáry okenních výplňových konstrukcí představují pravděpodobné tepelné mosty, které ovlivňují povrchovou teplotu vnitřního ostění.

3.7 SHRNUTÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Experimentální měření probíhala na různých typech stavebních konstrukcí, zahrnovala různé konstrukce ostění v závislosti na typu oken. Měření byla jak dlouhodobá (dny, měsíce), tak krátkodobá (okamžitý stav). V následujících odstavcích jsou uvedeny závěry z diskutovaných výsledků uvedených v této kapitole.

Během měření bylo zjištěno, že kritické podmínky povrchu ostění v interiéru jsou dominantně závislé na mikroklima interiéru. Mikroklima interiéru je významně ovlivněno zdroji vlhkosti. Během experimentálních měření byl zaznamenán významný vliv obývání prostor osobami. V takovém případě teplota rosného bodu v interiéru během několika hodin vzrostla o 3,5 °C.

Obsah vlhkosti v prostoru špalety je odvislý od konstrukce dvojitého okna, v případě křídel s jednoduchým zasklením křídel a s dvojsklem na vnitřním křídle okna měrná vlhkost ve špaletě vysoce koreluje s mikroklimatem exteriéru, tedy hodnoty měrné vlhkosti jsou podobné. V případě dvojskla na vnějším křídle okna měrná vlhkost spíše koreluje s mikroklimatem interiérem.

V rámci experimentálních měření bylo zjištěno, že prostor špalety u historického dvojitého okna je ovlivněn častými výkyvy prostředí, jako např. sluneční záření. Vlivem oslunění, dojde v prostoru špalety ke zvýšení teploty, to má za následek snížení vlhkosti v prostoru, což zvýší gradient částečných tlaků vodní páry mezi prostředím interiéru a špalety. Tento jev způsobí přísun vlhkosti do prostoru špalety z prostoru interiéru. V rámci tohoto jevu byla při experimentálním měření sledována kondenzace vodní páry na vnitřní straně zasklení vnějšího křídla okna.

Přestože během měření byly v prostoru špalety okna naměřeny hodnoty relativní vlhkosti vyšší než 80 %, tj. podmínky pro vznik plísní, nejvyšší hodnoty povrchové relativní vlhkosti nepřesáhly hodnotu 80 % relativní vlhkosti. Lze tedy konstatovat, že na povrchové parametry špalety okna má významný vliv průběh teploty v oblasti ostění konstrukce. Bylo naměřeno, že většina povrchových teplot špalety byla vyšší než teplota v prostoru špalety.

Naměřená data ukazují, že vnitřní povrch ostění historického dvojitého okna vykazoval vyšší hodnoty povrchové teploty, než ostění u jednoduchého okna. Ostění jednoduchého okna se vyskytovalo častěji v kritických podmínkách ve vztahu k růstu plísním než ostění dvojitého historického okna.

V rámci měření byl porovnán vliv odlišných konstrukcí oken na kritické podmínky povrchu špalety. Na základě zjištěných výsledků porovnání vychází lépe konstrukce dvojitého okna s jedním křídlem tvořeným dvojsklem oproti historické konstrukci dvojitého okna s jednoduchým zasklením. Avšak použití nové konstrukce dvojitého okna s jednoduchým zasklením vychází hůře oproti původní variantě dvojitého okna. Měření ukazují, že povrch špalety nového dvojitého okna s jednoduchým zasklením se vyskytoval cca desetinásobně častěji v podmínkách kritického růstu plísní oproti dvojitému historickému oknu.

Z porovnání termovizního měření jednoduchého a dvojitého okna je vidět, že teplota povrchu vnitřního ostění jednoduchého okna má výraznější pokles teplot v oblasti připojovací spáry mezi rámem okna a ostěním. V případě ostění dvojitého okna je teplota povrchu ostění rovnoměrnější. Lze říci, že konstrukční detail provedení připojovací spáry jednoduchého okna klade vyšší technické nároky na požadovanou funkci.

4 MODELOVÉ VÝPOČTY

Za účelem zjištění průběhu tepla a vodní páry na konstrukci ostění byly vymodelovány konstrukce v 2D tepelně vlhkostním softwaru. Modelování v 2D softwaru umožňuje porovnání různých variant stavebních konstrukcí na základě navržených modelů konstrukce. Modely konstrukcí pro výpočty vycházejí z reálně zaměřených konstrukcí in situ uváděných v kapitole 3. Odlišnosti v geometrii stavební konstrukce ostění, typů okenních výplní, použití materiálů a různá mikroklimata v okolí konstrukcí určují rozdílné tepelně vlhkostní procesy v oblasti ostění.

Modely vypracované na základě stávajících konstrukcí byly porovnány s variantami modelů s různými typy okenních konstrukcí. Dále byly zpracovány modely s různými konstrukčními obměnami a to se zateplením obvodové stěny, zateplením pod dřevěnou špaletou konstrukce dvojitého okna či zateplením vnitřního ostění okna.

Cílem modelových výpočtů je porovnání tepelně vlhkostních procesů probíhajících v povrchové oblasti konstrukce vnitřního ostění při odlišných variantách stavebně konstrukčních ostění. V případě sledovaných tepelně vlhkostních procesů se jedná o tepelné toky, vlhkostní toky, povrchové teploty a povrchové relativní vlhkosti na konstrukci vnitřního ostění. Dále jsou porovnány procesy probíhající na sousedících stavebních prvcích, tj. na vlastní okenní konstrukci a obvodové stěně.

4.1 SOFTWARE

Tepelně vlhkostní modely byly vytvořeny v softwaru WUFI 2D [109], vyvinutém Fraunhofer Institut für Bauphysik v Německu [57]. Tento software umožňuje velmi přesně modelovat dynamické dvojrozměrné šíření tepla, vlhkosti a energie ve stavebních detailech, konstrukcích a materiálech [110]. V rámci práce bylo využito i modelování za ustálených okrajových podmínek, které program též umožňuje. Pomocí modelování šíření tepla a vlhkosti je možné vyhodnotit rizika spojená s kondenzací vodní páry anebo s růstem plísní na vnitřních površích stavebních konstrukcí.

4.2 PODKLADY PRO 2D MODEL

V rámci modelování bylo pracováno se dvěma konstrukcemi. Pro první model byla podkladem reálná konstrukce ostění s původním historickým dvojitým oknem na objektu z 30. let 20. století na obr. 47. Na této konstrukci probíhalo dlouhodobé experimentální měření č. 1. viz Příloha 1.

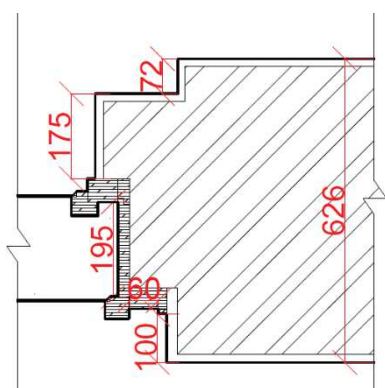
Pro druhý model byla použita stavební konstrukce ostění s jednoduchým oknem na objektu z 30. let 20. století na obr. 49. Původní konstrukcí okenní výplně zde byla konstrukce dvojitého okna, která byla na počátku 21. století nahrazena právě konstrukcí jednoduchého okna.

4.2.1 Model 1 – Konstrukce ostění s dvojitým původním historickým oknem

Jedná se o stavební konstrukci ostění s dvojitým dvoukřídlovým oknem s jednoduchým zasklením na vnitřním, respektive vnějším křídle. Obě okenní křídla se otevírají směrem dovnitř. Okenní konstrukce je umístěna na jihozápadní fasádě. Okno je osluněno v období od konce března do poloviny září. V období polovina září až polovina března je okno zastíněno okolními budovami. Vnější rozměr okna (v interiéru) je 1750 x 2990 mm. Tloušťka obvodové zdi z plných cihel je včetně vnitřní a vnější omítky 626 mm. Stavební konstrukce je umístěna na objektu z 30. let 20. století. Sledované ostění mělo šířku vnitřní části 100 mm a vnější části 175 mm. Šířka špalety okna je 195 mm. Půdorys stavební konstrukce ze zaměření konstrukce pro výpočtový model je zobrazen na obr. 46, fotografie stavební konstrukce je na obr. 47.

V rámci návrhu variant různých typů konstrukčního řešení okenní konstrukce bylo použito zaměření konstrukce dvojitého okna s dvojsklem na vnitřní straně. Toto zaměření proběhlo na stejném objektu, jelikož část oken objektu byla nově zrekonstruována. V průběhu vzniku experimentální části disertační práce byla konstrukce původního reálného okna nahrazena novou konstrukcí dvojitého okna s dvojsklem na vnitřním křídle doplněná o zateplení špalety.

V případě návrhu výpočtového modelu s konstrukcí jednoduchého okna byly použity podklady konstrukce okna novodobých výrobců [111].



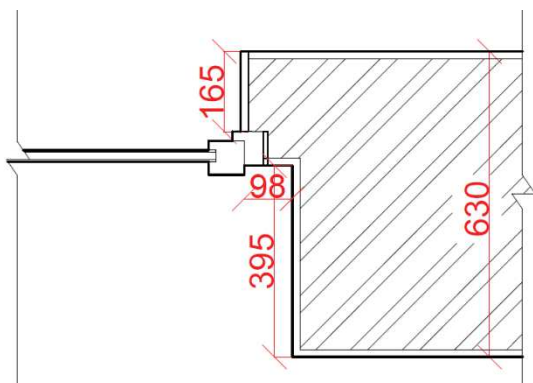
Obr. 46: Model 1 - půdorys předmětné konstrukce

Obr. 47: Model 1 - fotografie reálné konstrukce, podklad pro zaměření

4.2.2 Model 2 – Konstrukce ostění okna s jednoduchým oknem na objektu

Geometrické rozměry této stavební konstrukce pro modelový výpočet vycházely z naměřených rozměrů in situ. V současné době se na fasádě objektu nachází konstrukce jednoduchého okna, která nahradila původní dvojitě okno. Stavební konstrukce je umístěna na objektu z 30. let 20.

století. Detailní rozměry pro variantní modelový výpočet s dvojitým oknem vycházejí z podkladu knih [112] či autorova zaměření původních konstrukcí dvojitého okna na objektech obdobného stáří. Půdorys stavební konstrukce pro výpočtový model je na obr. 48 a fotografie na obr. 49.



Obr. 48: Model 2 - půdorys předmětné konstrukce

Obr. 49: Model 2 - fotografie reálné konstrukce, podklad pro zaměření

4.3 CÍLE MODELOVÁNÍ

Hlavním cílem modelových výpočtů na různých variantách konstrukcí pomocí softwaru bylo porovnání sledovaných parametrů povrchové oblasti vnitřního ostění. V tabulce 40 je uveden přehled nakombinovaných modelovaných variant konstrukčního uspořádání oblasti ostění. V jednotlivých variantách je též zahrnuta možnost zateplení obvodové stěny a zateplení ostění. Varianta původního okna s jednoduchým zasklením na obou křídlech a bez jakéhokoliv zateplení je referenční (označeno v tabulce REF). S touto variantou jsou porovnávány všechny variantní návrhy modelových výpočtů konstrukcí. Zeleně jsou označeny typy konstrukcí, na nichž byl proveden modelový výpočet.

Tabulka 40: Přehled všech variant modelovaných konstrukcí

Označení	Zateplení konstrukce	Bez zateplení			Zateplení obvodové stěny			Zateplení špalety			Zateplení vnitřního ostění		
		Povrch teplota	Povrch rel. vlhk.	Hustota tep. toku	Povrch teplota	Povrch rel. vlhk.	Hustota tep. toku	Povrch teplota	Povrch rel. vlhk.	Hustota tep. toku	Povrch teplota	Povrch rel. vlhk.	Hustota tep. tok
Dvojité okno													
1	Zasklení jednoduché	REF			-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Zasklení jednoduché se zateplením	-	-	-									
3	Zasklení dvojsklo na vnitřním křídle												
4	Zasklení dvojsklo na vnějším křídle												
Jednoduché okno													
5	Zasklení dvojsklo							-	-	-			

Pomocí modelového softwaru byly vypočteny následující tepelně vlhkostní parametry, viz Tabulka 41. Předmětnou plochou výpočtu je použita plocha vnitřního ostění.

Tabulka 41: Přehled analyzovaných parametrů

Posuzované parametry	Jednotka	Lokalizace	Upřesnění
Povrchová teplota	[°C]	Část vnitřního ostění vymezené plochou a svrchní vrstvou konstrukce (0,7 cm)	Průměrná hodnota v celé oblasti
Povrchová relativní vlhkost	[%]		
Hustota tepelného toku	[W/m ²]		
Hustota vlhkostního toku	[kg/m ² s]		

Pro výpočet výsledných hodnot byla použita celková šířka vnitřního ostění, tudíž výsledné hodnoty uvádějí průměrné hodnoty celé šířky plochy ostění. Z těchto výsledků proto nelze vyvozovat minimální teploty na povrchu konstrukce ve vztahu k povrchovým kritickým teplotám. Předmětná oblast výpočtu všech parametrů je vztažena na povrchovou vrstvu vnitřního ostění (do hloubky 0,7 cm). V případě výpočtu parametrů tepelného a vlhkostního toku, model počítal s výpočtem na měrnou jednotku tj. m².

4.4 PRINCIP VÝPOČTOVÉHO SOFTWARE

Podkladem pro výpočtový software je půdorys vytvořený v CAD, uložený v souboru .dxf (verze 2013). Podklad v CADU musí být narýsován pomocí uzavřených obdélníků. Tento podklad je dále exportován do programu WUFI. V programu se pomocí několika záložek zadávají následující parametry (hustoty sítě výpočtu, vlastnosti materiálů, okrajové podmínky). U materiálů se vybírá z nabízené databáze, či je možné editovat vlastní materiál. Základní určující hodnotou pro definování vlastností materiálů je součinitel tepelné vodivosti λ [W/mK], viz tabulka 3 v kapitole 2.2.

V případě nehomogenních oblastí (tj. více materiálů s různými tepelně vlhkostními parametry) se pro zjednodušení může tato oblast nahradit jednou oblastí se stejnou λ . Toto bylo využito v případě izolačního dvojskla, kdy se zasklení složené ze dvou skleněných částí a vnitřní dutiny vyplněné vzácnými plyny o celkové hodnotě součinitele prostupu tepla $U=1$ [W/m²K] nahradí konstantní hodnotou definovanou pro danou šířku oblasti, v případě této práce to byla hodnota $\lambda=0,041$ [W/mK].

Následuje zadání okrajových (interiérových i exteriérových) podmínek konstrukce a dále stanovení časového období modelového výpočtu a jeho následné spuštění. Podkladem pro modelování byly informace v návodu [113] a WUFI fóru [114].

4.4.1 Typ modelových výpočtů

Výpočtové modely proběhly ve dvou různých typech modelování a to jako ustálené a dynamické modelování. V případě ustáleného modelování se jedná o okrajové podmínky, které

se s časem nemění, viz kapitola 4.5. Jako okrajové podmínky výpočtu jsou použity extrémní návrhové podmínky. Tyto podmínky vycházejí z dlouhodobých meteorologických měření v ČR [47]. Liší se v závislosti na teplotních oblastech a nadmořské výšce území.

V případě dynamického modelu výpočet počítá s okrajovými podmínkami, které se v průběhu času mění, viz kapitola 4.6. V tabulce 42 je uveden přehled okrajových podmínek pro jednotlivé výpočty. Okrajové podmínky jsou nadefinované v programu WUFI pro různé lokality v Evropě. V rámci dynamických výpočtů byly použity podmínky pro Hradec Králové.

Tabulka 42: Přehled okrajových podmínek pro modelové výpočty

Mikroklima	Okrajové podmínky			
	Interiér		Exteriér	
Parametry	Teplota	Relativní vlhkost	Teplota	Relativní vlhkost
	[°C]	[%]	[°C]	[%]
Ustálené podmínky	20	50	-13	84
Dynamické podmínky	Výpočet zahrnuje okrajové podmínky zahrnující roční období v intervalu 1 hod. Zdrojem jsou dat WUFI software, jako výpočtové místo byla vybrána lokalita Hradec Králové			

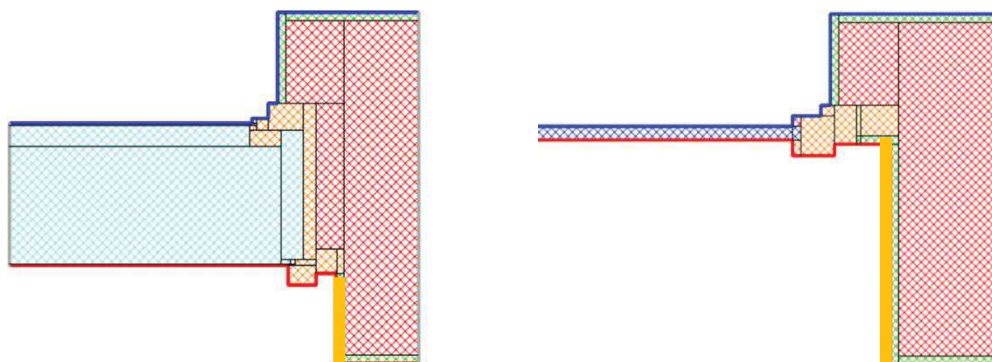
Součástí všech modelových výpočtů byla okenní konstrukce. Tepelně technické vlastnosti konstrukce oken včetně rámu a zasklení vykazují parametry součinitele prostupu tepla U [W/m^2K]. V tabulce 43 je uveden přehled hodnot součinitele prostupu tepla U pro různé typy konstrukcí.

Tabulka 43: Součinitel prostupu tepla konstrukcemi [8]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U
	[W/m^2K]
Jednoduchá okna s jedním sklem, netěsná	4,5
Jednoduchá okna s izolačním čirým sklem s přídatným čirým sklem v rámečku z plastu, kovu, netěsná	2,6
Jednoduchá okna s izolačním čirým dvojsklem, netěsněná	2,5
Zdvojená okna s dvěma čirými skly, netěsněná	2,4
Dvojitá, špaletová okna s dvěma čirými skly, netěsněná	2,35

4.4.2 Výpočtový model

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny ukázky modelů konstrukcí pro 2D software. Na obr. 50 je zobrazen výpočtový model pro konstrukci ostění s dvojitým oknem. Na obr. 51 je zobrazen výpočtový model s konstrukcí jednoduchého okna. Žlutě je vyznačena předmětná oblast modelování, tj. vnitřní povrchová oblast ostění.

**Obr. 50:** Výpočtový model, dvojitě okno**Obr. 51:** Výpočtový model, jednoduché okno

4.5 VÝSLEDKY - MODELOVÁNÍ ZA USTÁLENÝCH PODMÍNEK

V následujících kapitolách jsou uvedeny výsledky 2D modelových výpočtů. Vypočtené hodnoty parametrů povrchové oblasti konstrukce ostění jsou uváděny v procentuálním vyjádření změny ve vztahu k referenčním hodnotám konstrukce ostění u původního dvojitěho okna.

4.5.1 Porovnání tepelně vlhkostních parametrů vnitřního ostění u různých konstrukčních variant oken – model 1

V první variantě byly provedeny výpočty parametrů povrchové oblasti vnitřního ostění u různých variant okenních konstrukcí. V následujících tabulkách 44 až 47 jsou uvedeny výsledky.

Tabulka 44: Modely bez zateplení obvodové stěny

Ozn.	Popis konstrukcí	Povrch. teplota	Povrch. rel.vlh.	Hust. tep. toku
		Procentuální vyjádření v %		
Ostění u dvojitěho okna				
1	Historické dvojitě okno, jednoduché zasklení	REF	REF	REF
3	Dvojitě okno, dvojsklo na vnitřním křídle	-1,8	-2,5	-10,0
4	Dvojitě okno, dvojsklo na vnějším křídle	1,8	1,5	7,1
Ostění u jednoduchého okna				
5	Jednoduché okno - zasklení tepelně izolační dvojsklo	-2,3	3,0	-39,5

Zelená barva = zlepšení hodnoty, červená hodnota = zhoršení hodnoty

Tabulka 45: Modely se zateplením obvodové stěny

Ozn.	Popis konstrukcí	Povrch. teplota	Povrch. rel.vlh.	Hust. tep. toku
		Procentuální vyjádření v %		
Ostění u dvojitěho okna				
1	Původní dvojitě okno REF	REF	REF	REF
2	Původní dvojitě okno se zateplením obvodové stěny	4,1	4,2	24,3
3	Dvojitě, dvojsklo na vnitřním křídle	0,6	0,7	4,8
4	Dvojitě, dvojsklo na vnějším křídle	7,0	7,2	39,5
Ostění u jednoduchého okna				
5	Jednoduché okno, zasklení tepelně izolační dvojsklo	7,0	7,2	1,9

Zelená barva = zlepšení hodnoty, červená hodnota = zhoršení hodnoty

Tabulka 46: Modely se zateplením dřevěné špalety v ostění

Ozn.	Popis konstrukcí	Povrch.	Povrch.	Hust. tep.
		teplota	rel.vlh.	toku
Procentuální vyjádření v %				
Ostění u dvojitého okna				
1	Původní dvojité okno REF	REF	REF	REF
2	Původní dvojité okno se zateplením dřevěné špalety	0,0	-0,2	-1,4
3	Dvojité, dvojsklo na vnitřním křídle	-1,2	-1,7	-10,0
4	Dvojité, dvojsklo na vnějším křídle	1,8	2,0	9,5

Zelená barva = zlepšení hodnoty, červená hodnota = zhoršení hodnoty

Tabulka 47: Modely se zateplením vnitřního ostění

Ozn.	Popis konstrukcí	Povrch.	Povrch.	Hust. tep.
		teplota	rel.vlh.	toku
Procentuální vyjádření v %				
Ostění u dvojitého okna				
1	Původní dvojité okno REF	REF	REF	REF
2	Původní dvojité okno se zateplením vnitřního ostění	4,1	4,1	44,8
3	Dvojité=dvojsklo na vnitřním křídle	0,6	0,7	35,7
4	Dvojité=dvojsklo na vnějším křídle	7,0	7,0	50,5
Ostění u jednoduchého okna				
5	Jednoduché okno, zasklení tepelně izolační dvojsklo	7,0	7,2	25,7

Zelená barva = zlepšení hodnoty, červená hodnota = zhoršení hodnoty

Porovnání parametrů vnitřního ostění u různých konstrukčních variant

Na základě provedených modelací bylo zjištěno, že povrchové teploty a povrchové relativní vlhkosti se u jednotlivých typů konstrukcí liší řádově v jednotkách procent, zatímco v případě hustoty tepelného toku jsou rozdíly mezi jednotlivými konstrukcemi $\pm 50\%$. Z tohoto důvodu byla hustota tepelná toku vybrána jako dále sledovaný parametr. Z výpočtů a vzájemných porovnání (referenční hodnotou byla původní konstrukce dvojitého okna) předmětné konstrukce vnitřního ostění lze konstatovat, že vypočtené povrchové teploty a povrchové relativní vlhkosti vykazují mezi sebou zanedbatelné až velmi malé rozdíly.

V tabulce 48 jsou výše uvedená data shrnuta v jedné tabulce, výsledky výpočtu tepelných toků konstrukcí vnitřního ostění u různých konstrukčních variant. Porovnání je vyjádřeno v procentuálním vyhodnocení ve vztahu k parametrům referenčního ostění u dvojitého původního historického okna.

Tabulka 48: Porovnání výsledků hustot tepelných toků na vnitřním ostění oken

Ostění u variant okenních konstrukcí			
Dvojitého historického	Vnitřní křídlo dvojsklo	Vnější křídlo dvojsklo	Jednoduché okno
Procentuální vyjádření v %			
Stavební konstrukce bez jakéhokoliv zateplení			
REF	-10 %	+ 7,1 %	-39,5 %
Zateplení obvodové stěny			
+ 24,3 %	+ 4,8 %	+ 39,5 %	≈REF
Zateplení dřevěné špalety ostění (pod dřevěným ostěním)			
≈ REF	-10 %	+ 9,5 %	-
Zateplení vnitřního ostění			
+44,8 %	+35,7 %	+ 50,5 %	+ 25,7 %

Pozn. modře REF = Referenční konstrukce, červeně = horší hodnota oproti REF, zeleně = lepší hodnota oproti REF, ≈REF srovnatelná hodnota s referenční konstrukcí

V rámci výpočtového modelu s historickou stavební konstrukcí bez jakéhokoliv zateplení, lze říci, že pouze varianta nového dvojitého okna s dvojsklem na vnějším křídle vykazuje lepší hodnoty oproti referenčnímu oknu, tj. na konstrukci je hodnota hustoty tepelného toku o cca 7,1 % nižší. Varianta konstrukce dvojitého okna s dvojsklem na vnitřním křídle vykazuje o 10 % vyšší tepelné toky. Varianty konstrukcí s jednoduchým oknem vykazují o 39,5 % vyšší tepelné toky.

V případě, že dojde k zateplení obvodové stěny, dojde k výraznému poklesu tepelného toku všemi typy studovaných konstrukcí ostění oken. Pokud porovnáme původní historické okno, zjistíme, že zde došlo ke snížení tepelného toku vlivem zateplení obvodové stěny o 24,3 %. Dvojité okno s dvojsklem na vnější straně vykazuje oproti původnímu historickému oknu v nezateplené konstrukci zlepšení o 39,5 %, což představuje cca 30 % zlepšení oproti tomu samému oknu v nezateplené konstrukci. Varianta ostění u jednoduchého okna je vzhledem k referenčnímu původnímu oknu srovnatelná.

Vliv zateplení špalety se projeví pouze nepatrně na konstrukci ostění u dvojitého okna s dvojsklem na vnějším křídle (o 9,5 % lepší varianta), nicméně procentuální zlepšení je velice podobné zlepšení, které bylo zjištěno u stejného okna v případě, kdy nebyla špaleta zateplena. Ostatní sledované okenní konstrukce, vykazovaly srovnatelné výsledky jako konstrukce bez zateplení špalety. Lze tedy konstatovat, že tento způsob zateplení nemá významný vliv na tepelné toky na ostění konstrukce.

V případě zateplení vnitřního ostění se výrazně sníží hodnoty u všech variant ostění, nejnižší poklesy hustot tepelných toků jsou u ostění dvojitého okna s dvojsklem (na vnějším křídle), zde je zlepšení o 50 %. Dalším zajímavým zjištěním je skutečnost, že zateplení vnitřního ostění v průměru vykazuje o 44 % nižší tepelné toky oproti stejné konstrukci bez jakéhokoliv zateplení. V případě jednoduchého okna je to zlepšení o 65 %.

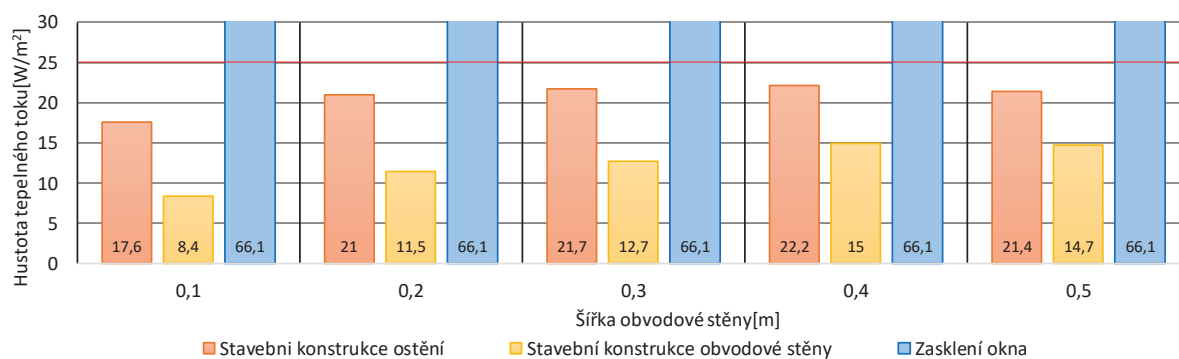
Z modelů je možno říci, že z hlediska snížení energetických ztrát ostěním je v případě nemožnosti dělat stavební úpravy v konstrukci stěny, nejlepším řešením instalace dvojskla na vnějším křídle okna. Pokud by bylo možné dělat stavební úpravy v oblasti obvodové stěny, zateplení vnitřního ostění vykazuje významné snížení ztrát, bez nutnosti výměny oken.

4.5.2 Porovnání tepelně vlhkostních parametrů vnitřního ostění k ostatním souvisejícím prvkům stavební konstrukce – model 2

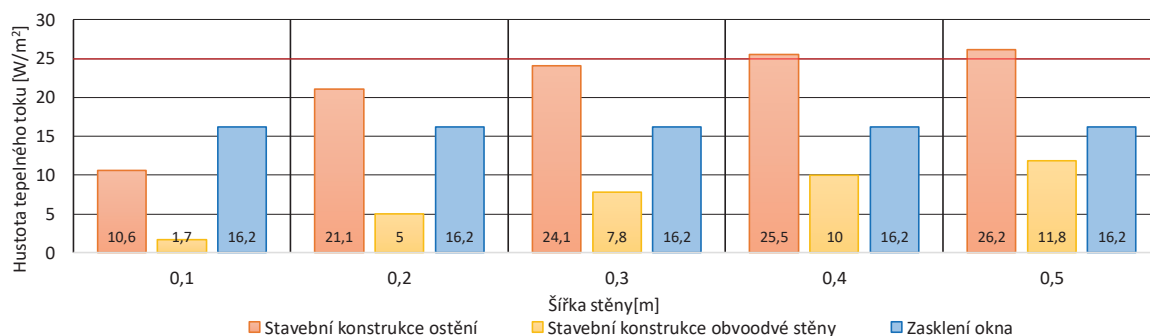
Na modelu 2 bylo provedeno porovnání tepelného a vlhkostního toku skrz různé stavební prvky obvodové stěny a konstrukcí u historického dvojitého okna a jednoduchého okna. Sledované prvky byly ostění, zasklení a obvodová stěna. Po vyhodnocení zanedbatelných rozdílů. V závislosti na zanedbatelných rozdílech ve výpočtech povrchových teplot a relativních vlhkostí na modelu 1 v předcházejících výpočtech byly porovnány tepelné parametry (hustota tepelných toků) a vlhkostní parametry (hustota difúzních toků). Hustota tepelných toků respektive vlhkostních toků skrze jednotlivé prvky konstrukce je zobrazena na grafech 24 až 27. Na grafech jsou zobrazeny jednotlivé vypočtené parametry pro prvky ostění, obvodovou stěnu a zasklení okna. Předmětné parametry byly sledovány v závislosti na šířce obvodové stěny u okenní konstrukce. Výpočty byly tedy provedeny na šířkách obvodové konstrukce 0,1 m až 0,5 m.

V rámci porovnání hustot tepelných toků zobrazených na grafech 24 a 25 lze říci, že nejvýznamnější vliv na tepelné ztráty má typ zasklení konstrukce. Hustota tepelných toků zasklení u dvojitého okna je oproti tepelně izolačnímu dvojsklu cca čtyřnásobná. Od šířky obvodové stěny 0,4 m mají prvky u obou konstrukcí oken přibližně stejnou hodnotu hustoty tepelného toku na vnitřním ostění. Zatímco šířka stěny nemá vliv na tepelnou ztrátu samotným zasklením okna, se vzrůstající šířkou obvodové stěny je hustota tepelného toku vnitřním ostěním u jednoduchého okna vyšší než u ostění okna dvojitého.

Prvek zasklení se významně podílí na rozdílu hustoty tepelných toků obvodové stěny a ostění. V případě jednoduchého okna jsou rozdíly mezi obvodovou stěnou a ostěním významnější (průměrně trojnásobné). Hustota tepelného toku u ostění jednoduchého okna je průměrně o 3,5% vyšší oproti konstrukci ostění dvojitého okna.

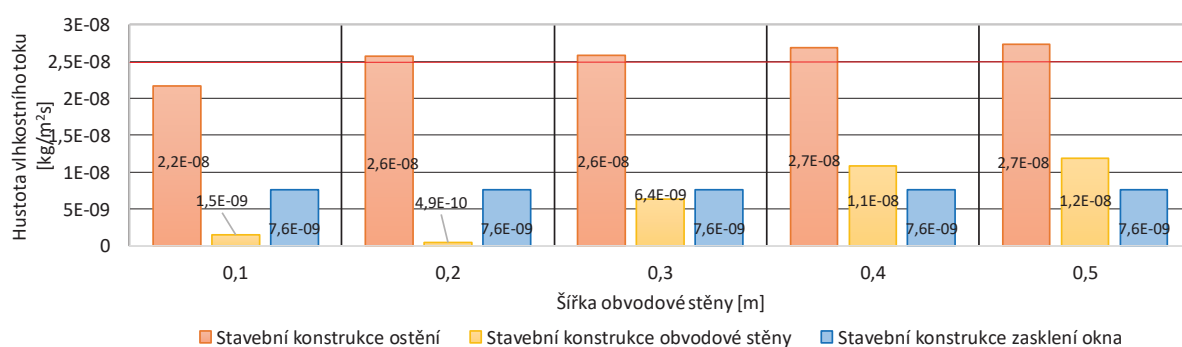


Graf 24: Hustota tepelného toku na jednotlivých prvcích konstrukce, dvojité historické okno

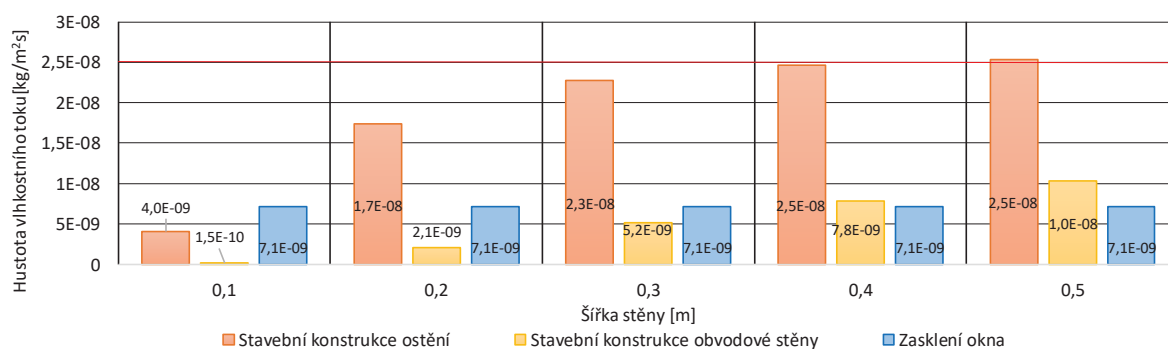


Graf 25: Hustota tepelného toku na jednotlivých prvcích konstrukce, jednoduché okno s dvojsklem

Hustota vlhkostního toku je zobrazena na grafech 26 a 27. Co se týče vlivu šířky obvodové stěny, od šířky obvodové stěny 0,4 m mají prvky u obou konstrukcí oken přibližně stejnou hodnotu hustoty vlhkostního toku, zatímco šířka stěny nemá vliv na tepelnou ztrátu samotným oknem. Nejvyšší hodnoty hustoty vlhkostního toku na jednotlivých prvcích jsou na konstrukci ostění (průměrně jsou trojnásobné oproti ostatním prvkům).



Graf 26: Hustota vlhkostního toku na jednotlivých prvcích konstrukce, dvojité historické okno



Graf 27: Hustota vlhkostního toku, jednoduché okno

V závislosti na sledovaných parametrech hustot tepelného a vlhkostního toku lze konstatovat, že konstrukce ostění má u obou sledovaných oken významný podíl na šíření těchto procesů stavební konstrukce.

4.5.3 Rozdílné podmínky v mikroklimatech exteriéru – model 1

V rámci modelování byla provedena diskuze odlišností hodnot měřených parametrů v závislosti na exteriérových okolních podmínkách. Modelové výpočty byly provedeny pro konstrukci ostění u historického dvojitého okna a u jednoduchého okna. V první variantě výpočtů byly použity podmínky pro teplotní oblast 1, tj. stejné jako v případě výpočtů v kapitole 4.5.1. Přehled návrhových podmínek v exteriéru je zobrazen v tabulce 6 v kapitole 2.3.2. V druhé variantě výpočtů byly zvoleny podmínky pro oblast 4, tj. venkovní exteriérová teplota – 20 °C. V tabulce 49 je vyjádřeno porovnání vypočtených hodnot v % ve vztahu k referenční konstrukci ostění u historického objektu. Naměřené hodnoty vycházejí u okrajových podmínek -20 °C horší. Významně nejhorší hodnoty vycházejí v případě tepelného toku konstrukcí ostění u jednoduchého okna (o 90 %).

Tabulka 49: Porovnání výsledků ustáleného modelování povrchu vnitřního ostění u variant okenních konstrukcí

Povrchová konstrukce ostění u	Okrajové podmínky	Teplota	Relativní vlhkost	Tepelný tok
	[°C]	Procentuální vyjádření [%]		
Dvojitého historického okna	-13	REF	REF	REF
	-20	+2,9	+3,7	+20
Jednoduchého okna	-20	+8,7	+10,8	+90,6

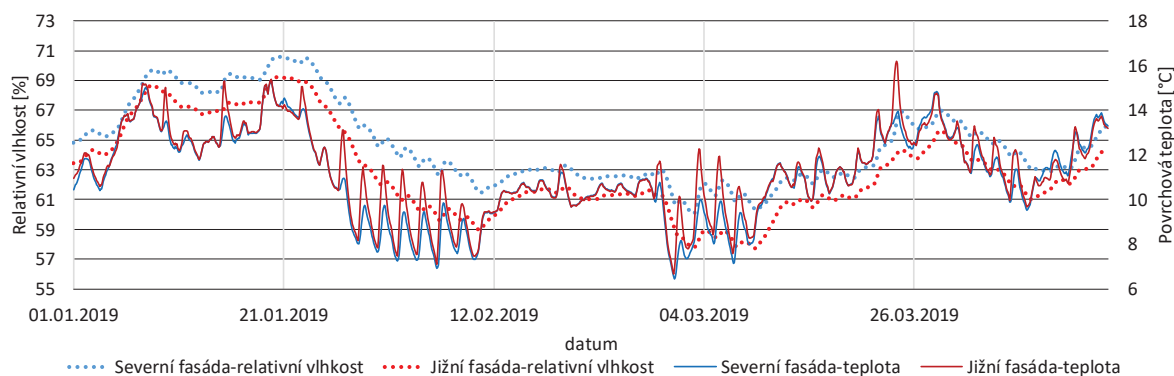
Pozn. modře REF = Referenční konstrukce, červeně = horší hodnota oproti REF

4.6 VÝSLEDKY - DYNAMICKÉ MODELOVÁNÍ

V následujících modelech výpočtů byly změněny okrajové podmínky výpočtů pro stejné modely z kapitoly 4.5. Zadané okrajové podmínky výpočtových modelů obsahovaly hodnoty pro celé roční období. Tyto výpočty doplňovaly problematiku počítanou v ustáleném modelování, z pohledu dlouhodobých podmínek. V první variantě výpočtů byla porovnávána závislost konstrukce vnitřního ostění na orientaci stavební konstrukce ke světovým stranám. Porovnána byla jižní a severní fasáda. Dále bylo diskutováno materiálové provedení oblasti pod dřevěnou špaletou dvojitého okna, tj. řešení se vzduchovou dutinou, oblastí zcela vyplněnou maltou či vyplněním oblasti dodatečným zateplením. Závěrečný výpočtový model se zabýval porovnáním povrchové oblasti konstrukce ostění jednoduchého a dvojitého okna v rámci působení dlouhodobých podmínek na konstrukce. Pro modelový výpočet byly použity podmínky popsané v kapitole 4.4.1.

4.6.1 Orientace ke světovým stranám model 1

Následující kapitola porovnává vliv oslunění fasády vzhledem k orientaci fasády vůči severní a jižní straně. Výpočty byly provedeny na dvojitěm okně. V grafu 28 je zobrazen dlouhodobý průběh povrchových teplot a povrchových relativních vlhkostí ostění ve špaletě dvojitěho okna. Červené čáry popisují parametry (povrchová vlhkost, povrchová relativní vlhkost) u povrchu konstrukce ostění na jižní fasádě, modré čáry značí parametry na ostění severní fasády. V tabulce 50 je uvedeno porovnání vypočtených hodnot z grafu.



Graf 28: Porovnání povrchové teploty a relativní vlhkosti na severní a jižní fasádě

Tabulka 50: Minimální, maximální a průměrné hodnoty dynamické modelace v předchozím grafu

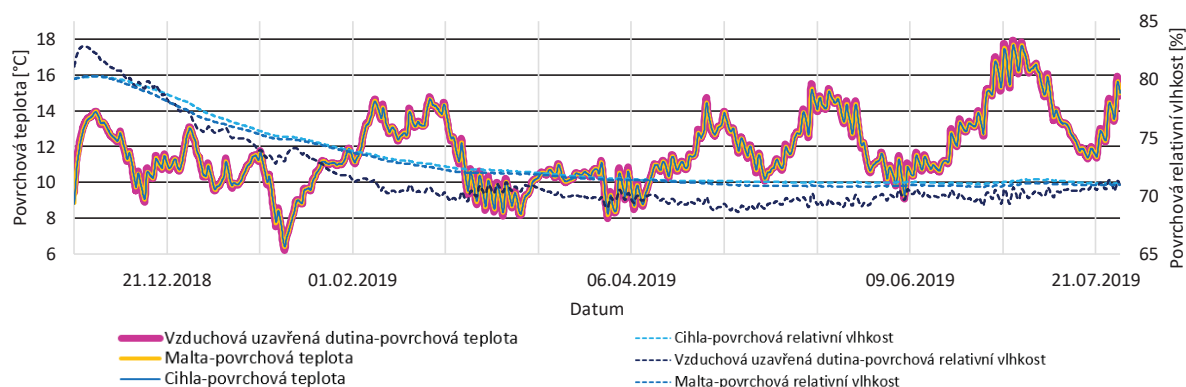
Hodnotící kritérium	Povrchová teplota		Relativní povrchová vlhkost	
	Severní	Jižní	Severní	Jižní
	Procentální vyjádření [%]			
Min	REF	+4,7	REF	-3,8
Max	REF	+5,2	REF	-2,0
Průměr	REF	+1,8	REF	-2,8

Dle porovnání stavebních konstrukcí vůči orientaci ke světovým stranám vykazuje konstrukce ostění na jižní fasádě vyšší hodnoty, v průměru o 1,8 % vyšší povrchovou vlhkost, respektive o 2,8 % nižší relativní povrchovou vlhkost. Nejvyšší vliv na rozdíly povrchových parametrů mají výkyvy v průběhu dne, kdy je konstrukce na jižní fasádě osluněna slunečním zářením. Hodnoty naměřené na ostění severní fasády vykazují nižší výkyvy během dne. Výkyvy průběhu teplot u obou fasád jsou významně větší v porovnání s výkyvy relativních vlhkostí.

4.6.2 Porovnání oblasti pod špaletou – model 1

Dle průzkumu in situ v oblasti pod dřevěnou špaletou může být oblast pod dřevěnou špaletou tvořena: vzduchovou uzavřenou dutinou, maltou či zdivem (cihlou). Ve výpočtovém modelu byly tyto varianty porovnány s cílem zjištění rozdílů ve sledovaných parametrech (povrchová teplota, povrchová relativní vlhkost) na povrchu vnitřního ostění během dlouhodobého působení okrajových podmínek. Okrajové podmínky výpočtu jsou stejné. V grafu 29 je uveden

dlouhodobý průběh vypočtených hodnot těchto variant. V modelovém výpočtu byla konstrukce podrobena extrémním okrajovým podmínkám v zimním období.



Graf 29: Porovnání oblasti pod špaletou v závislosti na rozdílném provedení

V tabulce 51 je uveden přehled vypočtených hodnot z dynamického modelování. Rozdíl ve vypočtených hodnotách je zanedbatelný.

Tabulka 51: Minimální, maximální a průměrné hodnoty dynamické modelace v předchozím grafu 29

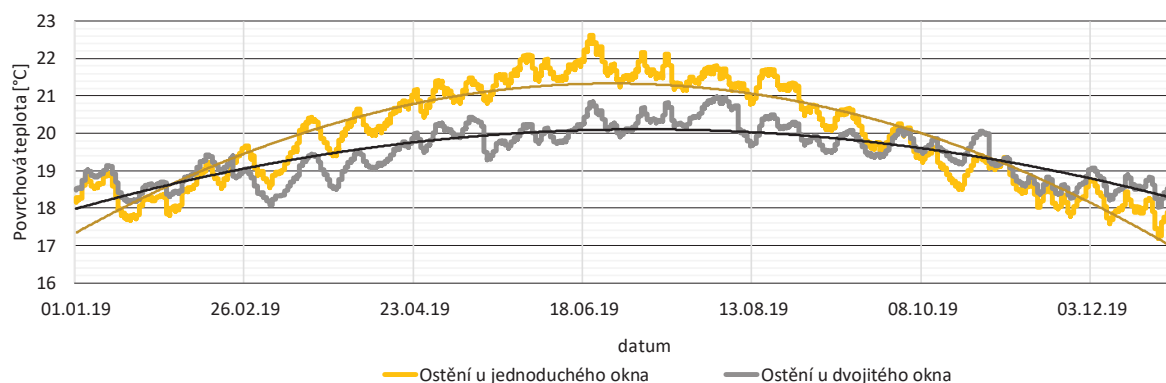
Sledované parametry	Povrchová teplota			Povrchová relativní vlhkost		
	vzduch	cihla	malta	vzduch	cihla	malta
Jednotky	[°C]			[%]		
Min	6,2	6,4	6,4	68,6	71,0	70,7
Max	17,9	17,7	17,7	82,9	80,3	80,3
Průměr	11,8	11,8	11,8	71,7	73,1	72,8

Jak je z grafu 29 patrné, průběhy všech sledovaných parametrů jsou velice srovnatelné. Tuto skutečnost dokládá i tabulka 51, ve které jsou uvedeny minimální, maximální a průměrné hodnoty povrchových teplot a relativních vlhkostí vnitřního ostění. Sledované parametry hodnot (teplota a relativní vlhkost) v předmětné oblasti jsou srovnatelné. Na základě této modelace lze říci, že pokud se provádí rekonstrukce prostoru pod špaletou a dojde k vyplnění původní vzduchové dutiny maltou nebo cihlou, nemá tento zásah do povrchové konstrukce ostění okna významný vliv na oblast ostění.

4.6.3 Porovnání povrchových parametrů jednoduchého a dvojitého okna – model 2

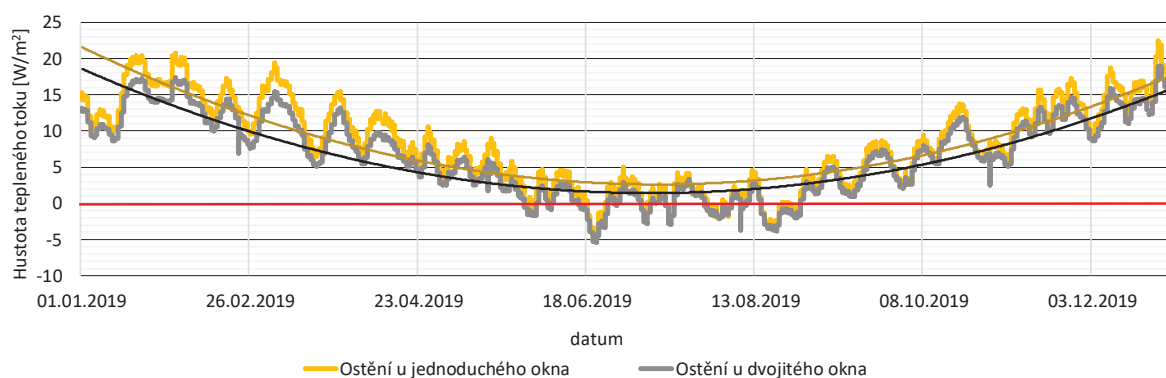
V rámci modelových výpočtů byly porovnány parametry povrchu ostění u dvojitého historického okna a u jednoduchého okna. Na grafu 30 je zobrazeno porovnání průběhu povrchových teplot oblasti ostění na jednoduchém okně (žlutá čára) a dvojitým původním okně (šedá čára). V rámci průběhu povrchových teplot je patrné, že během cca 75 % roku (od cca února do listopadu) je teplota ostění vyšší (až o 3 °C), tzn. konstrukce při extrémních okolních podmínkách má lepší tepelně technické parametry. Ovšem v období extrémních teplot

v exteriéru je teplota nižší (listopad až únor). Průběh teploty u vnitřního ostění dvojitého okna je konstantnější. Materiály ostění tudíž vykazují stálejší podmínky.



Graf 30: Porovnání průměrných hodnot povrchové teploty vnitřního ostění během modelového roku

Graf 31 uvádí porovnání hustot tepelného toku v oblasti vnitřního ostění. Z porovnání obou konstrukcí vychází stejný průběh sledovaných hodnot. Rozdílem je, že povrchová oblast konstrukce ostění u jednoduchého okna má konstantně vyšší hustotu o průměrně 3 W/m^2 , tzn. na předmětné oblasti ostění u jednoduchého okna se vyskytují vyšší tepelné ztráty ve srovnání ostění u dvojitého okna. V letním období je velikost tepelných toků minimální a tepelné toky mají obrácený průběh, jelikož v exteriéru jsou vyšší částečné tlaky vodní páry než v interiéru. Nulové hodnoty dosahují, když jsou částečné tlaky vodní páry vyrovnané v interiéru a exteriéru.



Graf 31: Porovnání průměrných hodnot hustot tepelného toku vnitřního ostění během modelového roku

4.7 SHRUTÍ MODELOVÝCH VÝPOČTŮ

Modelové výpočty na rozdíl od experimentálních měření nabízejí široké možnosti v zadání vstupních parametrů materiálů, geometrie konstrukce či okrajových podmínek. V rámci disertační práce bylo vypočítáno několik desítek modelů v 2D softwaru WUFI. Vypočtené parametry byly mezi sebou porovnány, referenčním výpočtem byla konstrukce ostění u historického dvojitého okna. V rámci výpočtů byly použity dva základní typy okrajových podmínek výpočtů, a to ustálený výpočet s konstantními okrajovými podmínkami a výpočet s

dynamickými okrajovými podmínkami, tj. podmínky neustále se měnící v průběhu ročního období.

4.7.1 Výpočet s ustálenými okrajovými podmínkami (konstantní okrajové podmínky)

Na základě výsledků v kapitole 4.5.1 je možné konstatovat, že porovnání povrchové teploty a relativní vlhkosti na sledované konstrukci vnitřního ostění vykazuje minimální rozdíly. Z tohoto důvodu byl pro porovnání oblasti vnitřního ostění zvolen parametr hustoty tepelného toku. Hustota tepelného toku určuje oblasti s největšími tepelnými ztrátami oproti ostatním oblastem. Z modelů je patrné, že se tyto oblasti převážně nacházejí na vnitřním ostění jednoduchého okna. Pokud chceme zachovat původní vzhled a historickou hodnotu okna a zlepšit působení okrajových podmínek (prodloužení životnosti) je vhodné přistoupit k zateplení vnitřního ostění. Zateplení vnitřního ostění se na snížení tepelných toků skrze ostění promítne z variant zateplení nejvíce. Konstrukce ostění u jednoduchého okna vychází ze všech posuzovaných variant rekonstrukcí nejhůře. Většinou se jedná o novodobé nepůvodní okno s nízkou historickou hodnotou.. Na základě modelací různého provedení oblasti pod špaletou lze říci, že zateplení pod dřevěnou špaletou nemá žádný významný vliv na zlepšení tepelně vlhkostních parametrů vnitřního ostění. V případě konstrukce bez zateplení se tepelně vlhkostní parametry vnitřního ostění nevylepší nikterak významně, ve dvou případech dokonce dojde k zhoršení parametrů a to v případě ostění u jednoduchého okna, zhoršení je až o 40 % oproti referenční hodnotě ostění u historického dvojitého okna.

Kapitola 4.5.2 ukazuje porovnání vybraných stavebních prvků a konstrukcí obvodové stěny s vnitřním ostěním u konstrukce dvojitého či jednoduchého okna. Výsledky porovnávají sledované tepelně vlhkostní parametry na konstrukci ostění, zasklení okna a obvodové stěně. Vypočtené hodnoty ukazují, že tepelný tok ostěním je cca dvojnásobný oproti obvodové stěně, vlhkostní tok je cca 2,5 násobný oproti obvodové stěně. Modelace ukazují, že šířka obvodové stěny může mít vliv na tepelně vlhkostní procesy v ostění. Se vzrůstající šířkou narůstá hodnota tepelného a vlhkostního toku a od šířky obvodové stěny 0,4 m mají prvky u obou konstrukcí oken přibližně stejnou hodnotu hustoty tepelného toku.

Výběr okrajových podmínek (kapitola 4.5.3) může hrát významnou roli na výsledných hodnotách sledovaných parametrů konstrukce vnitřního ostění. Jak dokazuje modelace v případě extrémních okrajových podmínek v zimním období v ČR (horské lokality) je v případě použití jednoduchého okna zhoršení parametrů tepelného toku oblasti vnitřního ostění až o 90 % oproti historickému dvojitému oknu.

4.7.2 Výpočet s dynamickými okrajovými podmínkami (roční období)

Výsledky z kapitoly 4.6.1 ukazují, že orientace fasády může mít vliv na sledované parametry vnitřního ostění. Výpočtové modely dokázaly, že sledované parametry ostění na severní fasádě vykazují konstantnější průběh a tato oblast není tudíž zasažena nestálostí v podobě prudkých výkyvů parametrů oproti konstrukci jižního ostění především z důvodů oslunění fasády.

Dle závěrů kapitoly 4.6.2 lze říci, že konstrukční a materiálové provedení v oblasti pod dřevěnou špaletou nemá žádný vliv na výsledné sledované tepelně vlhkostní parametry vnitřního ostění. Pozn. nebylo ovšem počítáno s vyplněním prostoru PUR pěnou.

Kapitola 4.6.3 porovnává sledované parametry konstrukce ostění z dlouhodobého hlediska. Z výsledků vyplývá, že povrchová teplota vnitřního ostění je v případě historického dvojitého okna konstantnější a vykazuje průměrně vyšší hodnoty v celoročním sledování. Tepelné toky na obou sledovaných konstrukcích mají stejný průběh, přičemž u konstrukce dvojitého okna jsou nepatrně vyšší.

5 ZÁVĚR

V rámci disertační práce byla provedena analýza stavební konstrukce ostění okenní výplně. Cílem bylo posouzení tepelně vlhkostních procesů na této konstrukci v závislosti na různých typech uspořádání okenní konstrukce a měnících se okrajových podmínkách.

V rámci práce bylo provedeno 13 dlouhodobých experimentálních měření na reálných stavebních konstrukcích ostění in situ. Poté byly provedeny modelové výpočty v 2D softwaru. Podkladem pro výpočty v 2D softwaru byly reálné konstrukce měřené in situ. Cílem práce byla vždy analýza tepelných a vlhkostních parametrů v konstrukci ostění.

Experimentální měření a modelové výpočty prokázaly následující skutečnosti:

Na stavebních konstrukcích ostění byly sledovány procesy spojené s přenosem teploty a vlhkosti mezi prostředím interiéru a exteriéru. Grafické vyjádření je uvedeno v kapitole 2.5. Na konstrukcích bylo sledováno rozložení teplot, tepelných toků, relativních vlhkostí, difúzního toku a částečných toků vodní páry.

Na základě dlouhodobých experimentálních měření bylo zjištěno, že kritické podmínky povrchu ostění v interiéru jsou výlučně závislé na mikroklima interiéru. Jak bylo naměřeno, během několika hodin se může teplota rosného bodu změnit až o několik stupňů. Jak bylo zjištěno, je to způsobeno tím, že mikroklima interiéru je proměnné a je ovlivněno zdroji vlhkosti, mezi které se významně řadí přítomnost osob v interiéru.

Z posouzení povrchu ostění v rámci dlouhodobých měření vychází, že konstrukce ostění u jednoduchého okna se vyskytovala častěji v kritických podmínkách ve vztahu k růstu plísní než ostění u dvojitého okna. Na základě měření nové konstrukce dvojitého okna s jednoduchým zasklením na obou křídlech bylo zjištěno, že povrch špalety tohoto okna vykazuje mnohonásobně častěji kritické podmínky potenciálního růstu plísní než původní historické dvojité okno. Je to dáno změnou podmínek mikroklima ve špaletě a konstrukčním uspořádáním. Tepelně vlhkostní procesy probíhající na dvojitých oknech s dvojsklem na vnitřním či vnějším křídle představují v obou případech lepší tepelně vlhkostní parametry konstrukce ostění oproti procesům na historických dvojitých oknech, z důvodů snížení hustot tepelných toků konstrukcí.

V rámci modelování bylo ověřeno, že teplota ostění u historického dvojitého okna je v průběhu celého roku konstantnější a vykazuje průměrně vyšší hodnoty oproti ostění u jednoduchého okna. Výsledky experimentu ukazují, že povrchy ostění historických dvojitých oken jsou vystaveny významně nižšímu riziku vzniku kondenzace či výskytu plísní oproti jednoduchému

oknu. V případě varianty konstrukce dvojitého okna vylepšeného o tepelně izolační dvojskla na okenních křídlech vychází lépe oproti původní historické konstrukci s jednoduchým zasklením na obou křídlech varianta dvojskla na vnějším křídle, oproti tomu varianta s dvojsklem na vnitřním křídle okna vykazuje nepatrně vyšší tepelné toky oproti původnímu ostění.

V případě, že dojde k zateplení obvodové stěny, dojde k výraznému poklesu tepelného toku na konstrukci ostění u všech typů studovaných konstrukcí oken, přičemž varianta ostění u dvojitého okna s dvojsklem na vnějším křídle okna vykazuje nejvýznamnější snížení hustoty tepelného toku konstrukcí vnitřního ostění. Zatímco vliv zateplení špalety se projeví pouze a to nepatrně na konstrukci ostění u dvojitého okna s dvojsklem na vnějším křídle, ostatní varianty konstrukcí vykazují srovnatelné výsledky jako konstrukce bez zateplení špalety. Pokud chceme zachovat původní vzhled a historickou hodnotu okna a docílit zlepšení tepelně vlhkostních parametrů vnitřního ostění nejlépe vychází zateplení vnitřního ostění.

Z výsledků měření a též s ohledem na památkové hledisko pro optimální řešení rekonstrukcí oken ve vztahu k ostění plyne, že dobré řešení rekonstrukce dvojitého okna obnáší ponechání původního vnějšího křídla a posílení křídla vnitřního okna tepelně izolačním dvojsklem. Z pohledu parametrů ostění i památkové péče je použití jednoduchého okna nejméně šetrné.

Na základě experimentálního měření a modelování lze říci, že původní dvojitá historická okna jsou při správné péči a užívání poměrně dobrým řešením konstrukčního uspořádání s ohledem na tepelně fyzikální procesy v jejich okolí probíhající. Z tohoto hlediska jsou platným prvkem historických staveb účinně prodlužujícím jejich životnost.

SEZNAM PŘÍLOH

1 SOUHRN DAT Z EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ

SLOVNÍK POJMŮ

Česky	Anglický jazyk	Německý jazyk
tlak vodní páry	partial water vapour pressure for dew point	r Wasserdampfdruck
difúze vodní páry	water vapour diffusion	e Wasserdampfdiffusion
difúzní tok	water vapour diffusion flow rate	r Diffusionsflüsse
dvojité okno	double window	s Kastenfenster
ekvivalentní difúzní tloušťka	equivalent diffusion flow rate	äquivalente Diffusionsdicke
faktor difúzního odporu	water vapour resistance factor	e Wasserdampfwiderstanzzahl
hodnoty	values	r Messwert
hustota difúzního toku vodní páry	density of water vapour diffusion flow rate	e diffusionsflussdichte
hustota vlhkostního toku	density moisture flow rate	e Feuchtestromdichte
infračervená termografie	infrared thermography	s Infrarot-Thermogramm
jednoduché okno	simple/single window	s Einfachfenster
kondenzace	condensation	e Kondensation
kritické podmínky	critical ambient conditions	kritische Umgebungsbedingungen
kritická povrchová teplota	critical surface temperature	kritische Oberflächentemperatur
měrná vlhkost	humidity by mass	r Feuchtesatz
měření	measurement	r Messung
mikroklima	microclimate	s Mikroklima
nejnižší přípustná teplota	Minimum acceptable temperature	niedrigste Temperatur
okenní rám	window frame	r Fensterrahmen
okno	window	s Fenster
ostění okna	window jamb	e Laibungsfläche, e Fenstergewände
otevíravé křídlo	casement	r Drehflügel
otevíravé okno	casement window	s Drehflügel Fenster
památková péče	preservation of monuments	e Denkmalpflege
povrchová kondenzace	surface condensation	e Oberflächenkondensation
povrchová teplota	surface temperature	e Oberflächentemperatur
relativní vlhkost	relative humidity	e relative Luftfeuchte
rosný bod	dew point	r Taupunkt
růst plísní	growth mold	e Schimmelbildung
součinitel přestupu tepla	coefficient of heat transfer,	r Wärmeübergangskoeffizient
součinitel tepelné vodivosti	thermal conductivity coefficient	r Wärmeleitfähigkeitskoeffizient
stavební fyzika	building physic	e Bauphysik
šíření tepla	heat transfer	e Wärmeübertragung
špaletové okno/dvojité okno	double casement window	s Kastenfenster
temperování	tempering	temperieren
tepelná vodivost	thermal conductivity	s Wärmeleitfähigkeit
tepelně izolační dvojsklo	double insulating glass	scheiben Wärmeschutzglas
Tepelně vlhkostní	hygrothermal	hygrothermisch
tepelný most	thermal bridge	e Wärmebrücke
tepelný tok	heat flow rate	r Wärmefluss
teplota	temperature	r Temperatur
teplotní faktor	temperature factor	r Temperaturfaktor
tlak vodní páry	partial water vapour pressure for dew point	r Wasserdampfdruck
vytápění	heating	e Heizung

vlhkost	moisture	e Feuchte
vlhkost vzduchu	humidity	e Luftfeuchte
vodní pára	water vapour	r Wasserdampf
vzduch	air	e Luft
zasklení	glazing	e Verglasung

Zdroje [21][22][26][32][115]

TERMINOLOGIE

STAVEBNÍ KONSTRUKCE	
Ostění okna	Postranní svislá část okenního otvoru. Konstrukce jednoduchého okna rozděluje ostění na vnitřní a vnější část. Konstrukce dvojitého okna rozděluje ostění na vnitřní část, část špalety a vnější část.
Okenní (stavební) otvor	Je část konstrukce určená pro zabudování okna
Okenní konstrukce (okno)	Je výplň stavebního otvoru, který slouží k prosvětlení interiéru, větrání a přirozenému kontaktu s exteriérem. Okno se skládá z dřevěného rámu, okenních křídel a zasklení.
DRUHY OKEN	
Jednoduché okno	Okno s jedním rámem. Původně jedno zasklení. V současnosti jednoduché okno s dvojsklem či trojsklem. Konstrukce principiálně odlišná od jednoduchých oken historických.
Dvojité okno = špaletové (dovnitř otvíravé okno)	Složené ze z vnitřního a vnějšího okna, obě mají dovnitř otvíravá křídla. Bývá osazené v dvakrát zalomeném ostění. Vnější okno je zpravidla o 15 až 20 cm odsazené od líce fasády, vnitřní okno je od vnějšího okna odsazené o 18 až 20 cm, Ostění mezi vnějším a vnitřním oknem bývá osazeno deštěním (ne vždy), taková okna jsou označována jako okna skříňová (hovorově kastlová). Mladší dvojitá okna mívají menší sklápěcí a vyklápěcí vrchní křídla.
Dvojité dovnitř a ven otvíravé okno (klasicistní)	Skládá se z vnitřního okna s dovnitř otvíravými křídly a vnějšího okna s ven otvíravými křídly. Vnější okno je osazeno v líci fasády (případně velmi málo odsazené), vnitřní okno je od něj odsazené o 15 a více cm. Nejstarší okna tohoto typu vznikla přidáním mladšího okna do líce fasády, před jednoduché barokní odsazené okno.
Historické (původní) okno	V rámci disertace používaný termín popisující okenní konstrukce stáří 60 až 90 let.
Novodobé okno	V rámci disertace používaný termín konstrukce okna stáří maximálně 10 let.
KONSTRUKČNÍ ČÁSTI OKEN	
Okenní křídlo	Otvíravá, sklopná či posuvná část okna, v křídle okna je fixováno zasklení
Deštění špalety (obložení špalety, obložení ostění)	Truhlářské obložení ostění mezi vnitřním a vnějším oknem.
Okenní rám	Prvek tvořící vnější obvod okna, který umožňuje osazení okna do stavební konstrukce. Pevně přikotvený k ostění okenního otvoru.
Určující vlastnosti tepelných a vlhkostních veličin	Vlastnosti materiálů, výrobků, konstrukcí a výplní otvorů, nebo referenční podmínky, na kterých je přímo závislá hodnota tepelné, nebo vlhkostní vlastnosti při šíření vzduchu, kde znalost těchto vlastností je nutná ke správné praktické interpretaci předmětné veličiny, popř. výsledku zkoušky, a musí být proto uváděna souběžně s danou teplenou nebo vlhkostní veličinou
Připojovací spára	Stavební detail, prostor mezi rámem okna nebo vnějších dveří a navazující stavební konstrukcí
Obvodová stěna	Svislá část stavby ohraničující prostor místnosti a oddělující prostředí interiéru a exteriéru.
Výplň otvoru	Okna, světlíky, dveře, vrata, střešní poklopy a průsvitné části konstrukcí. Součástí výplní otvor jsou i jejich rámy a zárubně včetně rámu příslušných k průsvitným částem otvorů
Jednoduché zasklení	Jednoduché zasklení tvoří sklo (dříve ploché o tloušťce 3 mm), v současné době obvyklejší 4 mm.
Tepelně izolační dvojsklo	Tvořeno ze dvou skleněných tabulí, vymezený distančním rámečkem. Meziprostor je vyplněn vzácným plynem.

VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	
Vodotěsnost	Odolnost vnějšího uzávěru připojovací spáry vůči průniku vody hnané deštěm.
Parotěsnost	Schopnost materiálu maximálně zamezit difuzi vodní páry, vyjadřuje se ekvivalentní difuzní tloušťkou S_d (m), která odpovídá tloušťce nehybné vrstvy vzduchu, mající stejný difuzní odpor jako předmětná vrstva materiálu.
Paropropustnost	Schopnost materiálu (fólie nebo pásy) propouštět vodní páru difúzí, materiály použité jako vnější uzávěr připojovací spáry musí zároveň zabránit průniku vody a hnaného deště.
OKRAJOVÉ PODMÍNKY	
Okrajové podmínky	Parametry prostředí (mikroklimat) obklopující stavební konstrukce.
Mikroklima	Parametry prostředí v okolí stavebních konstrukcí. Jsou charakterizovány parametry vzduchu. Mikroklima v blízkosti stavební konstrukce jsou interiér a exteriér.
Teplota	Termodynamická fyzikální stavová veličina charakterizující tepelný stav prostředí či hmotu. Jednotkou je K (Kelvin). Celsiova stupnice odvozena $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$.
Relativní vlhkost	Podíl skutečného tlaku vodní páry a tlaku nasycené vodní páry při stejné teplotě
Měrná vlhkost	Vyjadřuje poměr hmotnosti vodní páry a suchého vzduchu. Jednotkou je g/kg s.v.
Mollierův diagram (Hx diagram)	Stavový diagram ukazující vzájemnou závislost vlhkosti vzduchu a teploty při izobarických dějích.
100 % relativní vlhkost	Kondenzace vodní páry. Při dosažení těchto podmínek dochází ke kondenzaci vodních par.
80 % relativní vlhkost	Riziko vzniku plísní. Nelze říci, že tato teplota automaticky zaručí výskyt plísní, záleží na době působení těchto okrajových podmínek či materiálu konstrukce.
65 % relativní vlhkost	Potenciální riziko vzniku plísní. Nelze říci, že tato teplota automaticky zaručí výskyt plísní, záleží na době působení těchto okrajových podmínek či materiálu konstrukce.
Kritické podmínky	Podmínky, které se nacházejí v blízkosti stavební konstrukce a během nich dochází ke vzniku plísní či kondenzaci vodní páry.
TEPELNÉ PROCESY/VLASTNOSTI	
Tepelné procesy	Proces = postupný děj nebo změna, posloupnost stavů nějakého systému, tepelný proces = související se změnou termodynamického stavu hmoty
Tepelný tok	Teplo přenesené plochou za jednotku času. Je definován diferenciálním podílem tepla dq , které projde nějakou plochou (průřezem) s za čas dt a tohoto času.
Hustota tepelného toku	Předpis pro hustotu tepelného toku v homogenním materiálu se nazývá 1. Fourierův zákon. Hustota tepelného toku je úměrná teplotnímu gradientu a má opačný směr než vektor teplotního gradientu.
Tepelný most= tepelná vazba	Část obálky budovy, kdy se jinak jednotný tepelný odpor významně mění působením materiálů s odlišnou tepelnou vodivostí, které buď zcela, nebo částečně prostupují obálkou budovy, a/nebo změnou tloušťky ve skladbě, a/nebo rozdílem mezi vnitřní a vnější plochou, jak je tomu v případě návaznosti styků stěna/podlaha/strop
Nežádoucí jev	Fakt, proces nebo událost, kterou je možno smyslově pozorovat.
Izogramy	Čára spojující místa se stejnými hodnotami měrné vlhkosti.
Izolinie	Čáry na mapě nebo v grafu, které spojují místa se stejnými hodnotami dané fyzikální, sociometrické nebo jiné veličiny.

Plíseň	Plíseň je typ mikroskopických vláknitých hub, které tvoří rozvětvené vláknité mycelium.
Izoterma	Čára spojující místa se stejnými hodnotami teploty.
Izovapora	Čára spojující místa se stejnými hodnotami tlaku vodní páry.
Izohumida	Čára spojující místa se stejnými hodnotami relativní vlhkosti vzduchu.
Vlhkostní tok	Podíl hmotnosti vlhkosti proudící do nebo ze systému a času
Hustota vlhkostního toku	Podíl vlhkostního toku a plochy
Faktor difúzního odporu	Podíl součinitele difúze vodní páry ve vzduchu, D , a propustnosti vodní páry δ_v , pórovitého materiálu
Kritická povrchová teplota	Taková teplota povrchu konstrukce, při které je možné riziko vzniku plísní či kondenzace vodní páry.
Teplotní faktor	Používá se pro hodnocení požadavků na vnitřní povrchovou teplotu dle ČSN 73 0540-2. Poměrná veličina, která je na rozdíl od vnitřní povrchové teploty vlastností konstrukce a nezávisí na působících teplotách.
VLHKOSTNÍ PROCESY/VLASTNOSTI	
Kritická vnitřní povrchová vlhkost	relativní vlhkost vzduchu bezprostředně při vnitřním povrchu konstrukce, která představuje výchozí úroveň pro stanovení požadované hodnoty. Nesmí být pro danou konstrukci a teplotu a relativní vlhkost vnitřního vzduchu překročena. Pro výplně otvorů je kritická povrchová vlhkost $\varphi_{si,cr} = 100\%$ (riziko orosování), pro ostatní konstrukce je kritická vnitřní povrchová vlhkost $\varphi_{si,cr} = 80\%$ (riziko růstu plísní).
Částečný tlak nasycené vodní páry při teplotě rosného bodu	Tlak vodní páry stanovený pro teplotu rosného bodu o dané teplotě a relativní vlhkosti.
Částečný tlak vodní páry	Částečný tlak vodní páry v plynné směsi stanovený pro konkrétní relativní vlhkost a teplotu.
Kondenzace vodní páry	Nastává při dosažení teploty rosného bodu, tj. vzduch je plně nasycen vodou a dochází ke kondenzaci (vzniku) vodních kapiček.
Vodní pára	Plynné skupenství vody, která se nachází v okolním prostředí a během kondenzace se vyskytuje ve formě malých aerosolových kapiček.
Difuze vodní páry	Pohyb molekul vodní páry ve směsi vzduchu směřující k vyrovnání obsahu vodní páry ve vzduchu nebo částečného tlaku vodní páry, při konstantním celkovém tlaku
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	
Experimentální měření	Relativní schopnost vrstvy materiálu, propouštět vodní páru difuzí, je poměrem difuzního odporu materiálu a difuzního odporu vrstvy vzduchu o téže tloušťce.
Dlouhodobé měření in situ	Měření reálných konstrukcí pomocí teploměrů a vlhkoměrů zaznamenávající data v delším časovém úseku (dny až měsíce)
Tepelně vlhkostní procesy ve stavební konstrukci	Procesy související s přenosem tepla a vlhkosti v oblasti stavebních konstrukcí.
Relativní vlhkost	Relativní vlhkost ϕ , rh - Relativní vlhkost vzduchu ϕ je odvozenou experimentálně měřitelnou veličinou. - definována poměrem parciálního tlaku vodní páry a parciálního tlaku nasycené vodní páry při konstantní teplotě – alternativně definovatelná poměrem absolutní vlhkosti daného vzduchu k absolutní vlhkosti nasyceného vzduchu při stejné teplotě. V podstatě vyjadřuje míru nasycení vzduchu vodní parou, tj. jak je vzdálený k nasycení.

Teplotní faktor vnitřního povrchu	Rozdíl mezi vnitřní povrchovou teplotou a teplotou vnějšího vzduchu dělený rozdílem mezi vnitřní operativní teplotou a teplotou vnějšího vzduchu
Nejnižší přípustná teplota	Nejnižší vnitřní povrchová teplota předcházející možnému počátku růstu plísní
Dvojměrný geometrický model 2-D geometrický model	Geometrický model odvozený ze stavební dokumentace budovy, ve kterém se uvnitř hranic modelu nemění příčné řezy kolmé na jednu ze tří ortogonálních os
Teplota rosného bodu	Teplota, při které je vzduchu vodní párou právě nasycen.

ZDROJE [26] [22] [32] [26] [116] [61]

SEZNAM SOFTWARE POUŽITÝ PRO PRÁCI

Microsoft Word, Excel

Autocad

WUFI 2D

Testo IRsoft

Datalogery

Online aplikace www.museum.saveris.cz

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Popis konstrukce ostění u konstrukce dvojitého okna	20
Obr. 2: Popis konstrukce ostění u jednoduchého okna.....	20
Obr. 3: Dvojité okno, vyznačená plocha vnitřního ostění (červeně), mezi ostění (zeleně) a vnějšího ostění.....	21
Obr. 4: Obnažené ostění původního dvojitého okna	22
Obr. 5: Názorné porovnání kolik obsahuje vzduch vody při 50 % (20 °C) a při 80 % (0 °C) [37].....	24
Obr. 6: Sterling-Scofieldův diagram (1985) [39].....	25
Obr. 7: Grafické vyjádření šíření tepla stavebním prvkem [50].....	28
Obr. 8: Tepelná bilance vnitřního povrchu konstrukce [50]	29
Obr. 9: Tepelná bilance vnějšího povrchu konstrukce [50]	29
Obr. 10: Grafické vyjádření šíření vlhkosti stavebním prvkem [50].....	34
Obr. 11: Tepelné podmínky ostění konstrukce dvojitého okna, nízké ochlazení vnitřního ostění, außen = venkovní [55]	35
Obr. 12: Tepelné podmínky ostění jednoduchého okna, významné ochlazení vnitřního ostění, außen = venkovní, Gefahr von Schimmelbildung = riziko vzniku plísní [55].....	35
Obr. 13: Grafické nasycení vzduchu vodní párou, A –znázornění 50 % relativní vlhkosti při 20 °C, B - znázornění 90 % relativní vlhkosti při 10 °C, C – 100 % relativní vlhkost při 5 °C [52]	39
Obr. 14: Projev kondenzace na zasklívací spáře okenní konstrukce.....	41
Obr. 15: Projev kondenzace na vnitřním rámu okna.....	41
Obr. 16: Projev plísní na dřevěné konstrukci okna	41
Obr. 17: Projev černé plísně na zasklívací spáře.....	41
Obr. 18: Připojovací spára – rozložení relativní vlhkosti po konstrukci, vlevo připojovací spára bez použití parotěsných a paropropustných uzávěrů, vpravo konstrukce s uzávěry [71].....	43
Obr. 19: Zateplení prostoru pod dřevěnou špaletou, konstrukce dvojitého okna před instalací do objektu	44
Obr. 20: Zateplení prostoru pod dřevěnou špaletou, konstrukce dvojitého okna před instalací do objektu	44
Obr. 21: Výpočet teploty rosného bodu (formulář v programu Excel)	46
Obr. 22: Program (aplikace) pro výpočet kritických povrchových teplot.....	46
Obr. 23: Ostění u původní konstrukce dvojitého okna, části ostění: vnitřní, mezi, vnější	50
Obr. 24: Ostění u novodobé konstrukce dvojitého okna, části ostění: vnitřní, mezi, vnější	50
Obr. 25: Ostění u novodobé konstrukce dvojitého okna, části ostění: vnitřní, špaleta a vnější	51
Obr. 26: Ostění u novodobé konstrukce jednoduchého okna na místě původního dvojitého okna, části ostění: vnitřní a vnější.....	51
Obr. 27: Vybourání parapetní části okna.....	51
Obr. 28: Stavební otvor po vybourání okenní konstrukce (stavební konstrukce je z 30. let 20. století)	51
Obr. 29: Detailní fotografie tvaru a stavu ostění	52
Obr. 30: Detail dřevěného ostění dvojitého okna.....	52
Obr. 31: Osazená konstrukce měřicími zařízeními	52
Obr. 32: Detail měřicího zařízení, D4130, COMET SYSTEM [96].....	52
Obr. 33: Měřicí zařízení in situ, typ S3120 [85]	53
Obr. 34: Detail měřicího zařízení, s příložnou sondou (A) a teplotní sondou (B), typ S3120 [85]	53
Obr. 35: Detail konstrukce ostění dvojitého okna se sondami, vodorovný řez	53
Obr. 36: Pohled na měřené okno, umístění sond.....	53
Obr. 37: Projev plísně na vnitřním ostění okna.....	78
Obr. 38: Významný projev plísně na vnitřním ostění okna.....	78
Obr. 39: Měření povrchové kritické teploty in situ, zobrazení aktuální povrchové teploty 11,9 °C.....	78
Obr. 40: Měření povrchové kritické teploty in situ, zobrazení aktuální povrchové vlhkosti, hodnota je 0,99 vyjádřením přepočtu k rosnému bodu okolního mikroklima (1 = 100 % kondenzace na měřeném povrchu.....	78

Obr. 41: Termogram vnitřního ostění, levý dolní roh, minimální teplota 6,8°C.....	79
Obr. 42: Reálný obrázek ostění konstrukce, detail obrázku (plísň u oken) je na předcházejícím	79
Obr. 43: Termogram vnitřního ostění dvojitého okna, levý dolní roh, minimální teplota 6,8 °C	80
Obr. 44: Histogram průběhu povrchových teplot na ostění, svislá osa značí povrchovou teplotu, šířka vnitřního ostění	80
Obr. 45: Termogram ostění špalety dvojitého okna vsazený do reálné fotografie okna, zobrazení povrchové relativní vlhkosti, zelená čára= hranice 80 % relativní vlhkosti, červená barva= 100 % kondenzace vodní páry	80
Obr. 46: Model 1 - půdorys předmětné konstrukce.....	84
Obr. 47: Model 1 - fotografie reálné konstrukce, podklad pro zaměření	84
Obr. 48: Model 2 - půdorys předmětné konstrukce.....	85
Obr. 49: Model 2 - fotografie reálné konstrukce, podklad pro zaměření	85
Obr. 50: Výpočtový model, dvojité okno.....	88
Obr. 51: Výpočtový model, jednoduché okno	88

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Průběh měrné vlhkosti v interiéru (červeně), ve špaletě (zeleně) a v exteriéru (modře)	24
Graf 2: Průběh částečného tlaku vodní páry v interiéru (červeně), ve špaletě (zeleně) a v exteriéru (modře)	24
Graf 3: Interní složky obytných budov, zastoupení vyjádřené v procentech [38].....	25
Graf 4: Tepelně vlhkostní složky vyjádřené v procentech [38]	25
Graf 5: Vyjádření povrchové teploty na grafu ve vztahu ke kritickým hodnotám kondenzace vodní páry a rizika vzniku plísní dle Bauphysik und Denkmalpflege, Raumlufttemperatur= teplota vzduchu místnosti, Taupunkttemperatur=teplota rosného bodu, Relative Feuchte = relativní vlhkost, zunehmend stärker beheizt= neustále více zahříváné, absolute Luftfeuchte steigt = absolutní vlhkost stoupá, relative Luftfeuchte sinkt = relativní vlhkost vzduchu klesá [21].....	31
Graf 6: Mollierův diagram (Hx diagram), znázornění parametru interiéru (20 °C; 50 %), ve špaletě (14 °C; 65 %), exteriér (-13 °C; 84 %) [45].....	33
Graf 7: Závislost teploty rosného bodu a různé relativní vlhkosti ve vztahu k rosnému bodu, dle Hx diagramu při teplotě 20 °C [45]	38
Graf 8: Ukázka grafu z monitorování stavební konstrukce, experimentální měření č. 8	57
Graf 9: Porovnání naměřených hodnot mikroklimat interiérů experimentálních měření.....	60
Graf 10: Porovnání naměřených hodnot relativních vlhkostí interiérů experimentálních měření	60
Graf 11: Porovnání naměřených hodnot měrných vlhkostí interiérů experimentálních měření	61
Graf 12: Průběh měrných vlhkostí vzduchu, mikroklima u konstrukce dvojitěho okna s dvojsklem na vnitřním křídle okna, experimentální měření č. 10.....	61
Graf 13: Průběh měrných vlhkostí vzduchu u konstrukce s dvojsklem na vnějším křídle okna, experimentální měření č. 11	62
Graf 14: Průběh naměřených teplot na konstrukci, experimentální měření č.12	65
Graf 15: Závislost naměřených povrchových teplot vnitřního ostění na potenciálním riziku vzniku plísní, experimentální měření č. 1, 3, 8, 9 a 12.....	66
Graf 16: Korelace povrchové teploty konstrukce vnitřního ostění na jednotlivých mikroklimatech... ..	66
Graf 17: Roční průběh teplot pod špaletou na monitorované konstrukci, měření č. 1	69
Graf 18: Závislost naměřených povrchových teplot špalety na potenciálním riziku vzniku plísní, experimentální měření č. 3, 4, 8, 9 a 10.....	70
Graf 19: Porovnání povrchových teplot vnitřního ostění a povrchu špalety na experimentálním měření č. 8	73
Graf 20: Výrazné zvýšení rosného bodu v interiéru během noci, experimentální měření č. 13	74
Graf 21: průběh naměřených teplot povrchů a mikroklimat, měření číslo 8.....	75
Graf 22: Zobrazení naměřených povrchových teplot dřevěné špalety dvojitých oken z dlouhodobých měření č. 9 (historické dvojitě okno) a č. 10 (nové dvojitě okno s dvojsklem na vnitřním křídle okna)	76
Graf 23: Zobrazení naměřených povrchových teplot dřevěné špalety dvojitých oken z dlouhodobých měření č. 3 (historické dvojitě okno) a č. 4 (nové dvojitě okno s jednoduchým zasklením).....	77
Graf 24: Hustota tepelného toku na jednotlivých prvcích konstrukce, dvojitě historické okno.....	92
Graf 25: Hustota tepelného toku na jednotlivých prvcích konstrukce, jednoduché okno s dvojsklem	92
Graf 26: Hustota vlhkostního toku na jednotlivých prvcích konstrukce, dvojitě historické okno	92
Graf 27: Hustota vlhkostního toku, jednoduché okno.....	92
Graf 28: Porovnání povrchové teploty a relativní vlhkosti na severní a jižní fasádě	94
Graf 29: Porovnání oblasti pod špaletou v závislosti na rozdílném provedení	95
Graf 30: Porovnání průměrných hodnot povrchové teploty vnitřního ostění během modelového roku	96
Graf 31: Porovnání průměrných hodnot hustot tepelného toku vnitřního ostění během modelového roku.....	96

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Počet článků v databázi Science Direct v letech 2015 až 2020	15
Tabulka 2: Náznorná schémata různých typů ostění dle tvaru ostění.....	21
Tabulka 3: Materiálové charakteristiky dle databáze Svoboda Software Teplo verze 2017 [36].....	23
Tabulka 4: Porovnání vlhkosti v různých vysokých místnostech při shodné měrné vlhkosti	26
Tabulka 5: Jak se zvýší dodaný zdroj vlhkosti ve špaletě (květina) celkovou vlhkost v prostoru.....	26
Tabulka 6: Přehled teplotních oblastí v ČR	27
Tabulka 7: Typické hodnoty přestupu tepla na vnitřním povrchu	29
Tabulka 8: Typické hodnoty přestupu tepla na vnějším povrchu	30
Tabulka 9: Zjednodušené vztahy pro výpočet zdánlivé teploty oblohy.....	30
Tabulka 10: Hodnotící kritéria teplotního faktoru pro teplotu exteriéru -13 °C a -20 °C a podmínky interiéru 20 °C a 50 %.....	31
Tabulka 11: Popis vybraných veličin na Mollierově diagramu	33
Tabulka 12: Kritické veličiny a jejich vyjádření v diagramu.....	34
Tabulka 13: Závislosti jednotlivých parametrů vzduchu	34
Tabulka 14: Závislosti jednotlivých parametrů vzduchu	34
Tabulka 15: Závislosti jednotlivých parametrů vzduchu.....	35
Tabulka 16: Ukázka průběhu sledovaných parametrů v řezu konstrukce ostění při extrémních návrhových podmínkách.....	36
Tabulka 17: Podmínky materiálu pro vznik nežádoucích jevů na povrchu konstrukce.....	37
Tabulka 18: Souhrn plísní, které se vyskytují ve vnitřním prostředí staveb [63] [64].....	40
Tabulka 19: Přehled možných přístupů rekonstrukcí s vlivem na ostění oken.....	42
Tabulka 20: Vyjádření vzorců pro výpočet kritické vnitřní povrchové teploty	46
Tabulka 21: Vyjádření vzorců pro výpočet měrné vlhkosti vzduchu	47
Tabulka 22: Přehled měřených typů konstrukcí	50
Tabulka 23: Přehled měření in situ, stručný popis (2015 - 2020).....	54
Tabulka 24: Přehled měření in situ, rozdělení konstrukcí dle grafického schématu	55
Tabulka 25: Přehled souhrnných období měření in-situ během let 2015-2020, kdy probíhalo měření.....	56
Tabulka 26: Přehled monitorovaných konstrukcí ostění.....	55
Tabulka 27: Souhrnná tabulka naměřených dat mikroklimat experimentálních měření č. 1 až 6	58
Tabulka 28: Souhrnná tabulka naměřených dat mikroklimat experimentálních měření č. 7 až 13	58
Tabulka 29: Souhrnná tabulka naměřených dat povrchových teplot experimentálních měření č. 1 až 6	59
Tabulka 30: Souhrnná tabulka naměřených dat povrchových teplot experimentálních měření č. 7 až 13	59
Tabulka 31: Korelace naměřených hodnot mezi jednotlivými mikroklimaty	63
Tabulka 32: Naměřené nejnižší a nejkritičtější povrchové teploty vnitřního ostění.....	64
Tabulka 33: Naměřené nejnižší a nejkritičtější povrchové teploty vnitřního ostění dle procentuálního zastoupení během sledovaného období.....	67
Tabulka 34: Hodnoty teplotního faktoru povrchu vnitřního ostění pro všechny měření.....	67
Tabulka 35: Hodnoty teplotního faktoru povrchu vnitřního ostění	68
Tabulka 36: Přehled kritických hodnot relativních vlhkostí mikroklima špalety ve vztahu k časovému období	71
Tabulka 37: Vnitřní dřevěné ostění oken, podmínky, kterému byl materiál (dřevo) vystaveno.....	72
Tabulka 38: Naměřené parametry mikroklima	74
Tabulka 39: Vyhodnocení plísní na povrchu ostění v interiéru ložnice	79
Tabulka 40: Přehled všech variant modelovaných konstrukcí.....	85
Tabulka 41: Přehled analyzovaných parametrů.....	86
Tabulka 42: Přehled okrajových podmínek pro modelové výpočty	87
Tabulka 43: Součinitel prostupu tepla konstrukcemi [8]	87
Tabulka 44: Modely bez zateplení obvodové stěny.....	88
Tabulka 45: Modely se zateplením obvodové stěny.....	88
Tabulka 46: Modely se zateplením dřevěné špalety v ostění.....	89
Tabulka 47: Modely se zateplením vnitřního ostění.....	89

Tabulka 48: Porovnání výsledků hustot tepelných toků na vnitřním ostění oken	90
Tabulka 49: Porovnání výsledků ustáleného modelování povrchu vnitřního ostění u variant okenních konstrukcí.....	93
Tabulka 50: Minimální, maximální a průměrné hodnoty dynamické modelace v předchozím grafu .	94
Tabulka 51: Minimální, maximální a průměrné hodnoty dynamické modelace v předchozím Graf 29	95

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] L. Hejný, “Tepelně technické vlastnosti rámu okenní výplně a přípojovací spáry,” Vysoké učení technické v Brně, 2015.
- [2] P. Usvald, “Konstrukční varianty oken a jejich vliv na tepelně technické vlastnosti v historických budovách,” Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 2009.
- [3] P. Kasal, “Předsazená montáž oken,” České vysoké učení technické v Praze, 2019.
- [4] “Národní památkový ústav.” <https://www.npu.cz/cs>.
- [5] “Pečujeme o historická okna a dveře - Národní památkový ústav.” <http://npucz.temp141.imagic.cz/pro-vlastniky/stavebni-a-restauratorske-prace/pecujeme-o-historicka-okna-a-dvere/> (accessed Jan. 21, 2021).
- [6] A. Schubert, *Péče o výplně historických okenních a dveřních otvorů*. Praha: Národní památkový ústav, 2004.
- [7] M. Šolc, M. Navrátil, V. Loutocká, G. Kurtis, and P. Svoboda, *Repliky oken v památkových zónách*, 1. vydání. Brno: Národní památkový ústav, 2016.
- [8] M. Báčová, *Obnova okenních výplní a výkladců*, 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, 2010.
- [9] M. Papranec, “Vliv parametrů vnitřního prostředí na vznik kondenzačních oblastí,” Vysoké učení technické v Brně, 2011.
- [10] M. Papranec and D. Bečkovský, “Faktory ovlivňující vnitřní povrchovou teplotu a kondenzaci povrchu konstrukcí-Díl 1.,” *Tzb-info*, 2012. <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/9134-faktory-ovlivnujici-vnitri-povrchovou-teplotu-a-kondenzaci-na-povrchu-konstrukci-dil-1>.
- [11] P. Slanina, “Nejnižší povrchová teplota výplní otvorů,” *Časopis stavebnictví*, vol. 6, no. 06–07, pp. 28–34, 2012.
- [12] “Společnost STOP.” <https://www.pamatky-stop.cz/>.
- [13] “Okna historických budov,” in *Zpravodaj STOP, svazek 18, č.2*, 2014, p. 80.
- [14] Kolektiv autoru, “Seminář Okna historických budov II,” in *Seminář Okna historických budov II*, 2015, p. 43.
- [15] B. Nagy and C. Tömböly, “Hygrothermal Analysis of window construction joints,” in *Zbornik radova Građevinskog fakulteta*, 2018, vol. 34, pp. 91–100, doi: 10.14415/konferencijaGFS2018.008.
- [16] T. Kalamees, “Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges,” in *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, 2006, pp. 218–229.
- [17] A. Palková, M. Palko, and P. Buday, “Moisture problems of functional joints of wooden windows – causes analysis,” in *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 146, p. 3015, doi: 10.1051/mateconf/201814603015.
- [18] M. Krus, R. Kilian, and K. Sedlbauer, “Mould growth prediction by computational simulation on historic buildings,” in *Museum Microclimates*, Jan. 2007.
- [19] J. Adamus and M. Pomada, “Analysis of heat flow in composite structures used in window installation,” in *Composite Structures*, Oct. 2018, vol. 202, pp. 127–135, doi: 10.1016/j.compstruct.2017.12.077.
- [20] A. Konstantinov and A. Mukhin, “Providing thermal protection when replacing window blocks in historical buildings,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 177, p. 12019, doi: 10.1088/1755-1315/177/1/012019.
- [21] H. Künzel, *Bauphysik und Denkmalpflege*, 2 ed. Fraunhofer IRB Verlag, 2015.
- [22] ČSN 73 0540-1 *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [23] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [24] ČSN 73 0540-3 *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [25] ČSN 73 0540-4 *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha: ÚNMZ, 2005.
- [26] ČSN EN ISO 9346 *Tepelně vlhkostní chování budov a stavebních materiálů - Fyzikální veličiny pro přenos hmoty - Slovník*, 2008th ed., Praha: ÚNMZ, 2008.
- [27] ČSN EN ISO 10211 *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Teplené toky a povrchové teploty - podrobné výpočty*. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [28] ČSN EN 15026 *Hodnocení šíření vlhkosti stavebními dílci pomocí numerické simulace*. Praha:

- ÚNMZ, 2007.
- [29] ČSN EN ISO 13788 - *Tepelně-vlhkostní chování stavebních konstrukcí a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody*. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [30] ČSN EN ISO 10077-1 *Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 1: Obecně*. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [31] ČSN EN ISO 10077-2 *Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 2: Výpočtová metoda pro rámy*. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [32] ČSN EN 12519 *Okna a dveře - Terminologie*. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [33] O. Šefců, *Architektura, Lexikon architektonických prvků a stavebního řemesla*. Praha: Grada, 2013.
- [34] S. Buchta, "Dřevo a vnitřní prostředí staveb," VUT Brno, 2013.
- [35] V. Heřmánková, O. Anton, and T. Komárková, "Závislost fyzikálních a mechanických vlastností konstrukčního smrkového dřeva na vlhkosti," *Tzb-info*, 2018. <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/16872-zavislost-fyzikalnich-a-mechanickych-vlastnosti-konstrukcniho-smrkoveho-dreva-na-vlhkosti>.
- [36] S. Software, "Svoboda software Teplo."
- [37] "Vznik plísní a srážení vodní páry ve zdech v otázkách a odpovědích." <https://www.izolace-info.cz/aktuality/8779-vznik-plisni-a-srazeni-vodni-pary-ve-zdech-v-otazkach-a-odpovedich-a.html#.X81SwdhKjb0>.
- [38] H. Doležilková, "Větrání a optimalizace vnitřního prostředí obytných budov," 2007. [Online]. Available: http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/55/TZ31_VETRANI.pdf.
- [39] P. Andres, "Vlhkost vzduchu a hygiena prostředí," *Tzb-info*, 2018. <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/18142-vlhkost-vzduchu-a-hygiena-prostredi>.
- [40] *Vyhláška č. 6/2003_Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb*. 2003.
- [41] H. Doležilková, "Bytové větrání ve vztahu k produkci CO₂, vlhkosti a škodlivin," *Tzb-info*, 2006. <https://www.tzb-info.cz/3029-bytove-vetrani-ve-vztahu-k-produkci-co2-vlhkosti-a-skodlivin-i>.
- [42] R. Kilian, T. Vyhliďal, and T. Broström, "Developments in climate control of historic buildings." Fraunhofer IRB Verlag, p. 91, 2010.
- [43] K. Vaňková, "Optimalizace vnitřního prostředí historické místnosti," Vysoké učení technické v Brně, 2016.
- [44] M. Lyzsacz, "Interní mikroklima v historických objektech, Využití adaptivního větrání pro úpravu tepelně-vlhkostní složky," ČVUT, 2019.
- [45] J. Hřebec, "HX diagram - program Excel." [Online]. Available: <http://www.cic.cz/ke-stazeni/>.
- [46] J. Solař, "Řešení problematiky povrchové kondenzace vodní páry," *Tzb-info*, 2010. <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/6541-reseni-problematiky-povrchove-kondenzace-vodni-pary>.
- [47] F. Kulhánek, *Stavební fyzika II*, Vyd. 4., P. V Praze: České vysoké učení technické, 2009.
- [48] "Český hydrometeorologický ústav - měsíční přehledy pozorování." <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-prehledy-pozorovani#>.
- [49] "Meteorologická stanice České zemědělské univerzity v Praze." <http://meteostanice.agrobiologie.cz/>.
- [50] P. Kopecký, "Materiál a konstrukce." České vysoké učení technické v Praze, Praha, p. 165, 2014.
- [51] ČSN 6946 - *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - výpočtov metody*. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [52] M. Papranec, "Faktory ovlivňující vnitřní povrchovou teplotu a kondenzaci povrchu konstrukcí-Díl 1.," *Tzb-info*, 2012, [Online]. Available: <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/9134-faktory-ovlivnujici-vnitri-povrchovou-teplotu-a-kondenzaci-na-povrchu-konstrukci-dil-1>.
- [53] J. Schwarzer, "Teorie vlhkého vzduchu (II) - Tzb-info," *Tzb-info*. <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3353-teorie-vlhkeho-vzduchu-ii>.
- [54] V. Jelínek, "Difúzní tok a kondenzace vodní páry v konstrukci stěny – část 1 – Vlhký vzduch a vznik difúzního toku - Tzb-info," *Tzb-info*, 2010. <https://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku>.

- [55] Autirenteam, *Energie und Baudenkmal. 2 Fenster und Türen*. Kantonale Denkmalpflege Bern und Kantonale Denkmalpflege, 2014.
- [56] Svoboda software, “Svoboda software AREA 2017.”
- [57] Fraunhofer institute, “WUFI.” [Online]. Available: <https://wufi.de/en/about-us/fraunhofer-institute-for-building-physics/>.
- [58] A. Selucká *et al.*, *Metodika uchovávání předmětů kulturní povahy*. Brno: Technické muzeum v Brně, 2018.
- [59] D. Sýkora, “Jak na jaře a v létě odhalit nebezpečí plísní v interiéru a rosení oken v zimě?,” *Tzb-info*, 2014. <https://www.tzb-info.cz/udrzba-budov/11747-jak-na-jare-a-v-lete-odhalit-nebezpeci-plisni-v-interieru-a-rozeni-oken-v-zime>.
- [60] M. Balík, *Odvlhčování staveb*, 2., přepra. Praha: Grada, 2008.
- [61] Masarykova univerzita v Brně, “Úvod do hub.” <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/ps06/mikroorg/web/uvod-h.htm>.
- [62] O. Rubinová, A. Rubina, J. Bernard, and L. Frič, “Mikrobiální mikroklima budov (I),” *Tzb-info*, 2015. <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/12819-mikrobalni-mikroklima-budov-i>.
- [63] Kolektiv autoru, “Ročenka STOP 2018,” 2018. Accessed: Jan. 25, 2021. [Online]. Available: https://www.pamatky-stop.cz/wp-content/uploads/2019/10/Rocenka_STOP_2018.pdf.
- [64] J. Čech, T. Klečka, and L. Kudrnáčová, “Znalecký posudek - Posouzení poruch obvodového zdiva bytu č. 9 ve 3.podlaží, U plynárny č.p. 310, Nová Role,” Praha, 2019.
- [65] J. Včelák, D. Adamovský, J. Mrňa, A. Vodička, and M. Maška, “Platforma pro monitoring vnitřního prostředí,” *Tzb-info*, 2017. <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/15755-platforma-pro-monitoring-vnitriho-prostredi>.
- [66] R. Jiráček, “Doba kondenzace vodních par v oblasti zasklívací spáry okenních konstrukcí,” *Tzb-info*, 2013. <https://stavba.tzb-info.cz/tepelnotechnicke-vlastnosti-oken-a-dveri/10361-doba-kondenzace-vodnich-par-v-oblasti-zasklivaci-spary-okennich-konstrukci>
- [67] R. Jiráček, “Roh zasklívací jednotky - metodika pro odah frsí v rohu zasklení,” *Tzb-info*, 2015. <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/12789-roh-zasklivaci-jednotky-metodika-pro-odhad-frsi-v-rohu-zaskleni>.
- [68] M. Růžička, *Moderní dřevostavba*, 1. vyd. Praha: Grada, 2014.
- [69] R. Šubrt and Z. Petřtyl, “Provedení přípojovací spáry - TZB-info.” <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/293-provedeni-pripojovaci-spary>
- [70] R. Šubrt and Z. Petřtyl, “Přípojovací spára,” *Tzb-info*. <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/292-pripojovaci-spara>.
- [71] “Přípojovací spára oken a dveří.” <http://www.inkapo.cz/odborna-sekce/okna-a-dvere/pripojovaci-spara>.
- [72] P. Rydlo, “Časté chyby u napojení oken a dveří na stěnu a zateplovací systém,” *Tzb-info*, 2015. <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/12759-caste-chyby-u-napojeni-oken-a-dveri-na-stenu-a-zateplovaci-system>.
- [73] ČSN 74 6077 - *Okna a vnější dveře - Požadavky na zabudování*. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [74] R. Čemus, “Montáž oken konečně s vlastní prováděcí normou ČSN 74 6077,” *Tzb-info*, 2014. <https://stavba.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-okna-dvere/11293-montaz-oken-konecne-s-vlastni-provadeci-normou-csn-74-6077>.
- [75] M. Koukal, “Vnitřní zateplení historických budov,” *Tzb-info*, 2014. <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/11841-vnitri-zatepleni-historicky-ch-budov> (accessed Dec. 08, 2020).
- [76] S, “Vybrané konstrukční detaily při zateplování obvodového pláště budovy.” <https://stavba.tzb-info.cz/zateplovaci-systemy/16334-vybrane-konstrukcni-detaily-pri-zateplovani-obvodoveho-plaste-budovy> (accessed Dec. 08, 2020).
- [77] V. Novák, J. Zach, and J. Plachý, “Využití vakuových izolací při sanacích problematických detailů stavebních konstrukcí,” *Tzb-info*, 2019. <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/18746-vyuziti-vakuovych-izolaci-pri-sanacich-problematickych-detailu-stavebnich-konstrukci> (accessed Dec. 08, 2020).
- [78] P. Pohl, “Dvojité okno – problematika návrhu a realizace výměny okna s popuštěným vnějším překladem - TZB-info,” *Tzb-info*, 2015. <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-okna/12683-dvojite-okno-problematika-navrhu-a-realizace-vymeny-okna-s-popustenym-vnejsim-prekladem>

- [79] V. Kočí, Ed., *Diagnostika technických předpokladů pro aplikaci vnitřního zateplení v oblasti architektonického dědictví*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2020.
- [80] “Vady při obnově výplní otvorů u budov v památkových zónách,” *Tzb-info*. <https://stavba.tzb-info.cz/okna-dvere/12817-vady-pri-obnove-vyplni-otvoru-u-budov-v-pamatkovych-zonach>
- [81] M. Černý and M. Němeček, *Mikroklima v historických interiérech*, 1. vyd. Praha: Národní památkový ústav, 2011.
- [82] F. Mrlík, “Problematika průvzdušnosti a vzduchotěsnosti oken,” *Tzb-info*, 2000. <https://stavba.tzb-info.cz/tepelnetechnicke-vlastnosti-oken-a-dveri/12501-problematika-pruvzdusnosti-a-vzduchotesnosti-oken-i>.
- [83] “Visual studio Microsoft.” <https://visualstudio.microsoft.com/cs/>.
- [84] J. Schwarzer, “Teorie vlhkého vzduchu (I) - Úvod a vyjádření vlhkosti vzduchu,” *Tzb-info*. 2006, Accessed: Feb. 01, 2021. [Online]. Available: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>.
- [85] “COMET SYSTEM, s.r.o.- tradiční výrobce měřicí techniky.” <https://www.cometsystem.com/>.
- [86] “Testo - Měřicí přístroje.” <https://www.testo.com/cz-CZ/>.
- [87] L. Balík, L. Kudrnáčová, Z. Pavlík, and R. Černý, “Application of infrared thermography in complex moisture inspection of the Schebek Palace,” in *AIP Conference Proceedings 1866, 040002 (2017)*, 2007, p. 6, doi: 10.1063/1.4994482.
- [88] *ČSN EN 13187 - Tepelné chování budov - Kvalitativní určení tepelných nepravidelností v pláštích budov - Infračervená metoda*, Praha: ÚNMZ, 1999.
- [89] *ČSN ISO 18434-1 Monitorování stavu a diagnostika strojů - Termografie - Část 1: Všeobecné postupy*, Praha: ÚNMZ, 2009.
- [90] K. Papež and M. Němeček, “Úprava vzduchu v historických objektech,” *Vytápění, větrání, Instal.*, vol. 10, no. 4, pp. 150–159, 2001.
- [91] G. B. A. Coelho, H. E. Silva, and F. M. A. Henriques, “Calibrated hygrothermal simulation models for historical buildings,” in *Building and Environment*, 2018, vol. 142, pp. 439–450, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.06.034.
- [92] M. Drdácky, J. Lesák, and J. Válek, “Pokročilé technologie průzkumů historických konstrukcí,” in *Prispevek technických ved k zachrane a restaurovani pamatek*, 2015, pp. 222–242, doi: 10.21495/49-9.220-240.
- [93] M. Palko, A. Palková, and A. Puškár, “Analysis of water vapour condensation in gap between casement and window frame of wooden windows,” *Wood Res.*, vol. 57, no. 4, pp. 581–590, 2011, [Online]. Available: <http://www.woodresearch.sk/wr/201204/08.pdf>.
- [94] T. Odgaard, S. P. Bjarløv, and C. Rode, “Interior insulation – Experimental investigation of hygrothermal conditions and damage evaluation of solid masonry façades in a listed building,” *Build. Environ.*, vol. 129, pp. 1–14, 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.11.015.
- [95] “Teploměr - vlhkoměr - technická data Comet S3120.” https://www.cometsystem.cz/produkty/reg-s3120#tab_download.
- [96] “Teploměr - vlhkoměr - barometr D4130.” <https://www.cometsystem.cz/produkty/teplomer-vlhkomer-barometr/reg-d4130>.
- [97] “Testo - WiFi záznamníky.” <https://www.testo.com/cz-CZ/products/wifi-zaznamniky-testo>.
- [98] “Testo cloud - online úložiště dat.” <https://www.museum.saveris.net/users/login>.
- [99] M. Holický, *Aplikace teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky*, 1. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2015.
- [100] L. Kudrnáčová, “Výpočtová aplikace kritických povrchových teplot.” 2016.
- [101] L. Balík, L. Kudrnáčová, Z. Pavlík, and R. Černý, “Microclimate of a former treasury in Cathedral of Assumption of Our Lady and Saint John the Baptist in Sedlec — Long-time analysis,” in *AIP Conference Proceedings 1988*, 2018, p. 6, doi: 10.1063/1.5047605.
- [102] Z. Pavlík, L. Balík, L. Kudrnáčová, J. Maděra, and R. Černý, “Chapel of cemetery church of all saints in Sedlec – Long-term analysis of hygrothermal conditions,” in *AIP Conference Proceedings 1866*, 2017, p. 6, doi: 10.1063/1.4994509.
- [103] L. Kudrnáčová and L. Balík, “Sledování mikroklimatu v prostorách kostela,” in *Sanace a rekonstrukce 2017*, 2017, pp. 71–77.
- [104] “N1ATG7/C, teplotní sonda s čidlem Ni1000, kabel 2 m.” <https://www.cometsystem.cz/produkty/reg-sn017c>.

- [105] “Infračervený teploměr Tetso 835-H1 s měřením vlhkosti.” <https://www.testo.com/cz-CZ/infracervene-teplomery/infracerveny-teplomer-s-merenim-vlhkosti/c/temperature-infrared-thermometer-plus-moisture-measuring>.
- [106] I. (ČVUT) Loušová, “Vyhodnocení vzorků plísní,” Praha, 2019.
- [107] “Termokamera Testo 885.” <https://www.testo.com/cz-CZ/testo-885-sada/p/0563-0885-X2>.
- [108] “Program Testo IRsoft.” [Online]. Available: <https://www.testo.com/cz-CZ/aplikace/termografie-irsoft>.
- [109] Fraunhofer institute, “WUFI 2D.” [Online]. Available: <https://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php/Details:WaterVaporDiffusion>.
- [110] “WUFI FORUM.” <https://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?t=1614>.
- [111] “Stavona - detail jednoduchého okna.” https://www.cad-detail.cz/pa_det/201030060.htm.
- [112] M. Dirlam, *Stavební truhlářství*, 1. vyd. Praha: Grada, 2013.
- [113] “WUFI manuál.” http://wufi.cz/downloads/files/WUFI2D_3.2_Introduction.pdf.
- [114] H. M. Künzle, “Simultaneous heat and moisture transport in building components,” Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1995.
- [115] “Lingea lexikon AJ + NJ.” 2002.
- [116] P. Schauer, “Aplikovaná fyzika.” Vysoké učení technické v Brně, Brno, p. 40, 2006, [Online]. Available: [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BB02-Aplikovana_fyzika/BB02-Aplikovana_fyzika_\(A,K\)--M04-Prenos_tepla.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BB02-Aplikovana_fyzika/BB02-Aplikovana_fyzika_(A,K)--M04-Prenos_tepla.pdf).

SOUHRN ČLÁNKŮ AUTORA K DISERTACI

1) KUDRNÁČOVÁ, L. a BALÍK, L. Tepelně technické porovnání vlastostí špaletového okna a eurookna. In: Sanace a rekonstrukce staveb 2014 a CRRB -16th International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Buildings. WTA-Sanace a rekonstrukce staveb 2014. Brno, 05.11.2014 - 06.11.2014. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky WTA CZ. 2014, s. 115-119. ISBN 978-80-02-02539-9.

2) KUDRNÁČOVÁ, L. a BALÍK, L. Thermally-Technical Comparing of Traditional Double Timber Window and Eurowindow [online]. In: Proceedings of the Conference on the Rehabilitation and Reconstruction of Buildings (CRRB 2014). CRRB – 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS. Brno, 05.11.2015 - 06.11.2015. Pfaffikon: Trans Tech Publications Inc.. 2015, s. 210-213. Advanced Materials Research Vol. 1122. ISSN 1022-6680. ISBN 978-3-03835-506-9. Dostupné z: <http://www.scientific.net/AMR.1122.210>

3) KUDRNÁČOVÁ, L. a BALÍK, L. Tepelně-vlhkostní analýza v oblasti ostění dvojitého dřevěného okna. In: DROCHYTKA, R. a HODUL, J., eds. CONSTRUMAT 2015. CONSTRUMAT 2015. Brno, 10.06.2015 - 12.06.2015. Brno: Brno University. 2015, ISBN 978-80-214-5205-3.

4) KUDRNÁČOVÁ, L. a BALÍK, L. Sledování tepelně vlhkostních parametrů u konstrukce dvojitého okna a jejich následná aplikace pro návrhy oken v modelovém výpočtu. In: Sanace a rekonstrukce staveb WTA 2015. Sanace a rekonstrukce staveb WTA 2015. Praha, 12.11.2015 - 13.11.2015. Praha: WTA CZ. 2015, s. 76-82. ISBN 978-80-02-02631-0.

5) KUDRNÁČOVÁ, L. Sledování teploty a relativní vlhkosti v oblasti ostění dvojitého okna pomocí 3 metod. In: Sborník konference JUNIORSTAV 2016. JUNIORSTAV 2016. Brno, 28.01.2016. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2016, ISBN 978-80-214-5311-1

6) KUDRNÁČOVÁ, L. Tepelné ztráty v ostění dvojitých oken. In: CONSTRUMAT 2016, Sborník příspěvků z XXII.) mezinárodní konference o stavebních materiálech. CONSTRUMAT 2016. Stará Živohošť, 01.06.2016 - 03.06.2016. Praha: České vysoké učení technické v Praze. 2016, ISBN 978-80-01-05958-6.

7) KUDRNÁČOVÁ, L. Relativní vlhkost a tepelné ztráty v ostění dvojitých oken. In: Doktorandská konference k 95. výročí Kloknerova ústavu. Doktorandská konference k 95. výročí Kloknerova ústavu. Praha - NTK, 22.09.2016. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT. 2016, s. 46-55. ISBN 9788001060063.

8) KUDRNÁČOVÁ, L. a BALÍK, L. Analysis of double casement window design [online]. In: KORMANÍKOVÁ, E, KMEŤ, S, a KOTRASOVÁ, K, eds. Procedia Engineering. 3rd International Conference on Structural and Physical Aspects of Construction Engineering. Štrbské Pleso, 09.11.2016 - 11.11.2016. Oxford: Elsevier Ltd. 2017, s. 560-567. sv. 190. ISSN 1877-7058.

9) KUDRNÁČOVÁ, L. a BALÍK, L. Teplota, relativní vlhkost a kondenzace vodní páry v oblasti okenních konstrukcí. In: Juniorstav 2017, 19. odborná konference doktorského studia. Juniorstav 2017, 19. odborná konference doktorského studia. BRNO, vut, 26.01.2017. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. 2017, ISBN 978-80-214-5473-6.

10) KUDRNÁČOVÁ, L. a BALÍK, L. Renovation and design of double casement windows with regard to the occurrence of water vapour condensation or mould on the interior surface of the window jamb [online]. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies. Riga, 27.09.2017 - 29.09.2017. Bristol: IOP Publishing Ltd. 2017, sv. 251. ISSN 1757-899X.

11) KUDRNÁČOVÁ, L. a BALÍK, L. Monitoring of structure double casement window. In: Proceedings International Scientific Conference Preservation of Cultural Heritage. International Scientific Conference Preservation of Cultural Heritage, Sofie, 2017-11-23/2017-11-25. Bulgarian Academy of Science and Arts, 2017. s. 227-233. ISBN 978-954-8931-52-6.

12)KUDRNÁČOVÁ, L. a BALÍK, L. Kondenzace a výskyt plísní v oblasti ostění dvojitých oken. In: *Sanace a rekonstrukce staveb 2017*. Sanace a rekonstrukce 2017. Praha, 23.11.2017 - 24.11.2017. Praha: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky WTA CZ. 2017, s. 10-12. ISBN 978-80-01-06347-7.

13)KUDRNÁČOVÁ, L.; BALÍK, L.; MÁLKOVÁ, M.; HOVORKOVÁ, J.; JANKULÍKOVÁ, A. Porovnání koncentrace CO₂ v místnosti se zrekonstruovanými okny a v místnosti s původními okny. In: PERNICOVÁ, R., ed. *Sanace a rekonstrukce staveb 2019*. Sanace a rekonstrukce staveb 2019 - CRRB 21st International Conference on Rehabilitation and Reconstruction of Building, Praha, 2019-11-28. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. s. 47-52. ISBN 978-80-02-02888-8.

PŘÍLOHA 1
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

PŘEHLED DLOUHODOBÝCH EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ

Experimentální měření č. 1

Experimentální měření č. 2

Experimentální měření č. 3

Experimentální měření č. 4

Experimentální měření č. 5

Experimentální měření č. 6

Experimentální měření č. 7

Experimentální měření č. 8

Experimentální měření č. 9

Experimentální měření č. 10

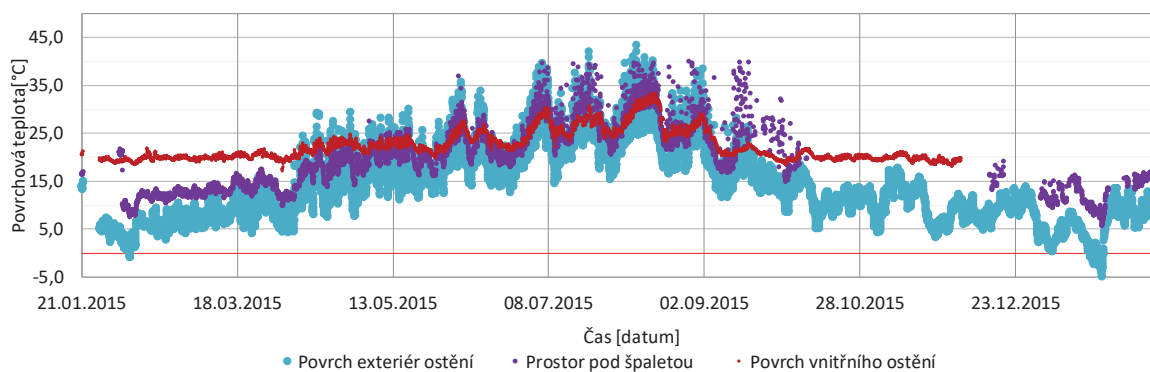
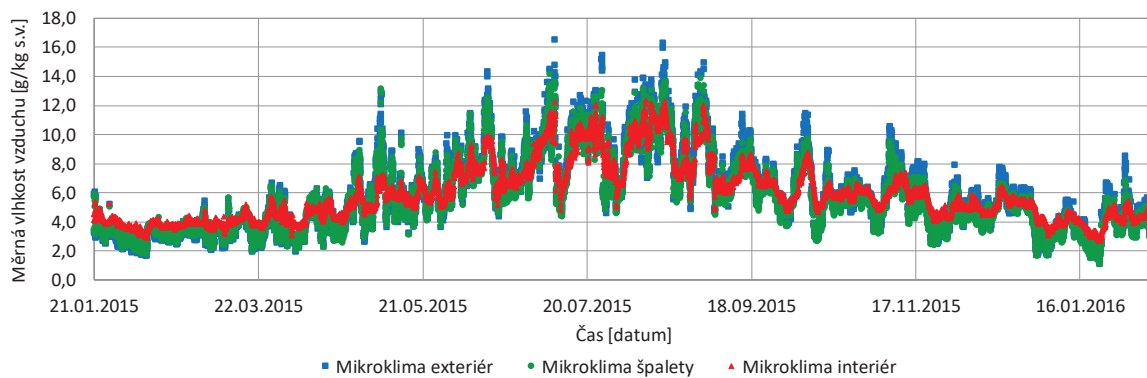
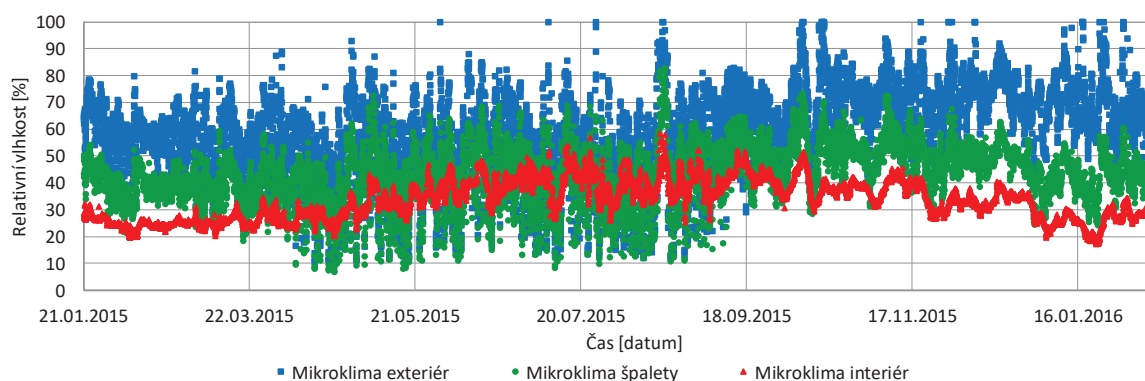
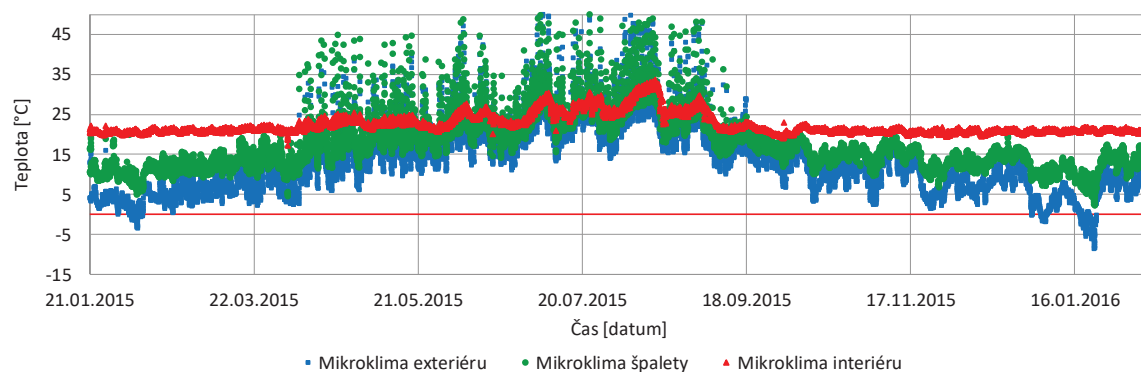
Experimentální měření č. 11

Experimentální měření č. 12

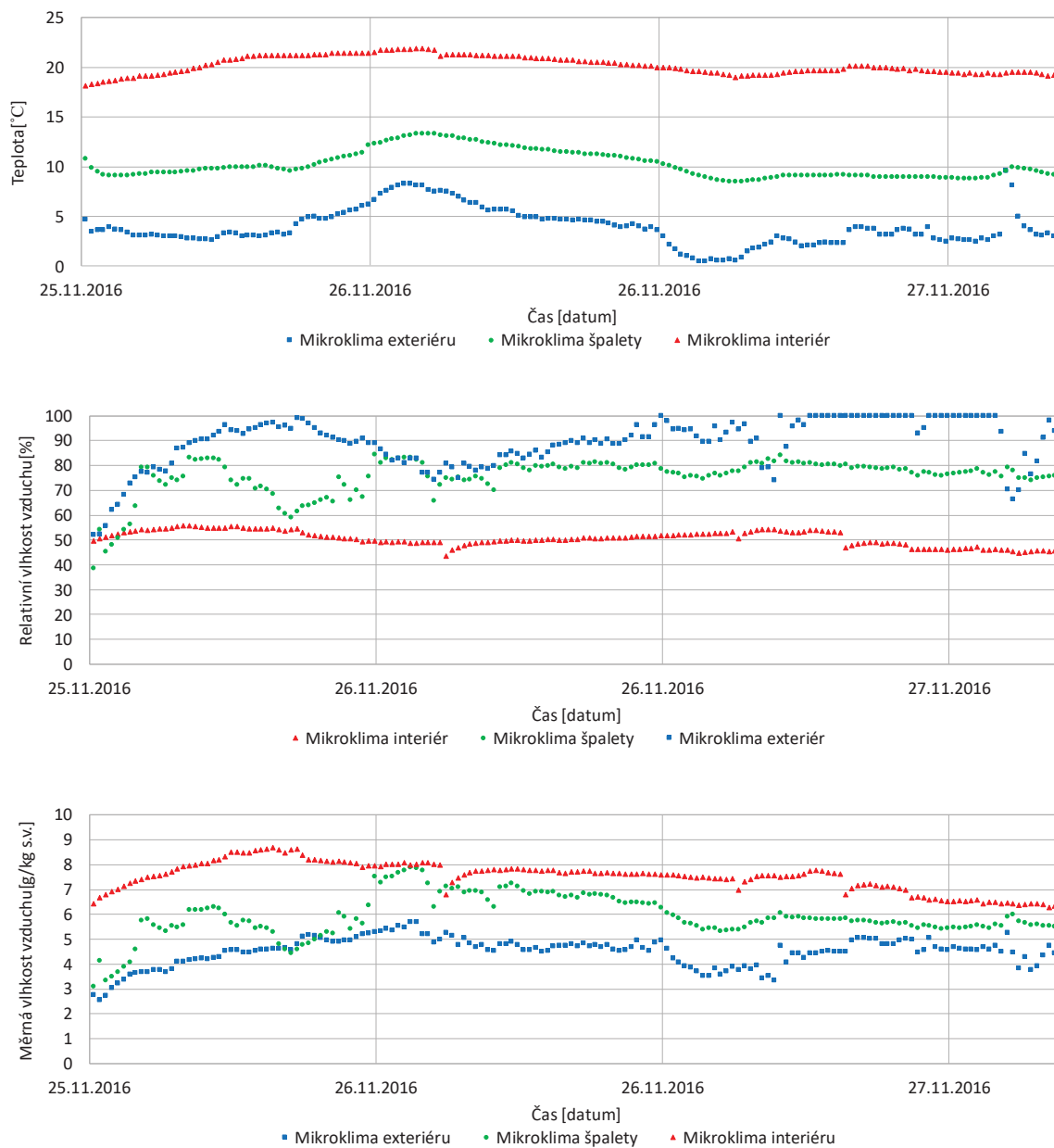
Experimentální měření č. 13

V následujících kapitolách jsou zobrazeny grafy dlouhodobých měření všech experimentálních měření použitých v disertační práci. Grafy zobrazují průběh teplot, relativních vlhkostí a měrných vlhkostí mikroklimat a povrchových teplot naměřených in situ na konstrukcích.

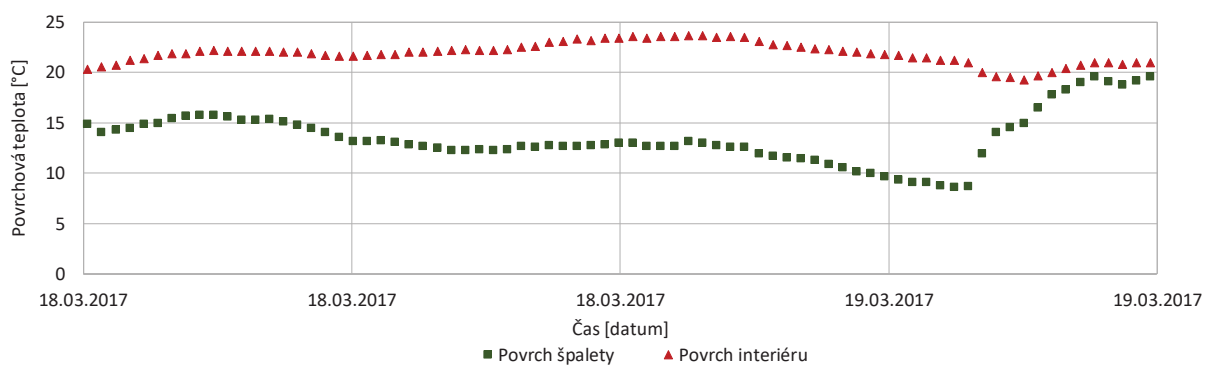
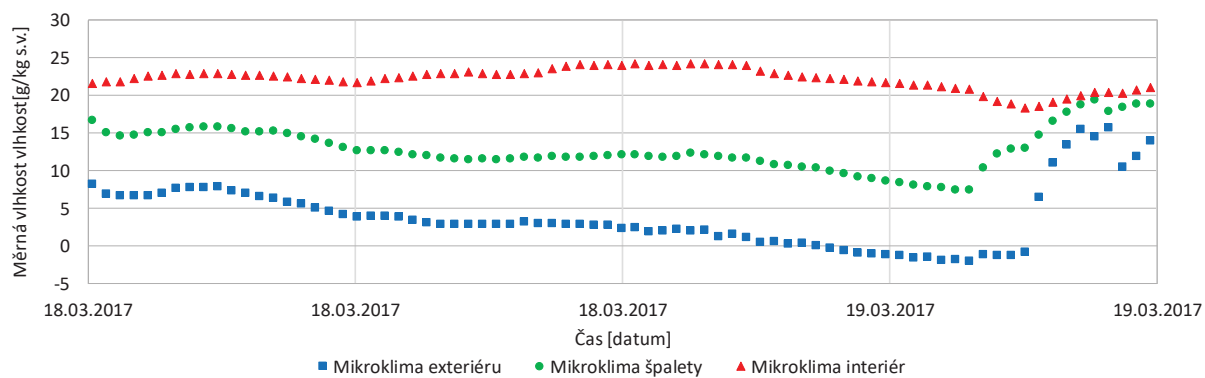
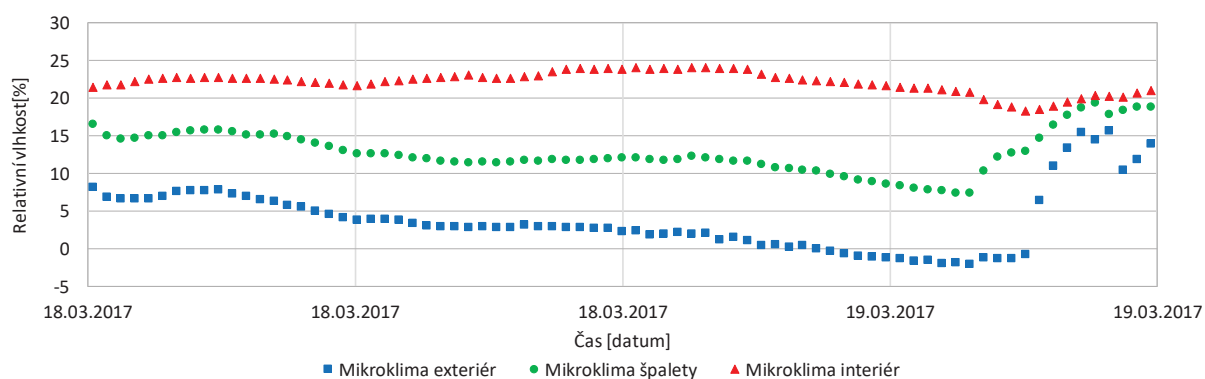
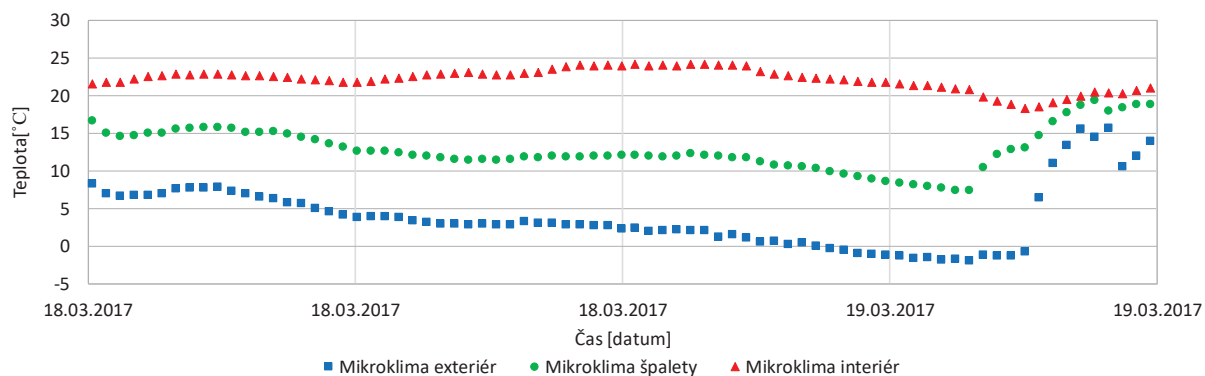
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 1



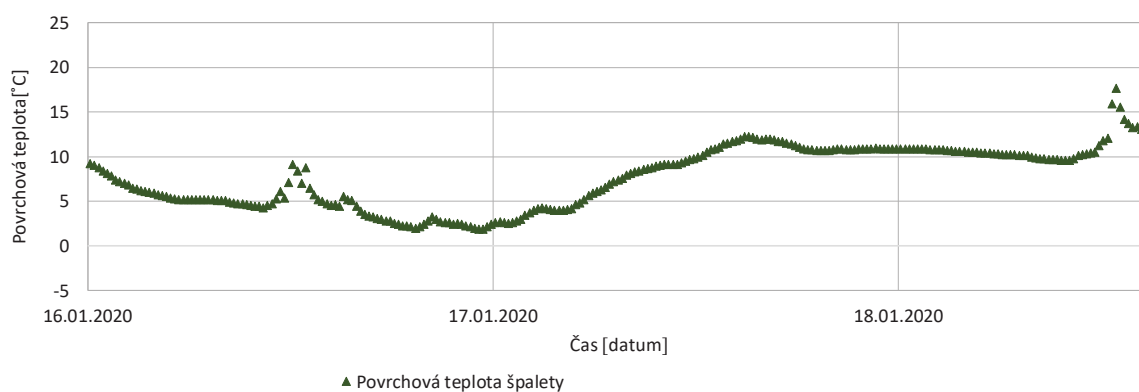
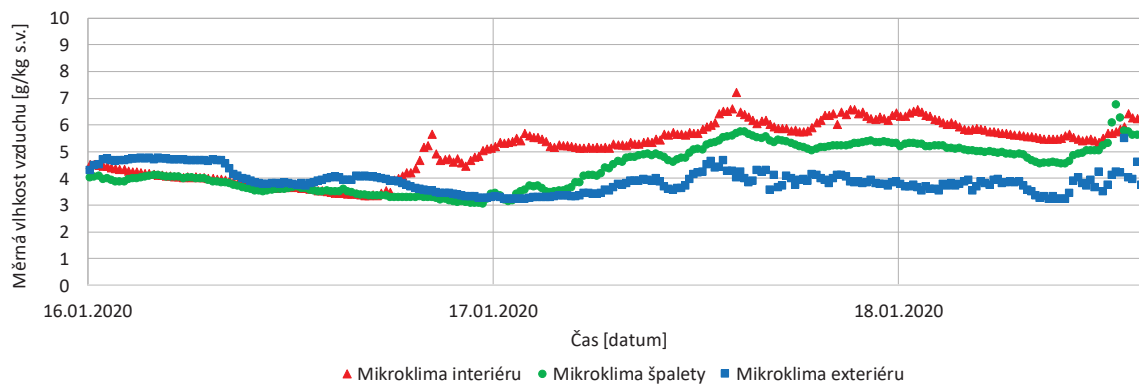
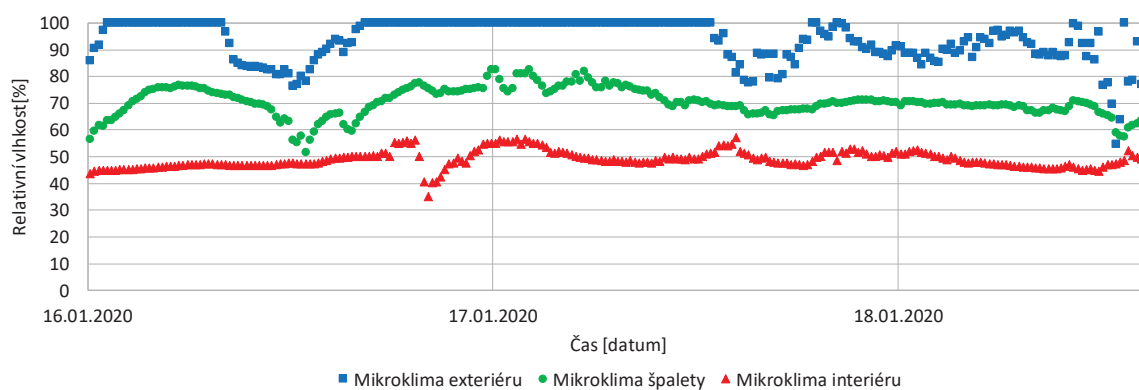
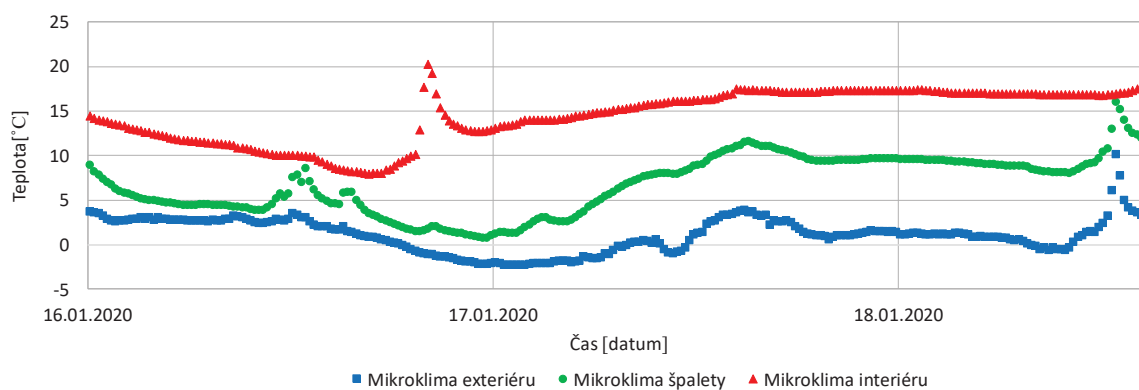
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 2



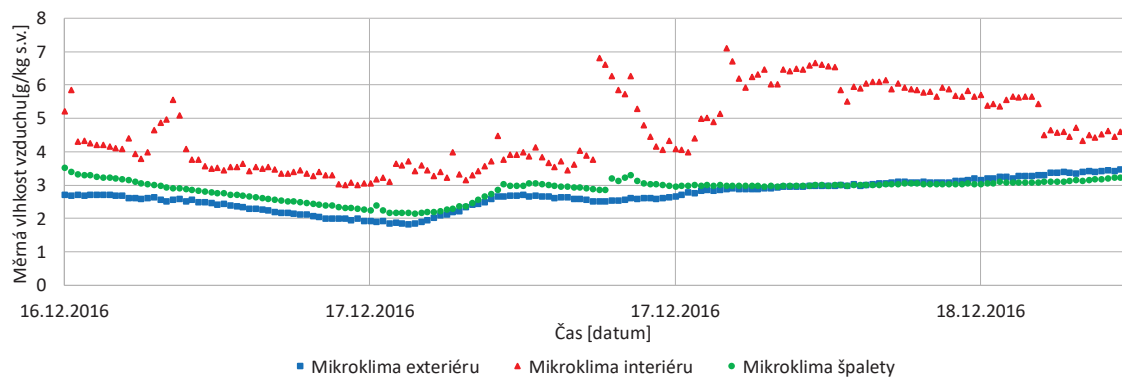
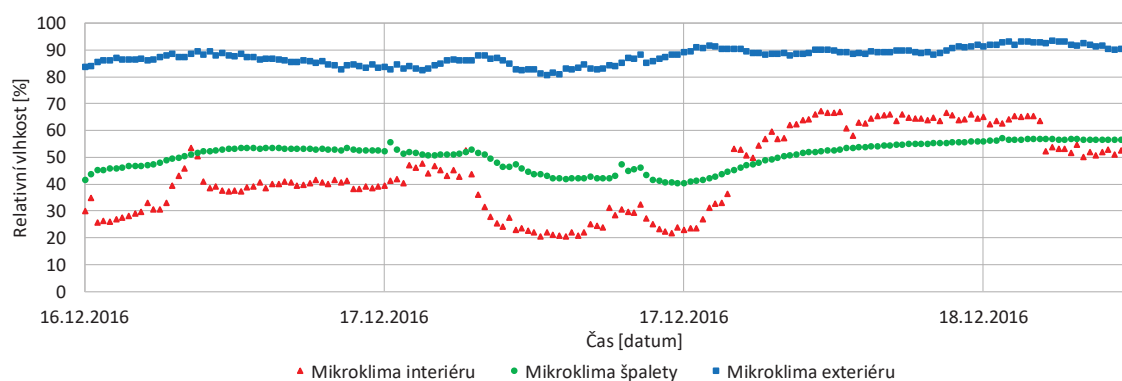
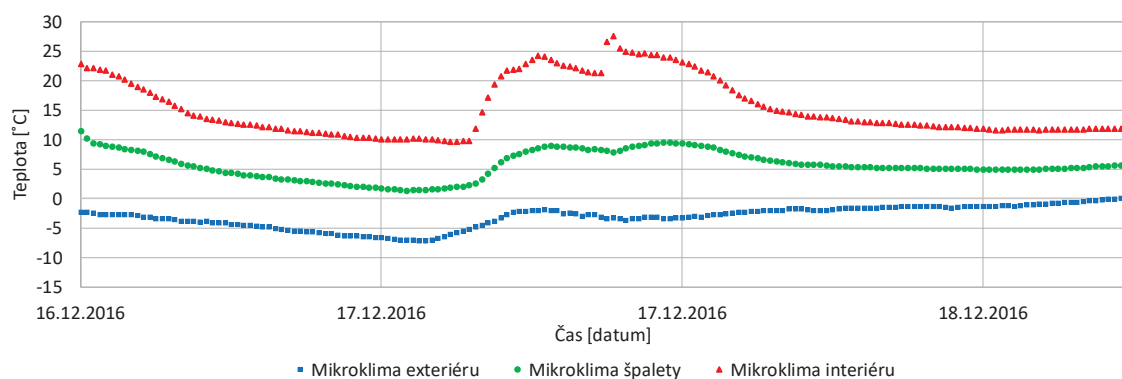
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 3



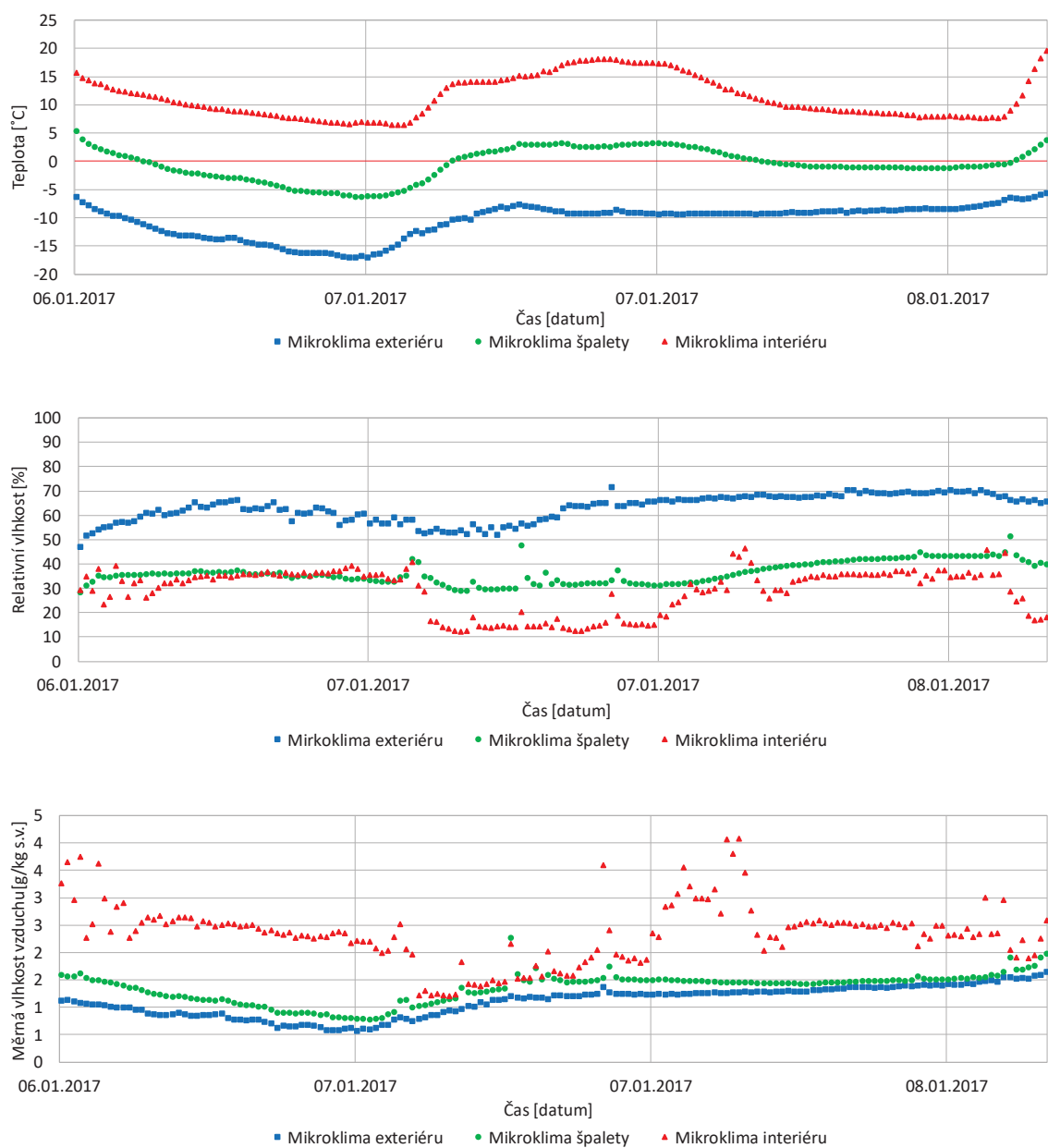
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 4



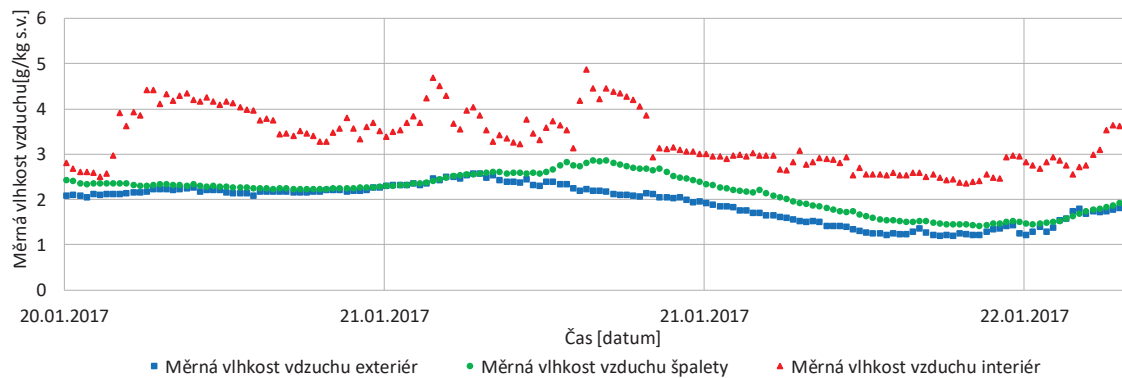
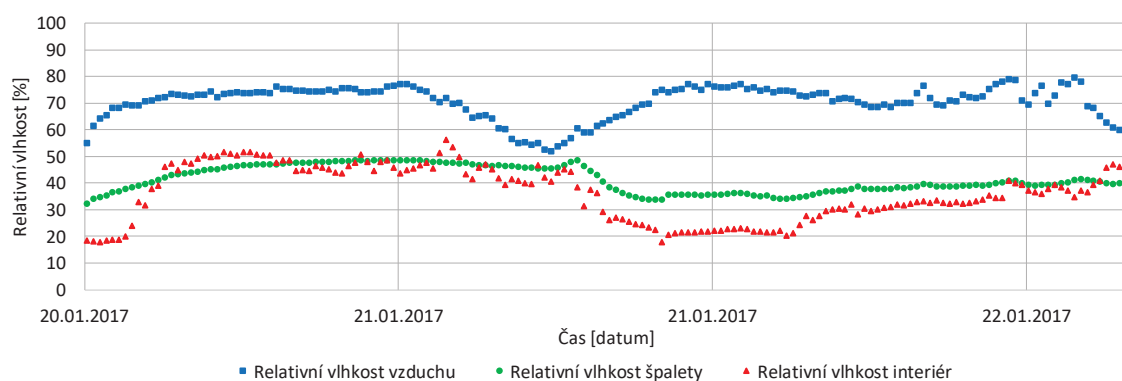
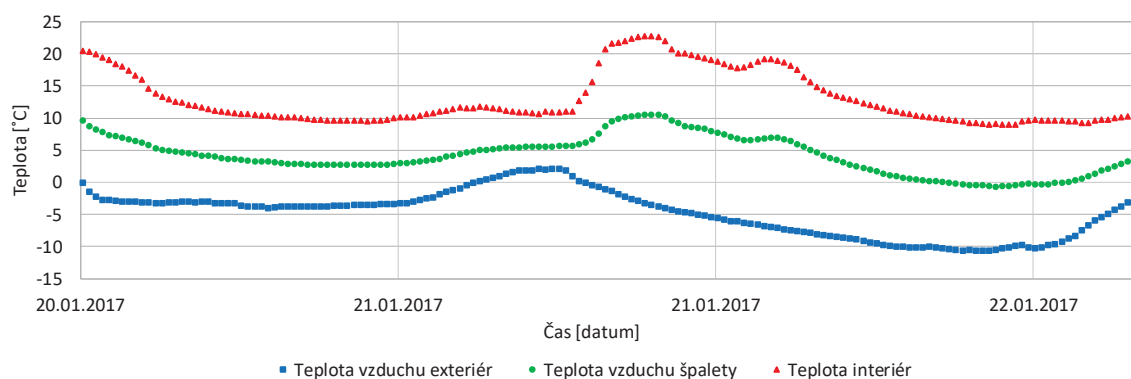
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 5



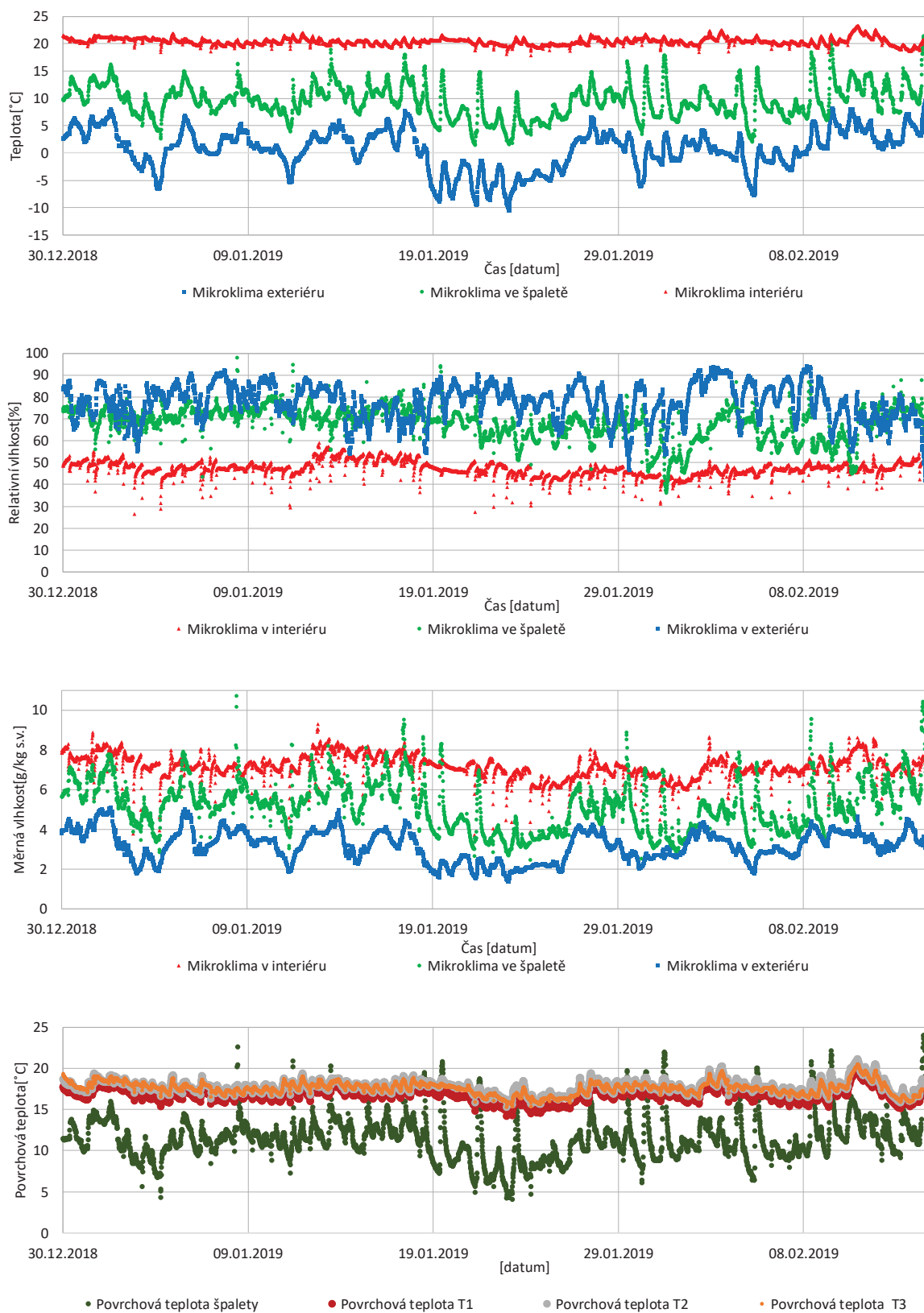
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 6



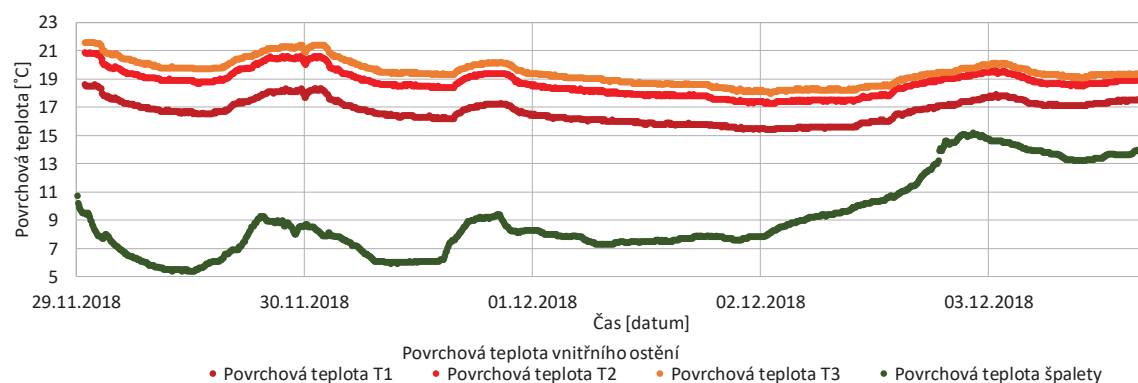
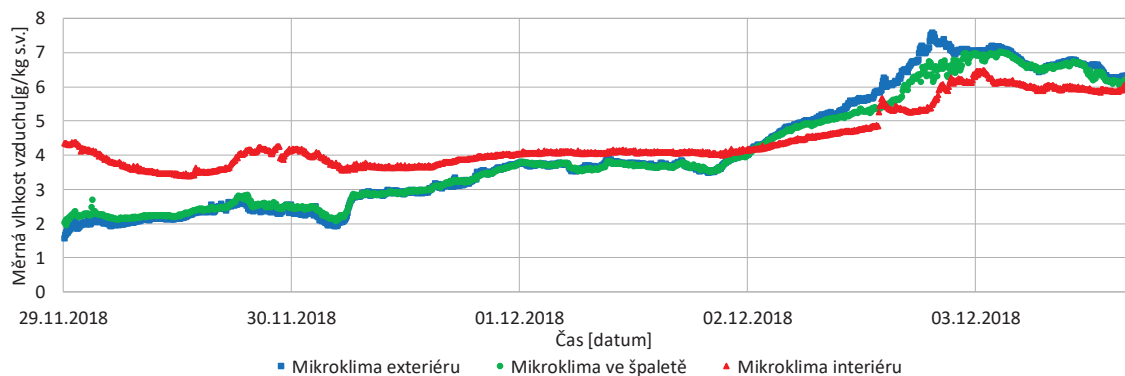
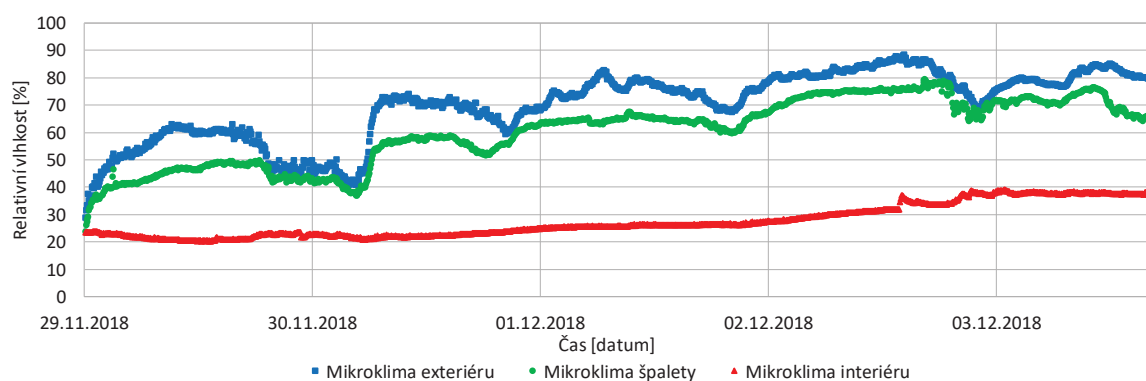
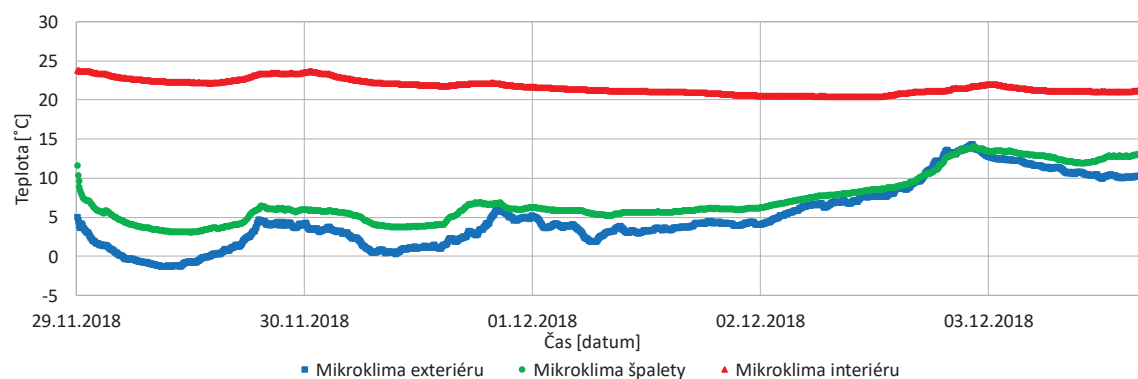
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 7



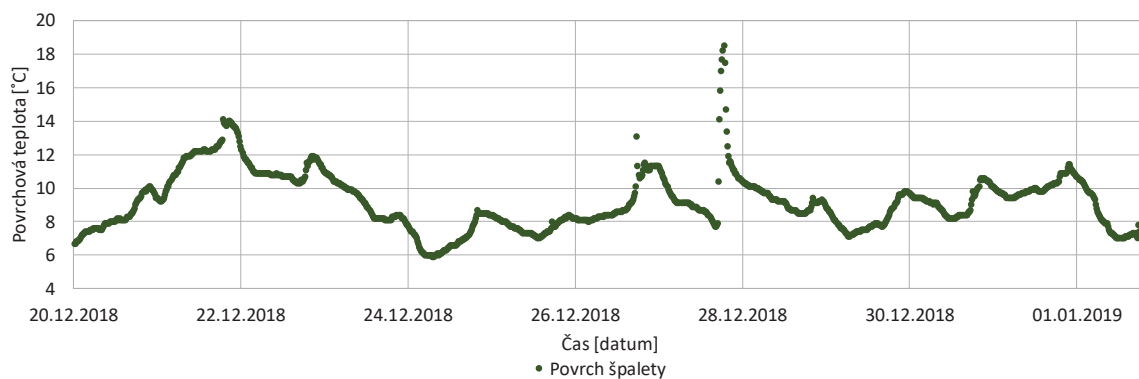
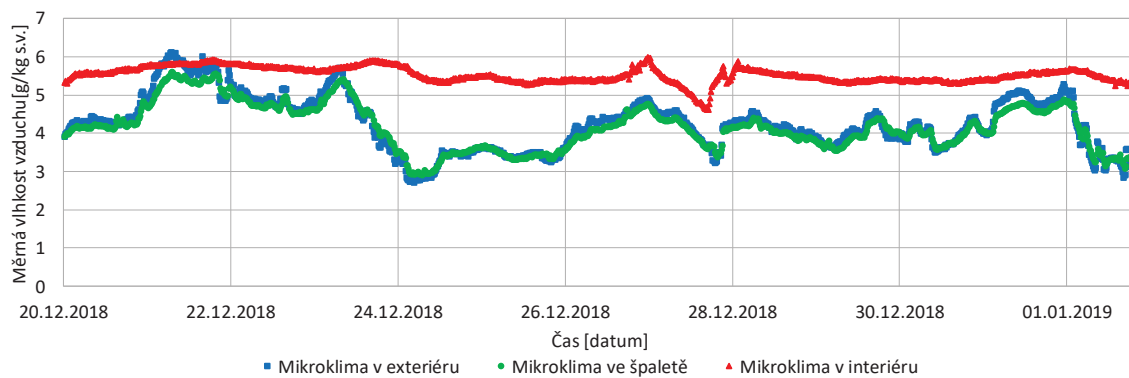
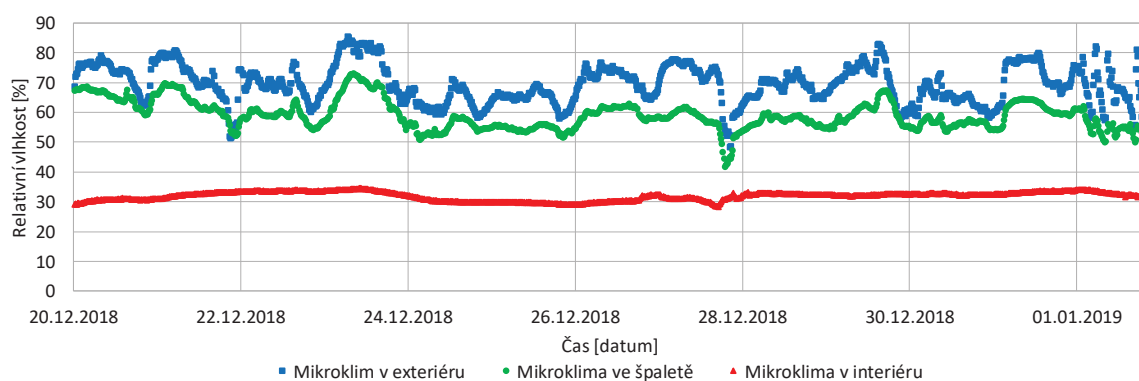
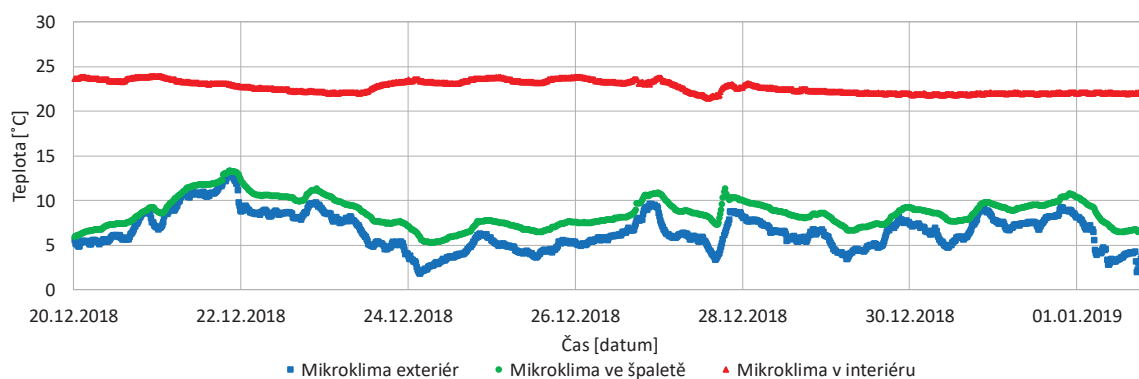
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 8



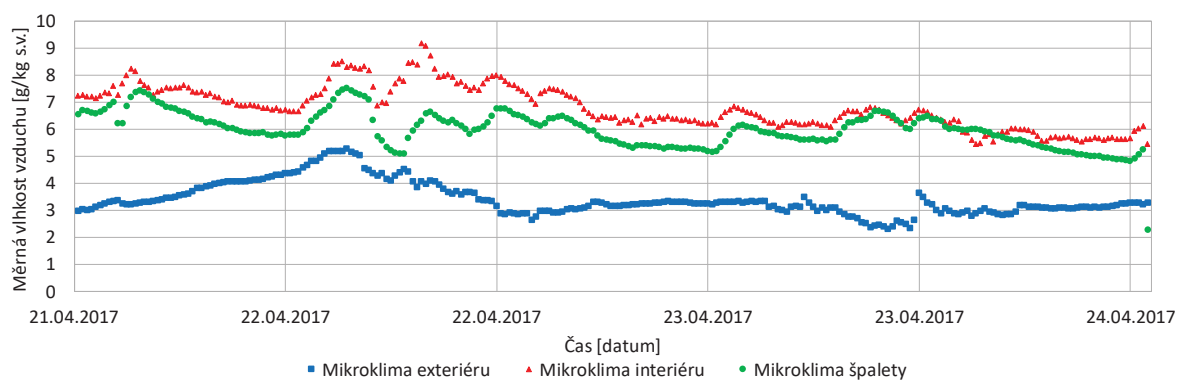
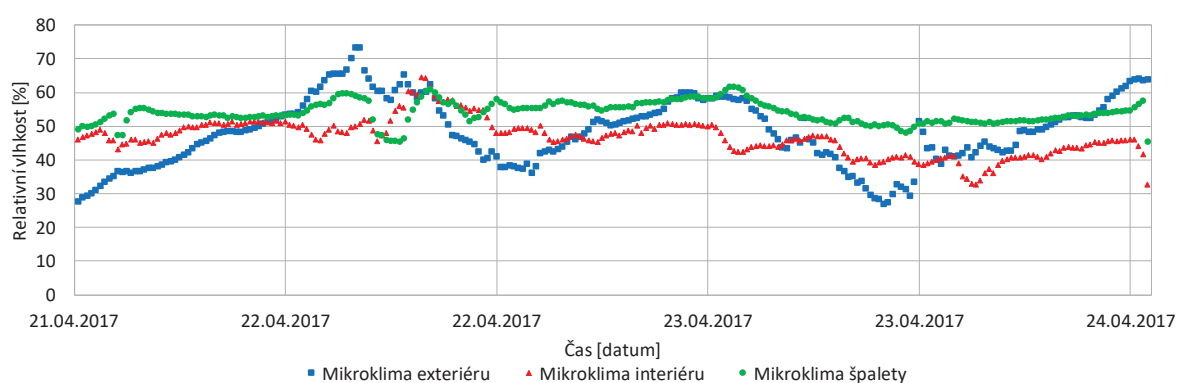
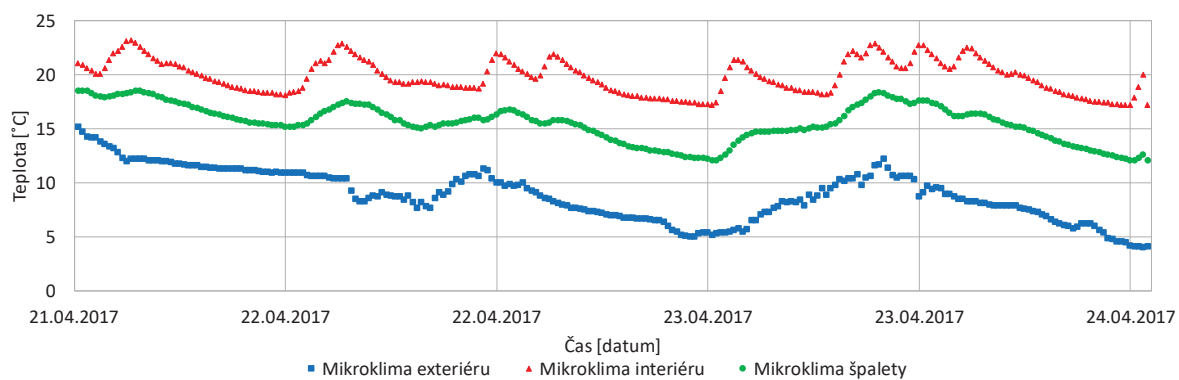
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 9



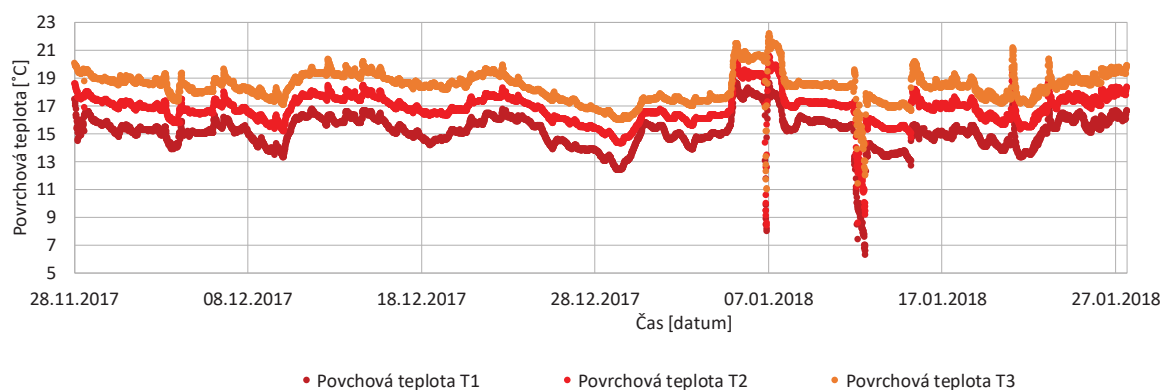
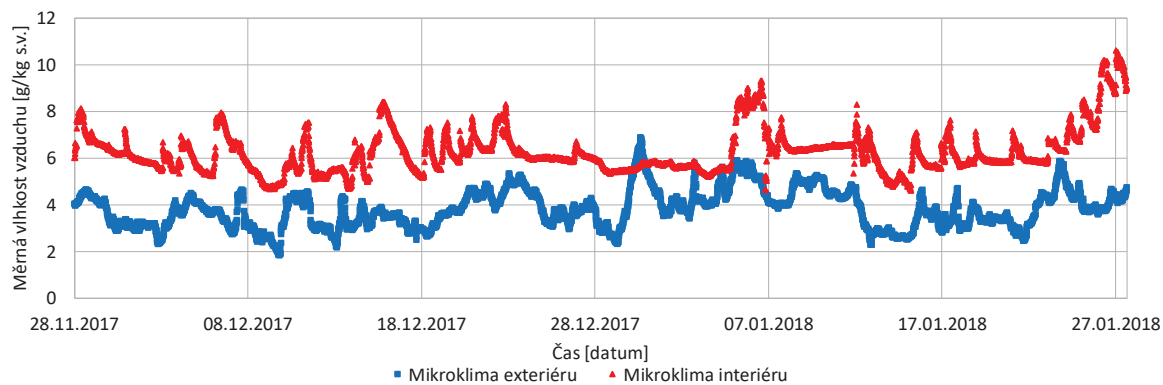
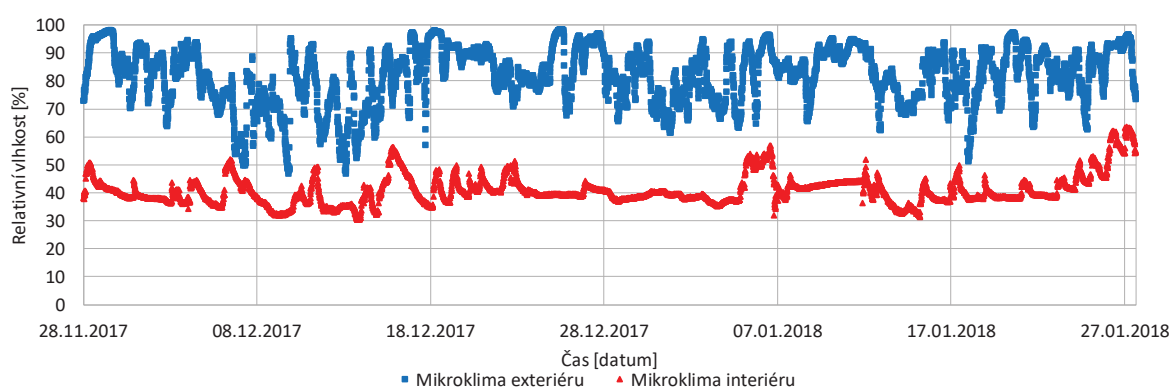
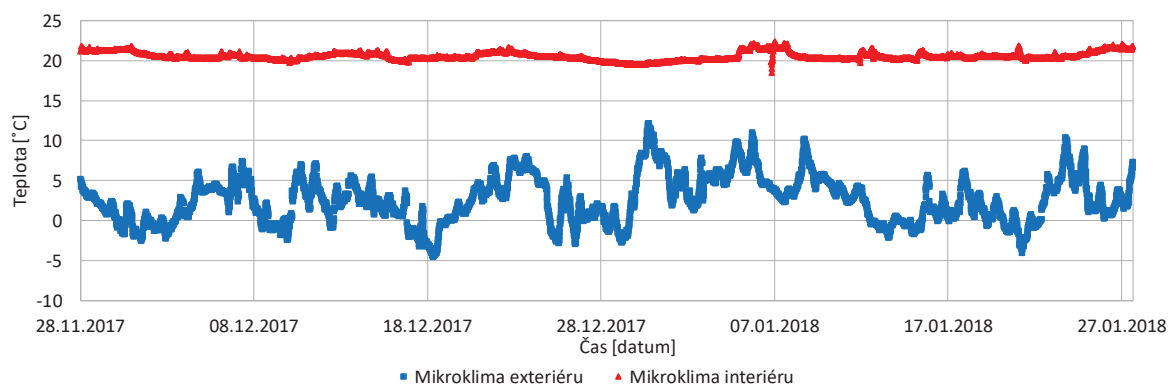
EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 10



EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 11



EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 12



EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ Č. 13

