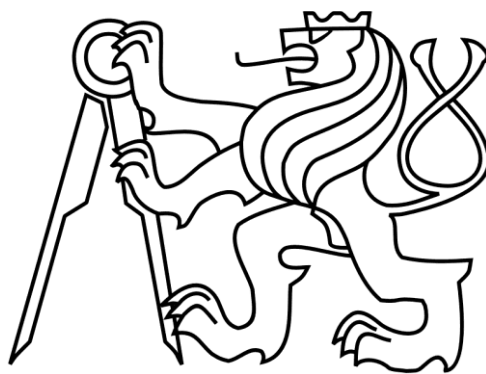


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Diplomová práce

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pavličková Jméno: Nicol Osobní číslo: 438438
Zadávací katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb
Studijní program: Budovy a prostředí
Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vlhkostní chování obvodových stěn moderních dřevostaveb

Název diplomové práce anglicky: Moisture performance of external walls in modern wood-based buildings

Pokyny pro vypracování:

Bude provedeno laboratorní měření difuze vodní páry na vzorcích OSB desek. Dále bude proveden experiment v malé klimatické dvojkomoře pro ověření tepelně vlhkostního chování vzorku skladby difuzně otevřené obvodové stěny s vnějším kontaktním zateplovacím systémem. Součástí bude návrh a příprava experimentu, zpracování a vyhodnocení naměřených dat. A budou provedeny výpočty tepelně vlhkostního chování identické materiálové skladby v ustáleném i neustáleném stavu.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Kamil Staněk, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 23.9.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Nicol Pavlíčková

Název diplomové práce: Vlhkostní chování obvodových stěn moderních dřevostaveb

Základní část: K124 podíl: 100 %

Formulace úkolů: viz zadání DP

Podpis vedoucího DP: Datum:

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení Ing. Kamila Staňka, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 5.1.2020

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Kamilu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení. Dále bych ráda poděkovala technikům Ing. Janu Vítovci a Ing. Radimu Havlíčkovi z laboratoře Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze za výrobu vzorků a uvedení experimentů do provozu. Také děkuji prof. Ing. Janu Tywoniakovi CSc. za poskytnutí prostor laboratoře pro naměření experimentů. Ještě bych velmi ráda poděkovala svým rodičům za umožnění studia na vysoké škole a za podporu v průběhu celého studia.

Vlhkostní chování obvodových stěn
moderních dřevostaveb

Moisture performance of external walls
in modern wood-based buildings

Abstrakt

V konstrukcích obvodových stěn moderních dřevostaveb se jako parobrzdňá vrstva často používá dřevovláknitá deska OSB. Ta má za úkol regulovat prostup vodní páry konstrukcí z interiéru do exteriéru. Eventuální výskyt kondenzátu ve skladbě obvodové stěny může vést k ohrožení funkce konstrukce. Tento problém je potřeba analyzovat a řešit. V rámci této práce je vytvořen model ve výpočetním programu, který popisuje transport vodní páry skladbou konstrukce. Pro validaci modelu byl vzorek skladby obvodové stěny vložen do klimatické dvojkomory a data z čidel, která byla na všech rozhraních materiálů, byla porovnána s daty ze simulace ve výpočetním programu. Pro zpřesnění výsledků bylo součástí práce naměření faktoru difuzního odporu OSB desky. Experimenty probíhaly v laboratoři UCEEB ČVUT v Praze.

Klíčová slova

Transport vlhkosti, kondenzace, laboratorní měření, faktor difuzního odporu, OSB deska

Abstract

In the construction of the external walls of modern wood-based buildings is often used OSB (oriented strand board) as a vapor barrier layer. It is designed to regulate the water vapor transmission from interior to exterior. The possible occurrence of condensate in the composition of the external wall may lead to a risk of the function of the construction. This problem needs to be analyzed and solved. In this thesis was created a model in a computer program that describes the transport of water vapor through the construction. To validate the model was a sample of the external wall composition inserted into the climatic chamber and the data from sensors which was on all material interfaces was compared with the data from the simulation in the computer program. To refine the results, the work included measurement of the diffuse resistance factor of the OSB board. The experiments were performed in the laboratory of UCEEB CTU in Prague.

Keywords

Moisture transport, condensation, laboratory measurements, diffusion resistance factor, OSB board

Obsah

1 Úvod.....	3
2 Teoretická část.....	4
2.1 Transport vodní páry v materiálech a konstrukcích.....	4
2.1.1 Difuze vodní páry	7
2.1.2 Kapilární přenos.....	7
2.1.3 Proudění vzduchu.....	8
2.2 Jednorozměrná difuze vodní páry	9
2.2.1 Ustálený stav	9
2.2.2 Neustálený stav	11
2.3 Normy	12
3 Experimentální část.....	14
3.1 Vlastnosti materiálů	14
3.2 Faktor difuzního odporu OSB desek.....	15
3.2.1 Metody	15
3.2.2 Vzorky.....	16
3.2.3 Použité přístroje a pomůcky.....	19
3.2.4 Postup měření.....	25
3.2.4.1 Měření na desorpční izotermě.....	25
3.2.4.2 Měření na adsorpční izotermě.....	28
3.2.5 Zpracování dat	31
3.3 Transport vodní páry ve skladbě.....	33
3.3.1 Metody	33
3.3.2 Vzorky.....	34
3.3.3 Použité přístroje a pomůcky.....	35
3.3.4 Postup.....	37
3.3.5 Numerická simulace.....	43

4 Výsledky a diskuze.....	49
4.1 Faktor difuzního odporu OSB desek.....	49
4.2 Transport vodní páry ve skladbě.....	56
5 Závěr.....	73
Conclusion.....	75
Použitá literatura	77
Seznam obrázků	79
Seznam tabulek	81
Seznam grafů.....	82
Seznam příloh.....	83

1 Úvod

V České republice se za loňský rok zrealizovalo 18 287 rodinných domů. Z toho 2 945 domů, což je asi 16,1 %, byly dřevostavby. Oproti roku 2000, kdy bylo procentuální zastoupení dřevostaveb 1,4 %, dochází k jejich velkému nárůstu. Nestaví se tak pouze rodinné domy, ale i občanské budovy a mrakodrapy. [1]

Stále častěji se konstrukce obvodových stěn moderních dřevostaveb (lehký skelet) realizují jako difuzně otevřené. To znamená, že je umožněno pronikání kontrolovatelného množství vodní páry z interiéru do konstrukce a posléze do exteriéru, aniž by vodní pára ohrožovala ostatní materiály ve skladbě obvodové konstrukce. Toto řešení se těší stále větší oblibě z důvodu, že namísto snadno porušitelné parozábrany je zde použita dřevoštěpková konstrukční deska – OSB deska. Ta plní funkci nejen parobrzdnou (řízení propustnosti vodní páry z vnitřního prostředí do vnějšího), vzduchotěsnicí (zabránění proudění vlhkého vzduchu z vnitřního prostředí do vnějšího), ale i ztužující.

Při návrhu konstrukce je nutné se řídit závazným normovým ustanovením, které říká, že všechna kondenzát v konstrukci musí během roku vyschnout. V této chvíli nastávají komplikace, protože faktor difuzního odporu OSB desek není dostatečně prozkoumán. Hodnoty, které udává výrobce se mohou od skutečných lišit. S těmito hodnotami se nadále pracuje například ve výpočetních softwarech, a tak se simulace nemusí shodovat s reálným chováním obvodové stěny. V kombinaci s dalšími vhodnými podmínkami, například teplotou, může být následkem výskyt plísní, hniloba či napadení dřevokaznými škůdci.

Cílem práce je analýza tepelně vlhkostního chování obvodové stěny moderní dřevostavby. Za tímto účelem bylo nejprve provedeno měření vlhkostně závislé funkce faktoru difuzního odporu OSB desek, které mají v konstrukci parobrzdnou funkci, a tak ovlivňují vlhkostní chování celé konstrukce. Tyto naměřené hodnoty byly použity ve výpočetním programu WUFI® 6 [2] pro simulaci prostupu vodní páry obvodovou konstrukcí. Pro porovnání výsledků byla použita naměřená data z teplotních a vlhkostních čidel, která byla ve vzorku skladby obvodové stěny osazená v klimatické dvojkomoře za daných okrajových podmínek.

2 Teoretická část

2.1 Transport vodní páry v materiálech a konstrukcích

Voda se vyskytuje ve 3 skupenstvích, a to v pevném skupenství (zmrzlá voda tzn. led), v kapalném skupenství a v plynném (vodní pára). Voda je tvořena svazky molekul, mezi kterými jsou vodíkové vazby a které mají mnohem větší průměr než vodní pára, která je tvořena jednotlivými (vzájemně oddělenými) molekulami H_2O . To znamená, že některé materiály mohou být propustné pro vodní páru, ale nikoliv pro kapalnou vodu.

Budova je po dobu její životnosti vystavena několika zdrojům vlhkosti. Jedná se o větrem hnaný déšť, vodní páru ve venkovním vzduchu, zabudovanou vlhkost v konstrukcích, vlhkost zeminy, ale zdrojem může být i činnost člověka (vaření, sprchování apod.).

Vlhkost tzn. vodní pára nebo voda v kapalném stavu se může šířit materiály, které mají otevřený pórový systém. U některých stavebních materiálů jsou póry vidět pouhým okem, u některých je potřeba použít mikroskop. Póry se podle velikosti dělí na submikroskopické póry ($< 10^{-9}$ m), kapilární póry ($10^{-9} - 10^{-3}$ m) a makropóry ($> 10^{-3}$ m). K šíření vlhkosti může docházet difuzí vodní páry, prouděním vlhkého vzduchu nebo kapilárním přenosem. Pokud je relativní vlhkost vzduchu poměrně nízká, tzn. není dostatečně vysoká na to, aby na stěnách pórů začala kondenzovat voda, je vlhkost přenášena pouze difuzí. V případě částečného naplnění pórů vodou, tzn. při vyšší vlhkosti vzduchu, se jedná o kombinaci procesu difuze a kapilární nasákavosti. Pokud jsou póry zcela zaplněny kapalnou vodou, přenos je způsoben kapilární nasákavostí.

Vlhkost pórovitého materiálu se dá vyjádřit jako poměr hmotnosti vlhkosti a hmotnosti vzorku ve vysušeném stavu neboli hmotnostní vlhkostí.

$$u = \frac{m_v + m_l}{m_d} \quad (1)$$

u ... hmotnostní vlhkost [g/g]

m_v ... hmotnost vodní páry [g]

m_l ... hmotnost kapalné vody [g]

m_d ... hmotnost vzorku ve vysušeném stavu [g]

Nebo ji lze vyjádřit jako poměr hmotnosti vlhkosti ku objemu vzorku, což značí objemová vlhkost.

$$w = \frac{m_v + m_l}{V_d} \quad (2)$$

w ... objemová vlhkost [g/g]

m_v ... hmotnost vodní páry [g]

m_l ... hmotnost kapalné vody [g]

V_d ... objem vzorku v suchém stavu [m³]

Každý materiál má limit uloženého množství vlhkosti zachycené z okolního vlhkého vzduchu při izotermických podmínkách. Tento hygroskopický rozsah je přibližně v rozmezí od 0 do 98 % relativní vlhkosti. Pokud se aplikuje stavová rovnice pro vodní páru

$$p_v \phi_0 V = m_v R_v T \quad (3)$$

p_v ... částečný tlak vodní páry [Pa]

$\phi_0 V$... objem vzduchu v pórovém systému [m³]

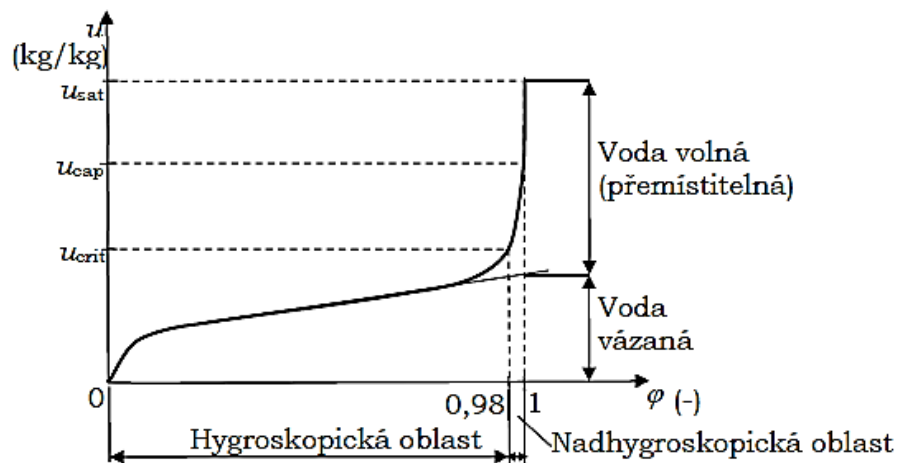
m_v ... hmotnost vodní páry [g]

R_v ... plynová konstanta pro vodní páru [J/(kg K)]

T ... termodynamická teplota [K]

je výsledkem, že objemová vlhkost materiálu je při konstantní teplotě lineárně závislá na relativní vlhkosti. Materiály jsou ale reálně schopny pojmout více vlhkosti, než udává tato rovnice, což je zapříčiněno působením silového pole mezi stěnou póru a ji obklopujícím vzduchem. Výsledkem toho je shromažďování molekul H₂O na povrchu póru. Tomuto jevu se říká adsorpce. Molekulám tekutiny, které se hromadí na rozhraní s pevnou fází, se říká adsorbát.

Pokud se budou vzorku skokově měnit okrajové podmínky, resp. relativní vlhkost, za určitý čas se ustálí v rovnovážném stavu. Toto chování materiálu charakterizuje sorpční izoterma. Teplota ovlivňuje polohu křivky v grafu. Při zvýšení teploty začnou molekuly vody více kmitat a mají tendenci se uvolňovat ze stěn pórů. V tomto případě se křivka posune směrem dolů. Při snížení teploty dochází k opačnému jevu.



Obr. 1 Sorpční izoterma [3]

Ve chvíli, kdy jsou všechny stěny pórů obklopeny jednou vrstvou molekul vody, začnou se ukládat v další vrstvě. Při dalším zvýšení relativní vlhkosti se mohou protilehlé vrstvy adsorbátu potkat a vytvořit meniskus kapalně vody.

V případě snižování relativní vlhkosti, tj. vysušování se tento proces nazývá desorpce. Desorpční izoterma se v grafu nachází nad izotermou sorpční a tomuto jevu se říká hystereze. [3] [4]

2.1.1 Difuze vodní páry

Difuze je proces, kdy dochází k přenosu vodní páry z prostředí s vyšší koncentrací vodní páry do prostředí s menší koncentrací vodní páry. Pro popis difuze v ustáleném stavu je používán 1. Fickův zákon, který říká, že hustota difuzního toku je úměrná záporně vzatému gradientu koncentrace vodní páry.

$$g = -D \text{ grad } v \quad (4)$$

g ... hustota difuzního toku [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$]

D ... difuzní koeficient [m^2s^{-1}]

$\text{grad } v$... koncentrační gradient [$\text{kg m}^{-3}\text{m}^{-1}$]

Faktor difuzního odporu vyjadřuje, kolikrát nepropustnější je materiál vůči vzduchu. [3] [4]

2.1.2 Kapilární přenos

Jestliže materiál při styku s vodou do své struktury vodu nepřijímá, nazývá se hydrofobní neboli kapilárně neaktivní. V opačném případě, kdy dochází k přijímání, se materiálu říká hydrofilní a je tedy kapilárně aktivní.

Pokud je hydrofilní vzorek materiálu z části ponořen do vody, je možné sledovat rozhraní mezi kapilárně nasycenou a nenasycenou částí vzorku. U kapilárně aktivních materiálů lze polohu rozhraní vyjádřit následujícím vztahem.

$$x(t) = B\sqrt{t} \quad (5)$$

$x(t)$... poloha rozhraní [m]

B ... sorptivita [$\text{m}/\text{s}^{0,5}$]

t ... čas [s]

Laminární proudění kapaliny ve válcové kapiláře popisuje Hagen-Poiseuilleho zákon. [3]

$$G_l = -\frac{\pi r^4 \rho_l dP_l}{8\mu_l dx} \quad (6)$$

G_l ...hmotnostní tok [kg/s]

r ... poloměr kapiláry [m]

ρ_l ...hustota kapaliny [kg/m³]

P_l ...pokles tlaku [Pa]

μ_l ...dynamická viskozita kapaliny [kg/(m s)]

2.1.3 Proudění vzduchu

Vodní pára se také může přenášet pomocí proudění vzduchu. Tok vodní páry je dán vztahem níže.

$$G = V_a v \quad (7)$$

G ... tok vodní páry [kg/s]

V_a ...objemový tok vzduchu [m³/s]

v ... koncentrace vodní páry [kg/m³]

V případě, že vzduch, který proudí podél povrchu, má jinou hustotu vodní páry, dochází k přestupu vodní páry prouděním. Řádově jsou tyto hodnoty přestupu vodní páry nižší, než jsou difuzní odpory vrstev v konstrukci, a proto je možné je při zjednodušeném výpočtu zanedbat. Pokud je při povrchu materiálu dlouhodobě relativní vlhkost vzduchu vyšší než 80 %, je vysoká pravděpodobnost vzniku plísní na exponované ploše. Nejnižších teplot na povrchu je dosaženo v místech, které nazýváme tepelnými mosty. Tento jev je možné vhodným řešením eliminovat. [3]

2.2 Jednorozměrná difuze vodní páry

2.2.1 Ustálený stav

Množství vodní páry ve vzduchu vyjadřují dvě veličiny, a to:

v ... koncentrace vodní páry [kg/m^3],

p_v ... částečný tlak vodní páry [Pa].

Mezi těmito veličinami, které nesou stejnou informaci existuje přepočet, který vychází ze stavové rovnice ideálního plynu.

$$p_v = R_v T v \quad (8)$$

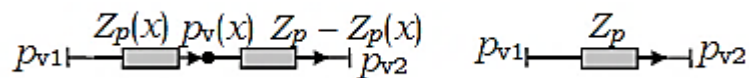
p_v ... částečný tlak vodní páry [Pa]

R_v ... plynová konstanta pro vodní páru [$\text{J}/(\text{kg K})$]

T ... termodynamická teplota [K]

v ... koncentrace vodní páry [kg/m^3]

Pro následující výpočty bude uvažováno s částečným tlakem vodní páry. V kapitole 2.1.1. Difuze vodní páry bylo zmíněno, že pro popis prostupu vodní páry v ustáleném stavu se používá 1. Fickův zákon. Jako příklad je uvažovaná vícevrstvá stěna bez zdroje vodní páry. V ustáleném stavu je hustota difuzního toku konstantní hodnota v jakémkoliv místě stěny. To znamená, že hustota difuzního toku přitékající zleva do uzlu $p_v(x)$ musí být stejná jako hodnota hustoty difuzního toku odtékající z uzlu $p_v(x)$ vpravo. Schéma problému viz níže.



Obr. 2 Vlhkostní bilance vyjádřená grafickým schématem [3]

Částečný tlak vodní páry v místě vzdáleném x od levého okraje stěny lze vyjádřit následujícím vztahem.

$$p_v(x) = p_{v1} + \frac{Z_p(x)}{Z_p} (p_{v1} - p_{v2}) \quad (9)$$

- $p_v(x)$... částečný tlak vodní páry v bodě x [Pa]
 p_{v1} ... částečný tlak vodní páry na levé straně stěny [Pa]
 p_{v2} ... částečný tlak vodní páry na pravé straně stěny [Pa]
 $Z_p(x)$... difuzní odpor od levé strany stěny do vzdálenosti x [m/s]
 Z_p ... celkový difuzní odpor stěny [m/s]

Pro N-materiálových vrstev platí:

$$Z_p = \sum_{i=1}^N \frac{s_{d,i}}{\delta_{pa}} \quad (10)$$

- Z_p ... celkový difuzní odpor stěny [m/s]
 $s_{d,i}$... ekvivalentní difuzní tloušťky jednotlivých vrstev [m]
 δ_{pa} ... součinitel difuze [s]

Následně lze vyšetřit riziko kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce. V praxi se používá metodika z normy. Pro tuto metodu je uvažováno několik zjednodušení – zanedbání hygroskopické povahy materiálu, zanedbání kapilárního transportu. Tato zjednodušení mohou vést ke značné odchylce výsledku od reálného chování konstrukce.

Metodika specifikuje postup výpočtu v několika krocích:

- Výpočet průběhu teplot v konstrukci v ustáleném stavu,
- z průběhu teplot v konstrukci dopočíst průběh částečného tlaku vodní páry na mezi nasycení,
- výpočet teoretického průběhu částečných tlaků vodní páry,
- vnesení průběhu částečného tlaku vodní páry na mezi nasycení a teoretického průběhu tlaku vodní páry do grafu v souřadnicové soustavě $x=Z_p$, $y=p_v$,
- pokud se úsečka teoretického průběhu vodní páry dostane nad úsečku průběhu vodní páry na mezi nasycení, dochází zde ke kondenzaci.

[5] [6]

2.2.2 Neustálený stav

Během procesu difuze se snižuje koncentrační gradient a to znamená, že koncentrace závisí jak na čase, tak na prostorové souřadnici. Difuzí se obecně mění koncentrace v trojrozměrném prostoru v čase, a proto je potřeba najít funkci $w(x,y,z,t)$. Pokud se k 1. Fickovu zákonu přidá podmínka hmotné bilance – vlhkost mění svoje rozložení v prostoru a čase, ale její množství se zachovává, výsledkem bude diferenciální rovnice, známá též jako 2. Fickův zákon. Ten tedy vyjadřuje změnu rozložení vlhkosti s časem. Potom se časová změna určí následujícím vztahem. [7]

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial g}{\partial x} \quad (11)$$

w ... objemová vlhkost [g/g]

t ... čas [s]

g ... hustota difuzního toku [kg/(m²s)]

x ... vzdálenost [m]

2.3 Normy

Norma ČSN EN ISO 12572: Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlastností prostupu vodní páry – Misková metoda uvádí postup experimentu a jeho okrajové podmínky pro určení faktoru difuzního odporu. Tato norma je českou verzí mezinárodní normy ISO 12572:2016. Postup popsáný v této normě není striktně dodržen. Odchytky od tohoto předpisu jsou popsány dále v kapitole 3.2.1 Metody.

Předmětem dokumentu je specifikace metody založené na miskových zkouškách. Výsledné hodnoty jsou vhodné pro návrhové účely. Zkušební sestavy (vzorky osazené na miskách) se dělí do dvou skupin, a to v závislosti na obsahu misky (vysoušedlo – suchá miska, vodný nasycený roztok – mokrá miska). Zkušební sestava se vloží do komory, kde je konstantní teplota a konstantní relativní vlhkost vzduchu. Vlivem rozdílného částečného tlaku vodní páry v misce a zkušební komoře dochází k prostupu vodní páry přes vzorek. Sestava zkušební vzorku se pak pravidelně váží.

Pro experiment musí být použity zkušební misky odolné proti korozi, kterou by mohl způsobit solný roztok nebo vysoušedlo. Doporučuje se použít misky z průsvitného materiálu z důvodu kontroly roztoku. Pro vymezení těsnění vzorku se používá šablona, která svým tvarem a velikostí odpovídá zkušební misce. Šablona je vytvořena pro přesné a reprodukovatelné vymezení stanovené zkušební plochy. Její plocha je minimálně 90 % plochy vzorku, aby se omezil nelineární tok vodních par. Jako těsnící materiál musí být použit materiál, který nepropouští vodní páru a nepodléhá změnám během měření. Pro vážení jsou potřeba analytické váhy s přesností na 0,001 g. V případě těžké zkušební sestavy postačí přesnost 0,01 g. Vzorek se vloží do komory s konstantní vlhkostí a teplotou jejíž odchylka může být $\pm 1,0$ K od požadované teploty a odchylka relativní vlhkosti vzduchu $\pm 5,0$ %. V komoře musí být zajištěné proudění vzduchu v rozmezí 0,02 m/s až 0,3 m/s proto, aby byly zajištěny rovnoměrné podmínky. Pro dokumentaci podmínek v komoře je nutné použít kalibrovaný snímač, který nepřetržitě zaznamenává teplotu a relativní vlhkost vzduchu, popř. atmosférický tlak.

Průměr reprezentativního vzorku musí být minimálně dvojnásobek jeho tloušťky. Plocha difuzně otevřené plochy musí být nejméně 0,005 m². Vrchní a spodní plocha testovacího vzorku se nesmí lišit o více než 3 %. Tloušťka vzorku by měla být stejná jako tloušťka výrobku v případě jeho použití. Počet zkušebních vzorků je při ploše vzorku větší než 0,05 m² minimálně tři. Před počátkem zkoušky se vzorky nakondicionují

při teplotě $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ a relativní vlhkosti vzduchu $50\% \pm 5\%$. Jejich hmotnost musí být ustálená. To znamená, že se jejich hmotnost nesmí za 24 hodin změnit o více než 5 % jejich hmotnosti. Doba uložení je nejméně 6 hodin.

Zkušební podmínky jsou blíže specifikovány v tabulce 1. Před započítáním experimentu se změří tloušťka vzorku na nejbližší 0,2 mm nebo s přesností $\pm 5\%$ podle toho, co je přesnější. Měření proběhne ve čtyřech různých místech vzorku po jeho obvodu. Poté se do misky vloží vysoušedlo nebo nalije nasycený vodný roztok soli tak, aby jeho výška byla ode dna misky minimálně 15 mm. Vzduchová mezera mezi vysoušedlem, popřípadě roztokem musí být $15\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$.

Sada	Podmínky °C – % RH	Teplota °C	Tolerance			
			Relativní vlhkost ^a %			
			Suchý stav		Vlhký stav	
			Nastavená hodnota	Tolerance	Nastavená hodnota	Tolerance
A	23–0/50	23 ± 1	0	+5	50	± 5
B	23–0/85	23 ± 1	0	+5	85	± 5
C	23–50/93	23 ± 1	50	± 5	93	± 5
D	38–0/93	38 ± 1	0	+5	93	± 3
E	23–50/100	23 ± 1	50	± 5	100	

POZNÁMKA 1 Metoda „suché misky“ (podmínky A) poskytuje informaci o chování materiálů při nízkých vlhkostech vzduchu, kdy přenos vlhkosti dominuje difúzí vodní páry. Metoda „mokré misky“ (podmínky C) podává přehled o chování materiálů při vysoké vlhkosti vzduchu. Při vyšších vlhkostech se póry materiálu začínou naplňovat vodou; tímto se zvyšuje přenos kapalné vody a naopak se snižuje přenos vodní páry. Zkoušky v této oblasti tudíž poskytují některé informace o přenosu kapalné vody uvnitř materiálu. Toto je dále rozebráno v ISO 15148.

POZNÁMKA 2 Podmínky E se používají pro vzorky s nízkým difúzním odporem ($S_d \leq 0,1\text{ m}$).

^a Nasycené roztoky soli, které regulují relativní vlhkost v misce v určité hodnotě menší než 100 %, se používají, protože s mnoha materiály existuje nebezpečí kondenzace vzniklé na spodní straně vzorku, což narušuje tok vodních par. V případě materiálů s velmi nízkým difúzním odporem s hodnotou $S_d < 0,1\text{ m}$, jsou rychlosti toku par tak vysoké, že a) kondenzace je nepravděpodobná a b) nasycený roztok soli nemůže zůstat v rovnovážném stavu po dobu trvání zbytku. V takovém případě by měla být destilovaná voda použita ve zkušební misce. Další informace o použití nasycených solných roztoků jsou uvedeny v článku 9.6.

Tab. 1 Zkušební podmínky [8]

Vzorky osazené na zkušební misky se vloží do komory a následně se pravidelně váží v časových intervalech zvolených dle vlastností měřených materiálů. Vážení probíhá do té doby, dokud není docíleno pěti po sobě jdoucích vážení, kdy je změna hmotnosti všech vzorků v rozmezí $\pm 5\%$ průměrné hodnoty jejich hmotnosti. Tento průběh změny hmotnosti v závislosti na čase se vynese do grafu. [8]

3 Experimentální část

3.1 Vlastnosti materiálů

V následující tabulce jsou uvedeny vlastnosti materiálu s jejich charakteristickými hodnotami, které udává výrobce. S těmito hodnotami je dále uvažováno ve výpočtech.

Vlastnosti					
Materiály		Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Tepelná vodivost λ [W/(mK)]	Měrná tepelná kapacita c [J/kgK]	Faktor difuzního odporu μ [-]
	Steico Flex 038	50	0,038	2100	1
	Steico Protect Dry Typ H	180	0,043	2100	3
	OSB	-	-	-	-
	Sádrokarton	750	0,210	-	8
	Baumit UniPrimer	1650	-	-	150
	Baumit Pro Contact	-	0,800	-	18
	Baumit SilikonTop	1800	0,700	-	40-60

Tab. 2 Vlastnosti materiálů

3.2 Faktor difuzního odporu OSB desek

3.2.1 Metody

Faktor difuzního odporu materiálu je vlhkostně závislá veličina. Pro jednoduchou charakteristiku této vlastnosti výrobci často uvádějí pouze jednu hodnotu stanovenou zpravidla při zkušebních podmínkách A nebo C (viz kapitola 2.3 Normy). Úkolem tohoto experimentu je naměřit více bodů funkce faktoru difuzního odporu v závislosti na jeho střední relativní vlhkosti, respektive jeho střední hmotnostní vlhkosti. Při pohledu na adsorpční a desorpční větve izotermu materiálu, je patrné, že jedna hodnota relativní vlhkosti okolí vzorku odpovídá rozsahu hodnot jeho hmotnostní vlhkosti (rozmezí hodnot mezi adsorpční a desorpční izotermou). Pečlivě navrženým postupem bude dosaženo při ustálení hmotnostního toku, střední hmotnostní vlhkosti měření odpovídající bodu buď na adsorpční nebo desorpční izotermě. Postup experimentu se převážně řídil normou ČSN EN ISO 12572: Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlastností prostupu vodní páry – Misková metoda. Rozkol nastává při volbě sady zkušebních podmínek. Jak bylo zmíněno, faktor difuzního odporu je funkce, a proto je potřeba použít jiné sady teplot a relativních vlhkostí v jemnějším měřítku. Sady jsou specifikovány v tabulce 3 Sady relativních vlhkostí při měření na adsorpční izotermě a tabulce 4 Sady relativních vlhkostí při měření na desorpční izotermě.

	Relativní vlhkost uvnitř misky RH_{cup}	Relativní vlhkost uvnitř exsikátoru RH_{exs}
1. sada	43,16 %	22,75 %
2. sada	58,20 %	43,16 %
3. sada	84,65 %	58,20 %

Tab. 3 Sady relativních vlhkostí při měření na adsorpční izotermě

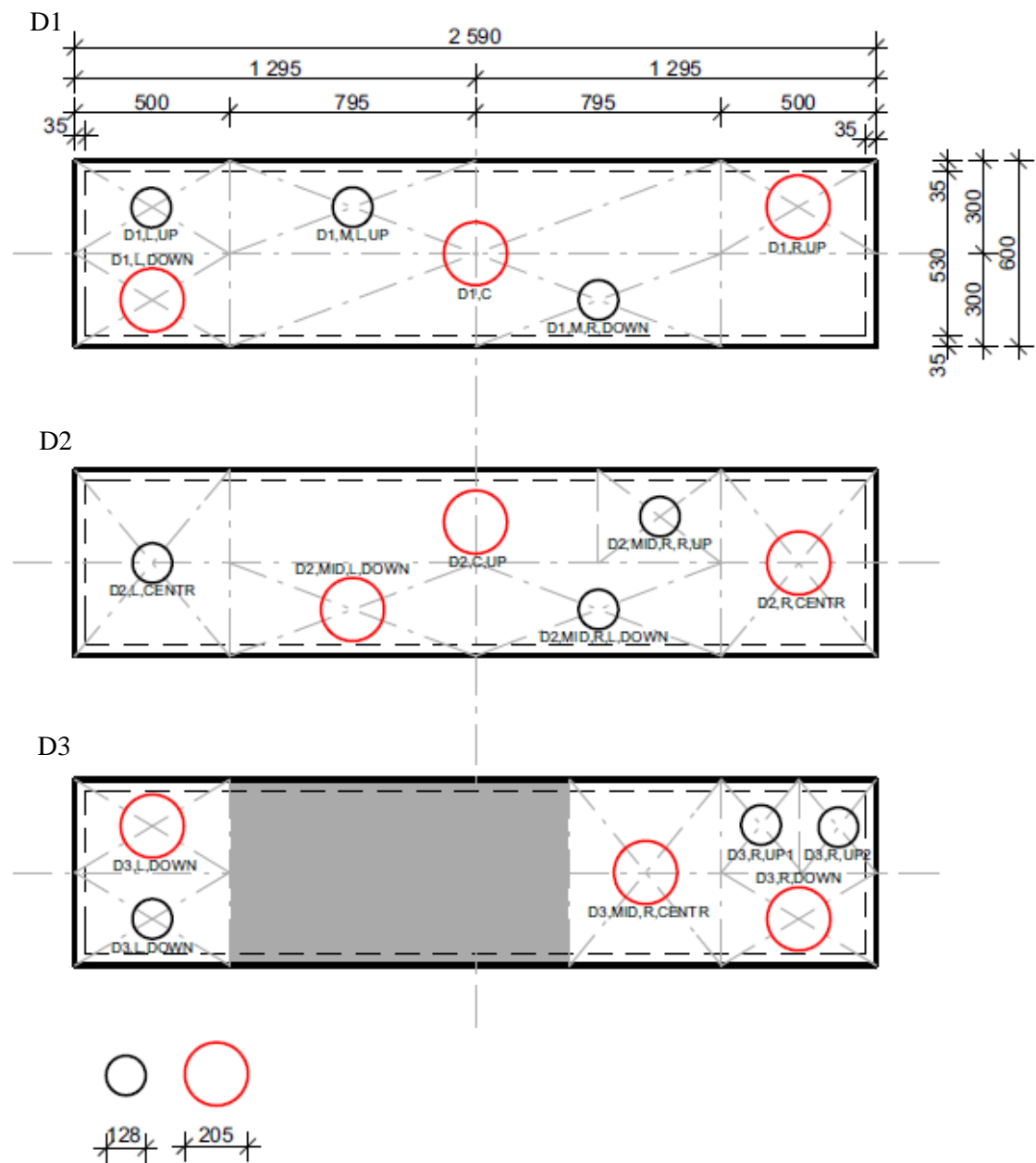
	Relativní vlhkost uvnitř misky RH_{cup}	Relativní vlhkost uvnitř exsikátoru RH_{exs}
1. sada	84,65 %	58,20 %
2. sada	58,20 %	43,16 %
3. sada	43,16 %	22,75 %

Tab. 4 Sady relativních vlhkostí při měření na desorpční izotermě

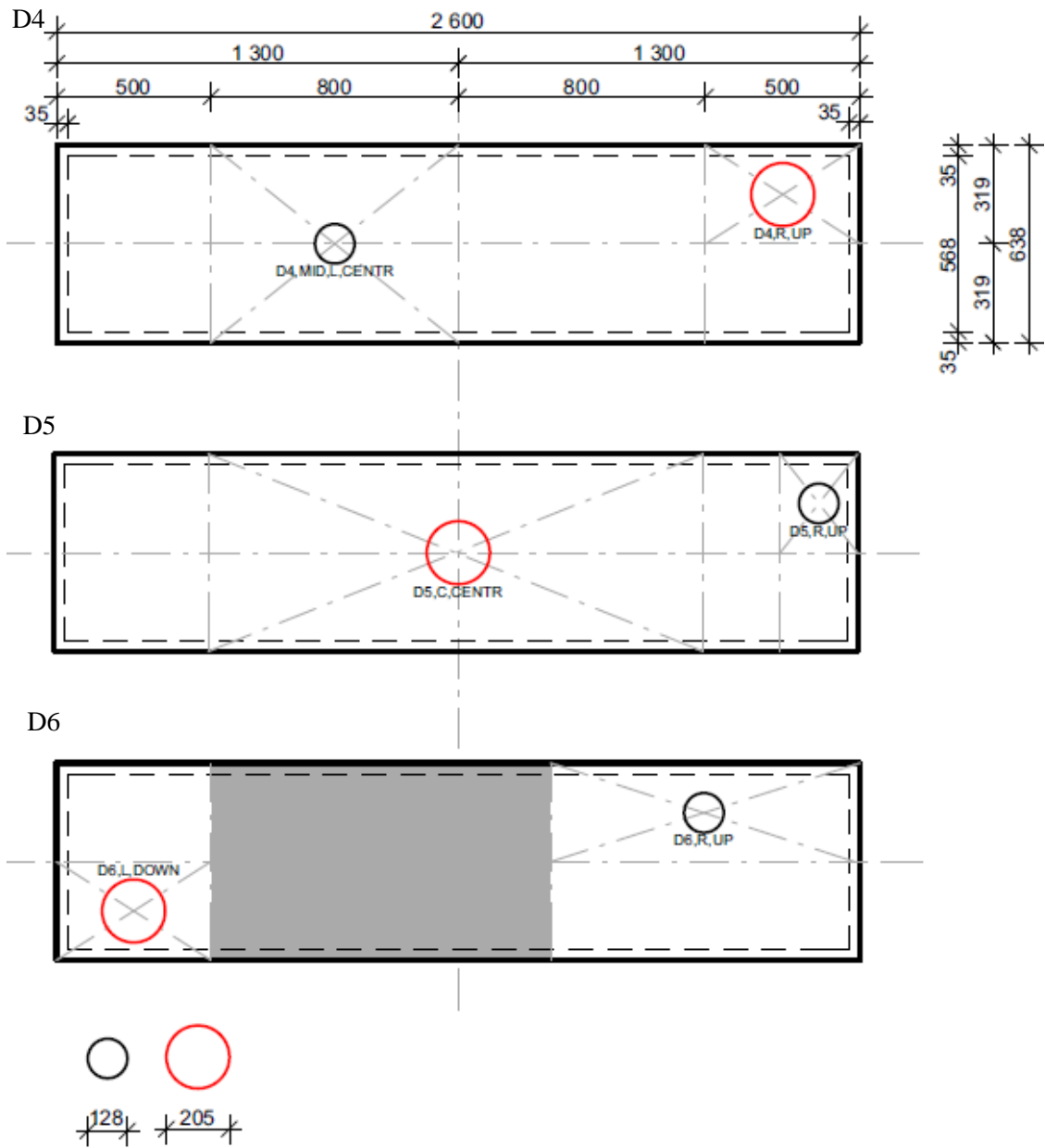
Dále nebylo provedeno kondicionování v relativní vlhkosti vzduchu $50 \% \pm 5 \%$ při teplotě $23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ jak udává norma, ale v relativní vlhkosti, kterou tvoří nasycený roztok soli, který byl umístěn do misky při experimentu. Do misky bylo nalito menší množství roztoku, než jaké udává norma (s ohledem na předepsanou vzdálenost hladiny roztoku od vzorku) pro snížení rizika omočení vzorku během manipulace s miskami. Na tuto změnu byla zavedena korekce výšky nehybné vrstvy vzduchu nad roztokem.

3.2.2 Vzorky

Pro experiment bylo použito šest OSB desek, z toho tři desky typu Superfinish eco a tři desky typu Airstop. Vzorky byly navrženy ve dvou velikostech. Malé vzorky o průměru 128 mm určeny pro měření na desorpční izotermě a velké vzorky o průměru 205 mm pro měření na adsorpční izotermě. Z každé desky bylo vyříznuto dva až šest reprezentativních vzorků. Na obrázcích 3 a 4 je patrné, že vzorky byly odebírány po celé ploše desek, aby naměřené hodnoty co nejvíce vypovídaly o reálném chování dřevovláknitých desek. Dva šedě vyznačené obdélníkové vzorky o rozměru 600 x 1100 mm byly použity v dalším experimentu v malé klimatické dvojkomoře.



Obr. 3 Rozmístění vzorků – OSB Superfinish eco



Obr. 4 Rozmístění vzorků – OSB Airstop

3.2.3 Použité přístroje a pomůcky

Laboratorní váhy

Na vážení v průběhu všech zkoušek byly použity analytické laboratorní váhy. Pro vážení sady menších vzorků (měření na desorpční izotermě) byly použity váhy AND GX-1000 s přesností na tři desetinná místa v gramech, váživostí 1 100 g a citlivostí 1 mg. Pro vážení sady větších vzorků (měření na adsorpční izotermě) byly použity váhy AND GX-4000 s přesností na dvě desetinná místa v gramech, váživostí 4 100 g a citlivostí 10 mg. [9]

Sušárny s nucenou cirkulací

Pro doplňkový experiment stanovení objemové hmotnosti OSB desek byla použita laboratorní horkovzdušná sušárna BINDER. Vzorky se sušily do té doby, než jejich hmotnostní rozdíl netvořil více než 0,1% hmotnosti za 24 hodin. Poté se vzorky považovaly za suché. [10]

Posuvná měřidla

Pro stanovení rozměrů menších vzorků bylo použito digitální posuvné měřidlo s přesností na dvě desetinná místa. Výrobce udává maximální rozmezí pro měření 150 mm. Pro stanovení rozměrů větších vzorků nebylo toto měřidlo dostačující, a proto bylo použito mechanické posuvné měřidlo s rozmezím měřitelnosti 500 mm.

Kalibrované snímače teploty, vlhkosti a barometrického tlaku

Pro stanovení podmínek v laboratoři byl použit nástěnný snímač vnitřní teploty, relativní vlhkosti a barometrického tlaku. Dále byly použity snímače teploty a relativní vlhkosti COMET System umístěné uvnitř zkušebních komor. [11]

Chemické roztoky

Pro tento experiment byly použity následující nasycené roztoky solí:

Octan draselný CH_3COOK	22,75 % RH,
Uhličitan draselný K_2CO_3	43,16 % RH,
Bromid sodný NaBr	58,20 % RH,
Chlorid draselný KCl	84,65 % RH.

Roztoky solí CH_3COOK , NaBr a KCl jsou netoxické a není s nimi potřeba speciálního zacházení. Při manipulaci jsou potřeba běžné ochranné pomůcky jako rukavice a brýle. Sůl K_2CO_3 je klasifikovaná jako zdraví škodlivá – dráždí oči, kůži a dýchací cesty. Je potřeba zamezit jejímu kontaktu s povrchovou vodou, podzemní vodou a s půdou. Pro likvidaci je třeba povolat odbornou firmu. Tato látka vyžaduje zacházení se zvýšenou pozorností. Je nutno použít nejen rukavice z přírodního latexu, uzavřené brýle, ale i polomasku.

Voda

Na přípravu všech roztoků byla použita demineralizovaná voda.

Molekulové síto

Molekulové síto je pórovitá granulovaná hlinitokřemičitá látka používaná jako pohlcovač vlhkosti. Síto bylo použito při ustalování suchých vzorků před vážením. Vzorky byly primárně sušeny v horkovzdušné sušárně, následně byly vyjmuty a vloženy do exsikátoru s molekulovým sítem, které tvoří 0 % RH, aby při chladnutí nepojímaly vlhkost z okolního prostředí laboratoře.

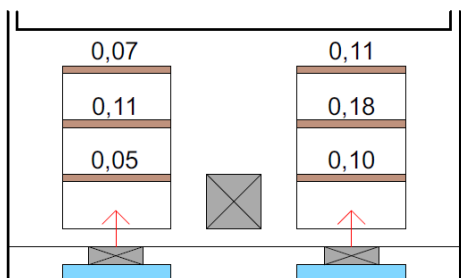
Zkušební komora

Pro zajištění normou požadovaných podmínek bylo potřeba rozmístit ventilátory v komoře tak, aby zajišťovaly nad každým vzorkem rychlost proudění vzduchu v rozmezí 0,02 m/s až 0,3 m/s.

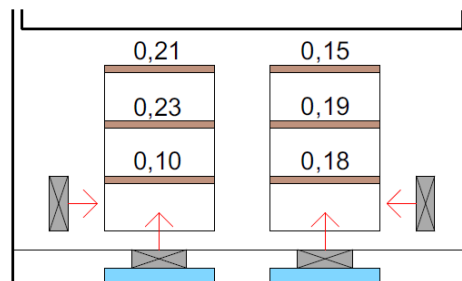
Sada malých vzorků byla umístěna v plastových exsikátorech. V každém z nich jsou tři ventilátory otočeny do různých směrů. Ověření rychlosti proudění vzduchu bylo provedeno před zahájením experimentu.

Sada větších vzorků byla vložena do skleněných exsikátorů, kde bylo potřeba experimentálně najít vhodný počet ventilátorů a jejich kombinaci pro splnění normou stanoveného požadavku. Na následujících schématech je vyobrazeno rozmístění ventilátorů a naměřené rychlosti proudění vzduchu vyjádřené jako minutové průměry. Hodnoty jsou uváděny v m/s.

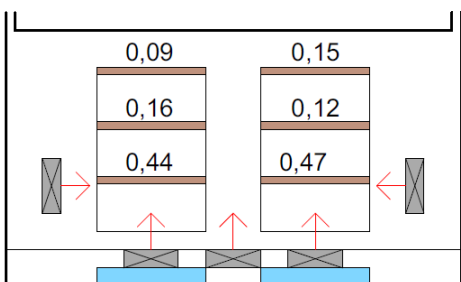
Do zkušebního víka byly vykrouženy dva otvory přibližně nad středem zkušebních vzorků. Pro měření rychlosti vzduchu byl použit anemometr, který se vložil do exsikátoru kolmo na vzorek. Nad některými vzorky nebylo možné přes otvory v komoře dosáhnout zcela kolmé polohy snímače ke směru proudění, což v této úvodní vyhledávací části nebylo zcela zásadní.



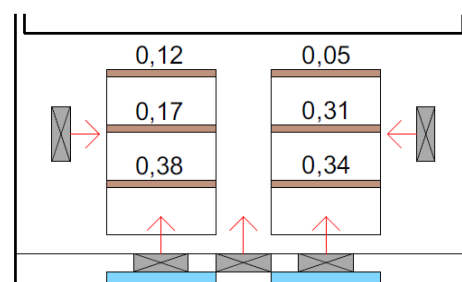
Obr. 5 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 1



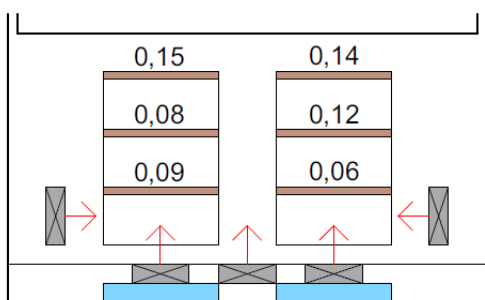
Obr. 6 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 2



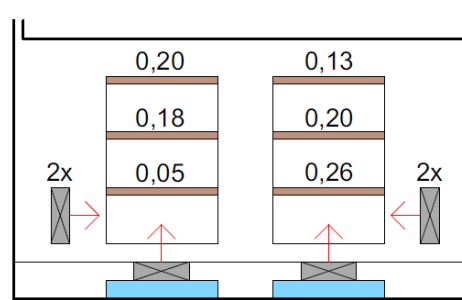
Obr. 7 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 3



Obr. 8 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 4



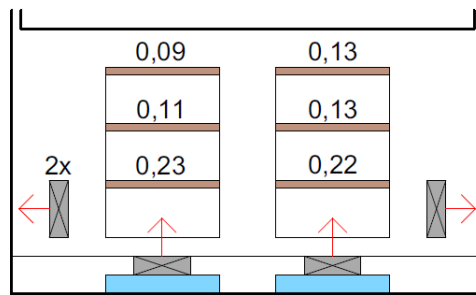
Obr. 9 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 5



Obr. 10 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 6

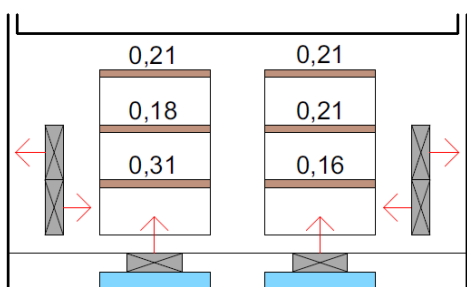


Obr. 11 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 7

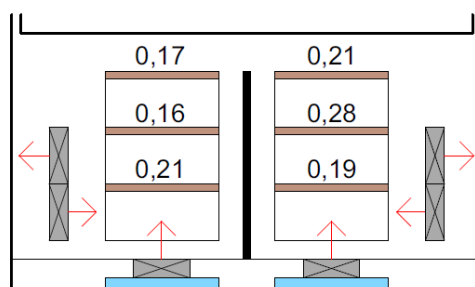


Obr. 12 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 8

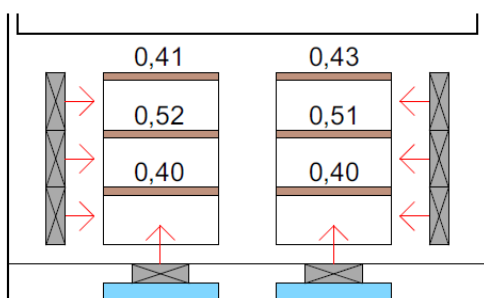
Protože se hodnoty vlivem mírně rozdílné polohy čidla vzhledem ke směru proudění podstatně lišily, bylo vytvořeno nové víko z kartonu. Do kartonu byly vystřiženy další otvory, a to ve čtyřech místech vždy přesně vedle kovové konstrukce pro ukládání vzorků. Hodnoty naměřené zprava a zleva se zprůměrovaly a dále bylo uvažováno s průměrnou hodnotou proudění vzduchu.



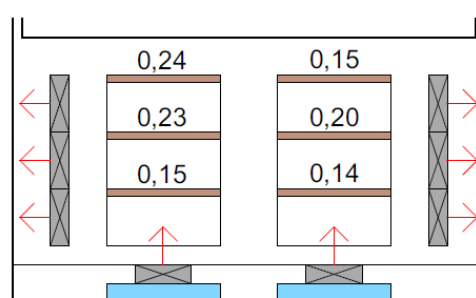
Obr. 13 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 9



Obr. 14 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 10



Obr. 15 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 11



Obr. 16 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru –
varianta 12

Jako výsledná varianta byla zvolena varianta číslo 12. Pro co největší přesnost byly do skleněného exsikátoru vykrouženy další tři otvory. Výška byla zvolena tak, aby bylo možné vložit anemometr do stejné polohy nad každý vzorek a kontrolní měření varianty 12 proběhlo znovu.



Obr. 17 Výsledné rozmístění ventilátorů v komoře

Anemometr

Pro měření rychlosti proudění vzduchu byl použit anemometr Testo s pevně připojenou teleskopickou sondou. [12]

Butylkaučuková páska

Pro utěsnění spojů a spár byla použita elastická butylkaučuková páska, která je určena pro trvalé vodotěsné a parotěsné spojení.

Těsnící hmota Terostat

Při zavádění sondy anemometru do exsikátoru se musel otvor ve stěně komory utěsnit. Pro tyto účely byla použita kaučuková těsnící hmota Terostat, aby okolní prostor nikterak neovlivňoval prostředí v komoře.

Vazelína

Další materiál pro utěsnění vzorků je vazelína. Ta byla použita speciálně na skleněné mezikruží popsané níže.

Skleněné misky

Pro osazení menších vzorků byly použity skleněné misky o objemu 500 ml.

Hliníkové misky

Pro osazení větších vzorků byly použity hliníkové misky, do kterých se za vyšší teploty vtlačila kancelářská fólie z důvodu ochrany před chemickou reakcí mezi roztokem soli a hliníkem.

Skleněné mezikruží

Pro snazší manipulaci s odjímáním vzorků z hliníkových misek bylo vyrobeno skleněné mezikruží, jehož vnitřní průměr je stejný jako průměr misky.

Odměrná nádoba

Odměrná nádoba byla po dobu experimentu používána na přesné odměření objemu roztoků.

3.2.4 Postup měření

3.2.4.1 Měření na desorpční izotermě

Pro měření bylo použito dvanáct vzorků tloušťky 15 mm. Devět z nich bylo typu OSB Superfinish eco a tři typu OSB Airstop. Vzorky byly před začátkem experimentu kondicionovány, tzn. ustáleny za daných podmínek.



Obr. 18 Kondicionování vzorků v 85 % RH

Pro měření prvního bodu byl použit nasycený roztok KCl, který vytváří prostředí s relativní vlhkostí vzduchu $84,65 \% \pm 0,27 \%$. Po ustálení hmotnosti vzorků v dané relativní vlhkosti vzduchu bylo možné začít s osazením vzorků na skleněné misky. Do misek bylo nalito 120 ml nasyceného roztoku KCl, ve kterém byly vzorky ustáleny. Vzorky se nejprve zvažily a následně byly obaleny po výšce butylkaučukovou páskou tak, aby tmel nezasahoval do horní či dolní plochy vzorku. Poté byly centricky osazeny na misku. Po celé délce spáry byly vzorky ještě jednou překryty páskou, aby bylo zabráněno unikání vodní páry spojem. Opět proběhlo vážení vzorků. Následně byly misky se vzorky umístěny do exsikátorů s relativní vlhkostí vzduchu $58,20 \% \pm 0,42 \%$, kterou tvoří roztok NaBr. Vzorky se pravidelně vážily dvakrát týdně dokud se difuzní tok neustálil.

V následující tabulce je uvedeno rozdělení vzorků do dvou zkušebních sad.

Sada 1	Sada 2
D1,M,R,DOWN	D1,L,UP
D1,M,L,UP	D2,MID,R,L,DOWN
D2,MID,R,R,UP	D2,L,CENTR
D3,R,UP2	D3,R,UP1
D3,L,DOWN	D4,MID,L,CENTR
D6,R,UP	D5,R,UP

Tab. 5 Rozdělení vzorků pro měření na desorpční izotermě

Po vyhodnocení faktoru difuzního odporu v prostředí 84,65 % RH/58,20 % RH, který se měřil déle jak měsíc, byly vzorky vyříznuty vylamovacím nožem z původních misek. Vzorky se zvážíly a změřily se rozměry digitálním posuvným měřidlem. Nově se vzorky osadily na misky, ve kterých bylo připraveno 120 ml roztoku soli NaBr. Opět se po obvodě utěsnily butylkaučukovou páskou jako v první fázi osazování a zvážíly se. Poté byly přemístěny do komory s relativní vlhkostí vzduchu 43,16 % ± 0,37 %, kterou tvoří roztok K₂CO₃.

Tato zkouška je velmi časově náročná a i přesto, že začalo měření dalšího bodu, nedošlo ani po měsíci a půl k ustálení difuzního toku, a tak nebylo možné vyhodnotit faktor difuzního odporu pro další střední hodnotu relativní vlhkosti.



Obr. 19 Příprava roztoku do misek



Obr. 20 Osazený vzorek na misce



*Obr. 21 Vzorky na skelných miskách
v exsikátoru – sada 1*



*Obr. 22 Vzorky na skelných miskách
v exsikátoru – sada 2*

3.2.4.2 Měření na adsorpční izotermě

Pro měření faktoru difuzního odporu na adsorpční izotermě bylo připraveno dvanáct vzorků tloušťky 15 mm. Devět z nich bylo typu OSB Superfinish eco a tři typu OSB Airstop. Vzorky byly před začátkem experimentu kondicionovány, tzn. ustáleny za daných podmínek.



Obr. 23 Kondicionování vzorků v 23 % RH

Pro měření prvního bodu byl v komoře použit nasycený roztok CH_3COOK , který vytváří prostředí s relativní vlhkostí vzduchu $22,75 \% \pm 0,29 \%$. Vzorky byly před experimentem vloženy do exsikátoru a ustáleny při relativní vlhkosti vzduchu $43,16 \% \pm 0,37 \%$, kterou vytváří nasycený roztok soli K_2CO_3 . Poté se mohly osadit na hliníkové misky. V prvním kroku se na misky položila kancelářská fólie a takto se miska i s fólií vložila do sušárny. Po změknutí fólie se miska odebrala ze sušárny a fólie se do ní vtláčila předem vyrobeným vzorkem OSB desky, který měl stejný průměr jako miska, aby se fólie vytvarovala přesně podle dna. Chemikálie, které se v laboratoři UCEEB používají mohou reagovat s hliníkem, proto bylo použito toto opatření.



Obr. 24 Hliníková miska



Obr. 25 Hliníková miska s fólií

Do misek bylo nalito 200 ml roztoku K_2CO_3 . Ihned po odebrání vzorku ze zkušební komory byl vzorek zvážen. Na horní plochu vzorku se tužkou obkreslil obvod skleněného mezikruží. Do této vzdálenosti byla zatažena butylkaučuková páska, kterou se vzorek obaloval po krajích. Ke stejnému zakrytí spodní plochy dojde osazením vzorku na skleněné mezikruží. Vzorek by měl mít stejnou spodní i horní difuzně otevřenou plochu z důvodu eliminace nerovnoměrného prostupu vodní páry vzorkem. Následně se stejná páska nalepila i na obvod skleněného mezikruží a vzorek se centricky osadil a do pásky mírně zatlačil. Spoj byl znovu zaizolován páskou. Mezikruží se natřelo vazelínou a posadilo na misku. Vazelína byla použita proto, že při měření faktoru difuzního odporu v dalším bodě bude jednodušší manipulace s odejmutím vzorku z misky a osazením na novou. Opět byl vzorek osazený na misku zvážen. Následně byly všechny vzorky vloženy do kovových rámců. Jeden rám umožňoval vložení třech vzorků.

V následující tabulce je uvedeno rozdělení vzorků do dvou zkušebních sad.

Sada 1	Sada 2
D1,R,UP	D1,L,DOWN
D1,C	D2,C,UP
D2,MID,L,DOWN	D2,R,CENTR
D3,L,UP	D3,R,DOWN
D3,MID,R,CENTR	D5,C,CENTR
D4,R,UP	D6,L,DOWN

Tab. 6 Rozdělení vzorků pro měření na adsorpční izotermě

U této zkoušky nebylo možné vyhodnotit faktor difuzního odporu, protože ani po dvou a půl měsících nedochází k ustálení difuzního toku.



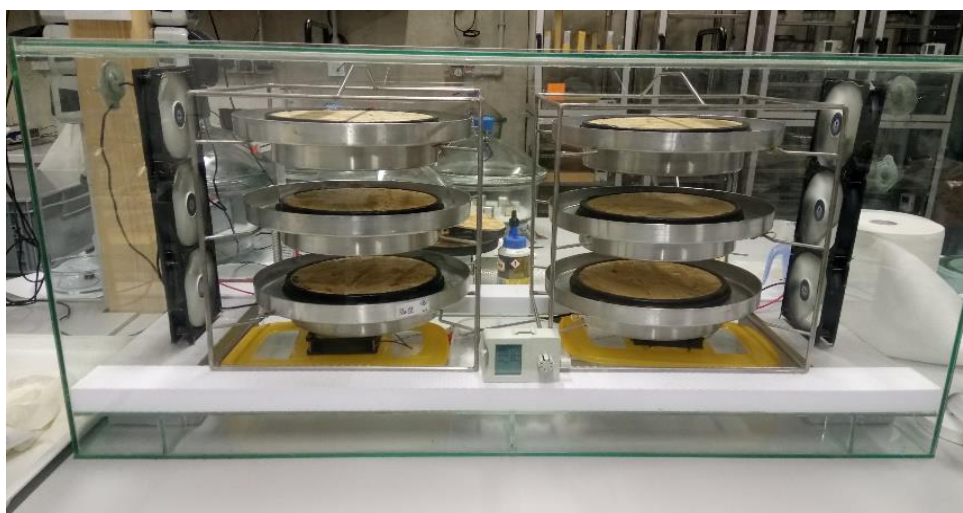
Obr. 26 Skleněné mezikruží



Obr. 27 Vzorek obalený butylkaučukovou páskou



Obr. 28 Vzorek osazený na mezikruží



Obr. 29 Vzorky na hliníkových miskách v exsikátoru

3.2.5 Zpracování dat

V kapitole 2.1.1. Difuze vodní páry je uvedeno, že 1. Fickův zákon říká, že hustota difuzního toku je úměrná záporně vzatému gradientu koncentrace vodní páry. To vyjadřuje následující vzorec.

$$g = \frac{D_a}{\mu} \frac{\Delta v}{d} \quad (12)$$

g ... hustota difuzního toku [kg/(m²s)]

D_a ... součinitel difuze vodní páry ve vzduchu [m²/s]

μ ... faktor difuzního odporu [-]

Δv ... rozdíl koncentrací vodní páry [kg/m³]

d ... tloušťka vrstvy [m]

Dále byl použit vzorec pro výpočet difuzního toku.

$$G = A g \quad (13)$$

G ... difuzní tok [kg/s]

A ... vystavená plocha vzorku [m²]

g ... hustota difuzního toku [kg/(m²s)]

Sloučením tří vzorců (8), (12) a (13) a jejich následnou úpravou vznikne vzorec pro výpočet faktoru difuzního odporu.

$$\mu = \frac{\delta_a \Delta p_v A \Delta t}{d \Delta m} \quad (14)$$

μ ... faktor difuzního odporu [-]

δ_a ... součinitel difuze vodní páry nehybného vzduchu [kg/(m s Pa)]

Δp ... rozdíl tlaků vodní páry [Pa]

A ... vystavená plocha vzorku [m²]

Δt ... čas [s]

d ... tloušťka vrstvy [m]

Δm ... rozdíl hmotností [kg]

[7] [4]

Dále byly ve výpočtu zahrnuty následující korekce:

- korekce na vztlak,
- korekce zakrytých okrajů vzorků,
- korekce vrstvy vzduchu.

Následně byly vyhodnoceny nejistoty, a to:

- nejistota typu A – nejistoty náhodné,
- nejistota typu B – nejistoty ze známých vlivů. [13]

3.3 Transport vodní páry ve skladbě

3.3.1 Metody

Na materiály použité ve skladbě obvodové konstrukce se kladou další požadavky. Specifikuje je norma ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov – Část 2, která mimo jiné řeší i šíření vodní páry v konstrukcích. Uvádí, že v konstrukcích, kde by zkondenzovaná voda mohla ohrozit požadovanou funkci konstrukce, nesmí kondenzát vzniknout. Pro stavební konstrukci, kdy kondenzát neohrožuje její požadovanou funkci, je dána podmínka. Tou je, že u konstrukcí, ve kterých jsou zabudovány dřevěné prvky, musí být množství kondenzátu menší nebo rovno $0,10 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{a})$. Dále je nutné u materiálu dřevěných či na bázi dřeva dodržet jeho povolenou vlhkost. Pokud je hmotnostní vlhkost materiálu vyšší než 18 %, dochází k ohrožení funkce. V normě je dále uvedeno kritérium, které musí být splněno u všech konstrukcí a to, že v roční bilanci kondenzace a vypařování vodní páry nesmí zůstat v konstrukci žádné množství kondenzátu. [6]

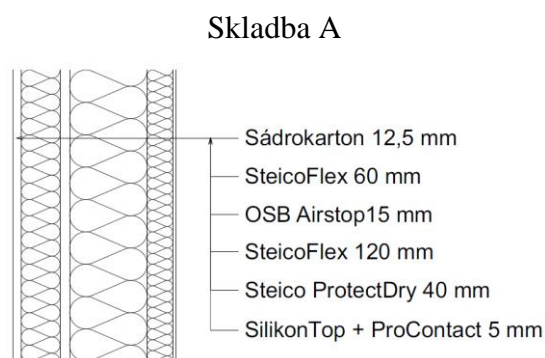
Bylo tedy potřeba prozkoumat chování konstrukce a posoudit, jestli během ročního cyklu nedojde k ohrožení její funkce. V první části experimentu se skladba osadila do klimatické dvojkomory, vložily se do ní čidla a sledoval se průběh teplot a relativních vlhkostí. V druhé části byla vytvořena simulace v počítačovém softwaru a jednotlivé průběhy teplot a relativních vlhkostí byly porovnány. Pro tento experiment byly navrženy jednotlivé fáze, kdy každá měla nastaveny jiné okrajové podmínky. V první fázi byla v interiéru 48% relativní vlhkost a $23 \text{ }^\circ\text{C}$, což jsou běžné podmínky prostředí v interiéru obytných místností. V exteriéru byla nastavena teplota $-15 \text{ }^\circ\text{C}$, která simuluje zimní stav. Regulace vlhkosti v klimakomoře ale nebyla možná. Zařízení nedokáže při takto nízkých teplotách udržet nastavenou relativní vlhkost. V další fázi se změnila pouze vlhkost v interiéru na 60 %, která má představovat interiér, kde se běžně vyskytuje vyšší relativní vlhkost jako například v koupelnách. V poslední fázi se změnilo okrajové podmínky ze strany exteriéru a to tak, že se teplota zvýšila na $-5 \text{ }^\circ\text{C}$.

	Teplota v interiéru T_{int}	Relativní vlhkost v interiéru RH_{int}	Teplota v exteriéru T_{ext}	Relativní vlhkost v exteriéru RH_{ext}
1. fáze	23 °C	48 %	-15 °C	Bez regulace
2. fáze	23 °C	60 %	-15 °C	Bez regulace
3. fáze	23 °C	62 %	-5 °C	Bez regulace

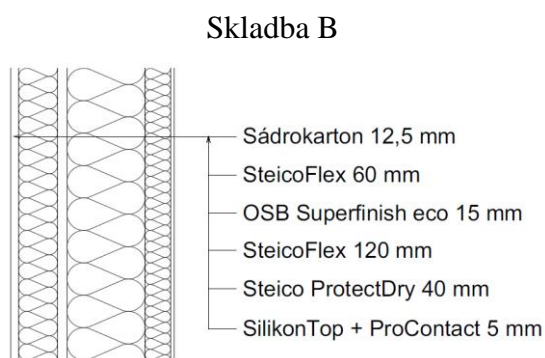
Tab. 7 Fáze experimentu v klimakomoře

3.3.2 Vzorky

Pro experiment v klimatické dvojkomoře byly navrženy dvě skladby obvodové konstrukce, které se lišily se pouze v materiálu parobrzdné vrstvy. Ve skladbě A byla uvažována OSB deska Airstop a v druhé skladbě B byla použita OSB deska typu Superfinish eco. Místa odběru vzorku OSB desky jsou znázorněna na obrázcích 3 a 4.

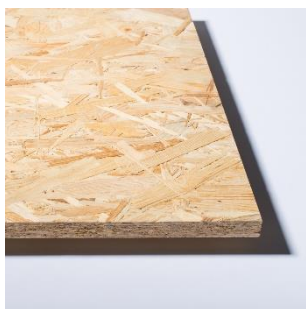


Obr. 30 Skladba A



Obr. 31 Skladba B

Do obou skladeb byly použity stejné dřevovláknité izolace Steico Flex jednou v tloušťce 60 mm a jednou v tloušťce 120 mm. Dále byla použita tuhá dřevovláknitá izolace Steico Protect dry v tloušťce 40 mm. Ze strany interiéru byla konstrukce zaklopena sádrokartonovou deskou v tloušťce 12,5 mm. Všechny vzorky byly po přesném zaměření klimakomory rozměrově upraveny a vloženy do zkušebního rámu. Ze strany exteriéru byla na dřevovláknitou izolaci nanесena fasádní omítka Baunit ProContact včetně perlínky a penetrace.



Obr. 32 OSB Superfinish eco [14]



Obr. 33 OSB Airstop [14]



Obr. 34 Steico flex [15]



Obr. 35 Steico Protect dry s omítkovým souvrstvím [15]

3.3.3 Použité přístroje a pomůcky

Klimatická dvojkomora

Klimakomora WK3-1000/40 (simulace exteriérových podmínek), klimakomora WK3-1000/0 (simulace interiérových podmínek) společně s testovacím rámem je zařízení určené pro hodnocení chování stavebních materiálů či konstrukcí v reálném měřítku. Skladba obvodové stěny zde byla oboustranně vystavena zvoleným klimatickým podmínkám. [16]

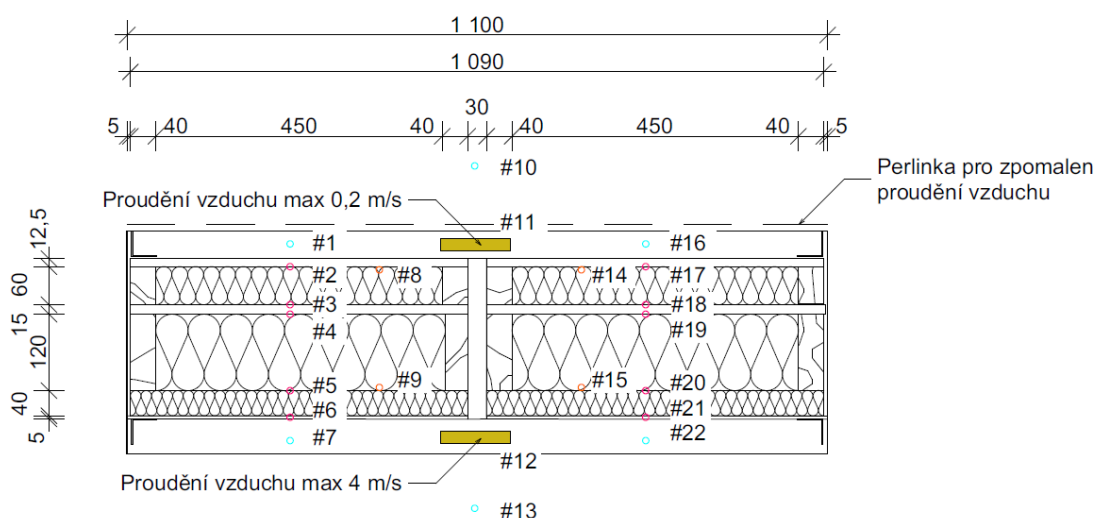
Laboratorní váhy

Na vážení jednotlivých materiálů byly použity analytické laboratorní váhy RADWAG APP 25.R2 s přesností na jedno desetinné místo v gramech, váživostí 25 000 g a citlivostí 0,1 g. [17]

Čidla pro měření teploty a vlhkosti

Na následujícím obrázku je zobrazení polohy čidel v konstrukci a jejich soupis.

Data z čidel byla zaznamenávána ústřednou DataTaker DT85. [18] [19] [20]



Obr. 36 Rozmístění čidel

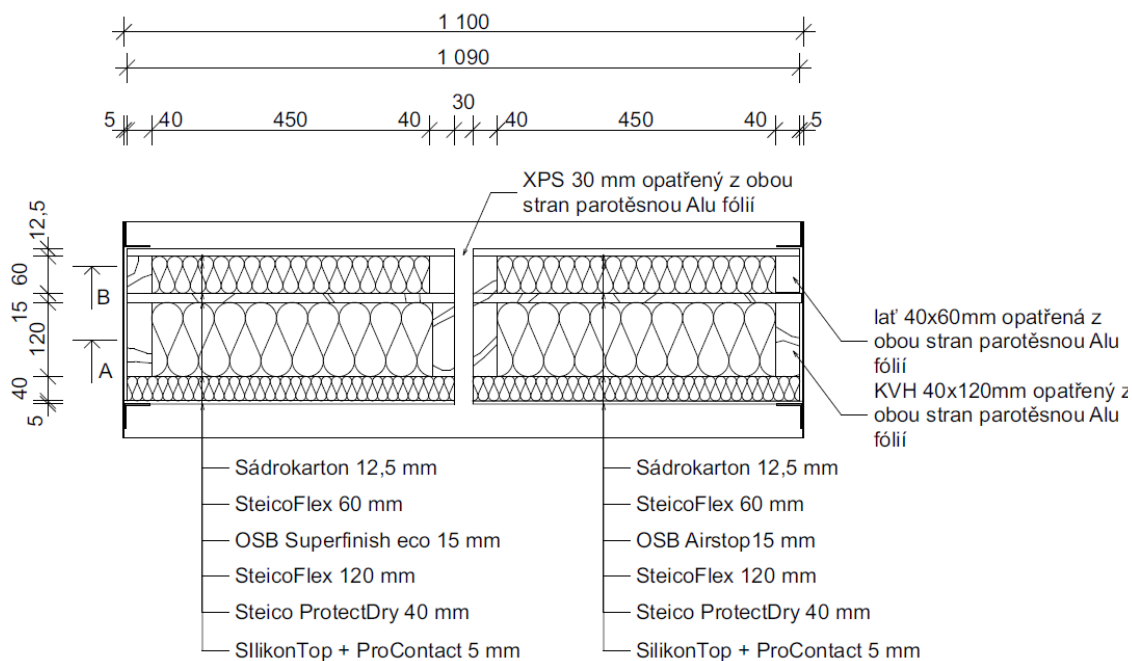
Označení	Název	Typ	Měřená veličina
1	TRHa036	Rotronic HC2A-s	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
2	TRHb089	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
3	TRHb085	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
4	TRHb102	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
5	TRHb106	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
6	TRHb086	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
7	TRHa028	Rotronic HC2A-s	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
8	Qa027	Hukseflux HFP01-05	hustota tepelného toku [W/m ²]
9	Qa021	Hukseflux HFP01-05	hustota tepelného toku [W/m ²]
10	TRHa008	Rotronic HC2A-s	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
11	AF004	Kimo SVO	rychlost proudění vzduchu [m/s]
12	AF006	Kimo SVO	rychlost proudění vzduchu [m/s]
13	TRHa045	Rotronic HC2A-s	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
14	Qa034	Hukseflux HFP01-05	hustota tepelného toku [W/m ²]
15	Qa032	Hukseflux HFP01-05	hustota tepelného toku [W/m ²]
16	TRHa047	Rotronic HC2A-s	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
17	TRHb100	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]

18	TRHb087	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
19	TRHb101	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
20	TRHb090	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
21	TRHb094	Rotronic HC2-C04	teplota [°C], relativní vlhkost [%]
22	TRHa026	Rotronic HC2A-s	teplota [°C], relativní vlhkost [%]

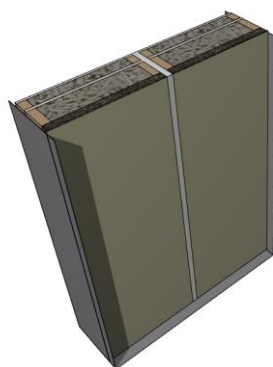
Tab. 8 Seznam použitých čidel

3.3.4 Postup

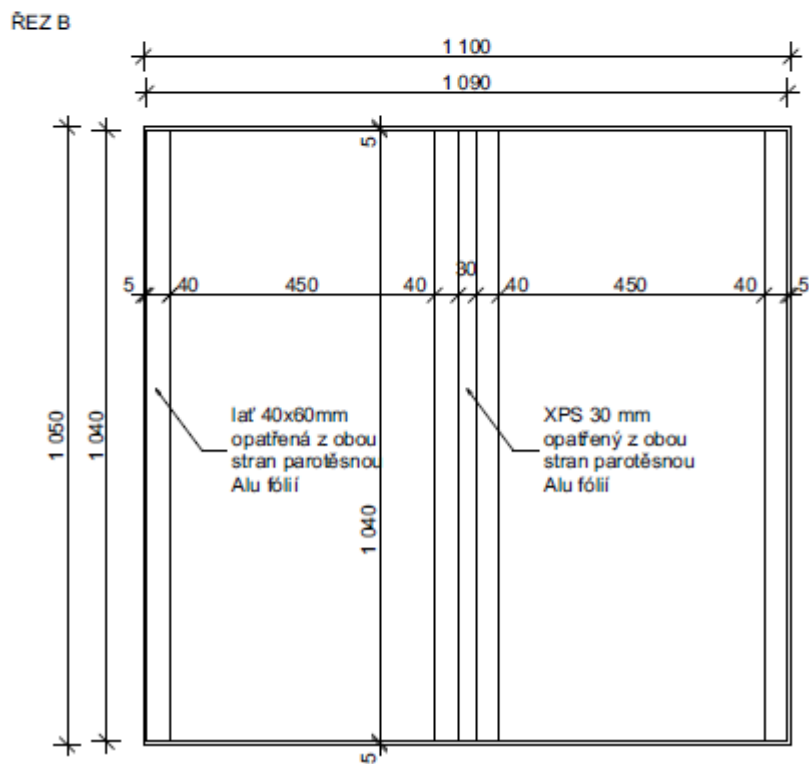
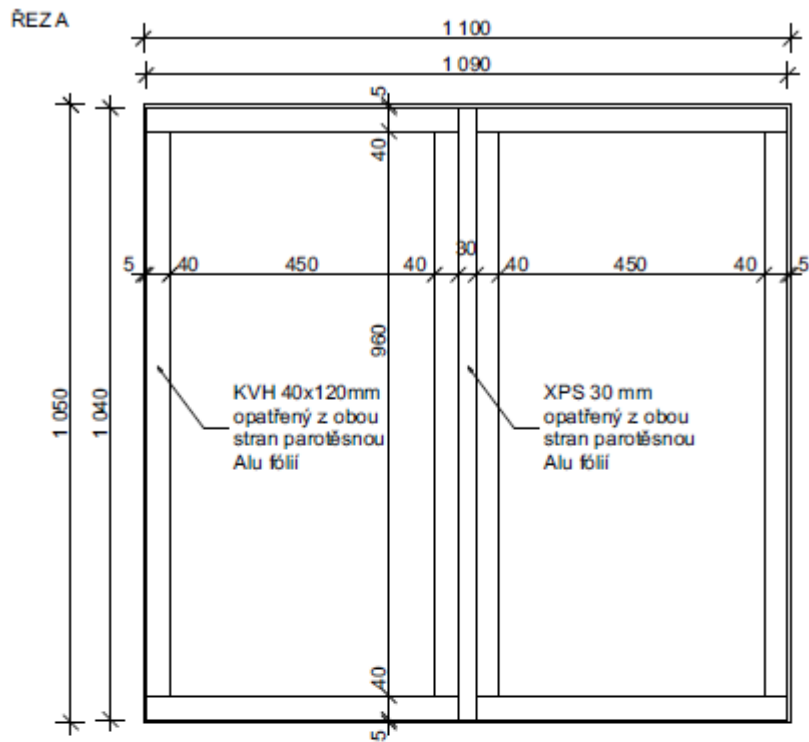
Na následujících obrázcích je znázorněno schéma navrženého experimentu.



Obr. 37 Půdorys skladby v klimakomoře



Obr. 38 3D model

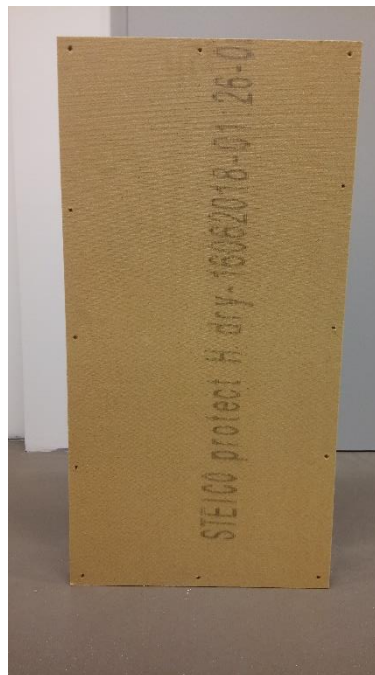


Obr. 39 Řez skladbou

Pro osazení navržené skladby do klimatické dvojkomory byl navržen rám z KVH profilů 40 x 120 mm. Celý rám byl obalen parotěsnou fólií, aby nosná konstrukce rámu vlhkostně neovlivňovala navrženou konstrukci. Spoje a rohy byly přelepeny hliníkovou páskou. Z jedné strany byla na rámy bodově přišroubovaná tuhá dřevovláknitá izolace Steico Protect dry v tloušťce 60 mm.



Obr. 40 KVH rám s izolací Steico Protect dry
– pohled 1



Obr. 41 KVH rám s izolací Steico Protect dry
– pohled 2

Následně byla na izolaci nanесena lepicí paropropustná stěrková hmota v tloušťce 3 mm, do které se vložila armovací tkanina – perlinka a povrch se zahladil. Po zatvrdnutí se do této vrstvy vytvořila drážka a bylo do ní vloženo první čidlo typu Rotronic HC2-C04. Drážka se následně vyplnila stejnou stěrkovou hmotou.



Obr. 42 KVH rám s armovací tkaninou



Obr. 43 KVH rám s drážkou pro čidlo

Po zaschnutí se povrch napenetroval. Následně byla na vzorky nanесena fasádní omítka SilikonTop v tloušťce 1,5 mm. Po zaschnutí byly oba dva rámy vloženy do zkušebního rámu klimakomory. Rámy byly mezi sebou odděleny 30 mm izolace XPS,

kteřá byla obalena hliníkovou fólií, aby nedocházelo k přenosu vlhkosti mezi jednotlivými skladbami.



Obr. 44 KVH rám s fasádní omítkou



Obr. 45 KVH rámy vloženy do zkušebního rámu

Do obou izolací byla vytvořena drážka pro vložení čidla Rotronic HC2-C04 pro měření teploty a relativní vlhkosti a následně byla ještě vložena čidla Hukseflux HFP01-05 pro měření hustoty tepelného toku na povrchy izolací.



Obr. 46 Čidlo Rotronic HC2-C04



Obr. 47 Čidlo HukseFlux HFP01-05

Poté se do rámu vložila měkká dřevovláknitá izolace Steico flex v tloušťce 120 mm. Následně se rámy včetně izolací zaklopily OSB deskou. Pro rám A byla použita deska Airstop a pro rám B deska Superfinish eco. Z obou stran byla na desku přilepena čidla Rotronic HC2-C04.

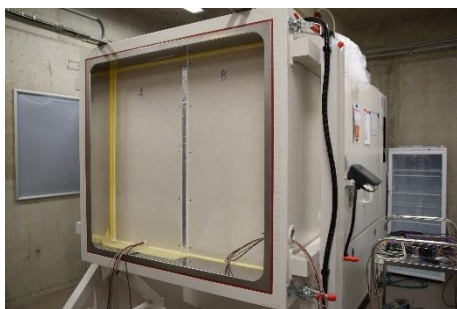


Obr. 48 KVH rámy s izolací Steico flex



Obr. 49 KVH rámy zaklopeny OSB deskami

Všechny prostupy přes OSB desku, které byly vytvořeny pro vývod kabelů od čidel, byly následně zatmeleny. Poté se ke konstrukci připevnily latě 40x60 mm ve svislém směru, aby tvořily nosný rošt pro sádkartonovou desku. Mezi stojky se vložila opět izolace Steico flex v tloušťce 60 mm. Znovu byla do izolace instalována čidla Rotronic a čidla Hukseflux. Následně byla celá konstrukce zaklopena sádkartonovou deskou.



Obr. 50 Skladby ve zkušebním rámu z pohledu interiéru

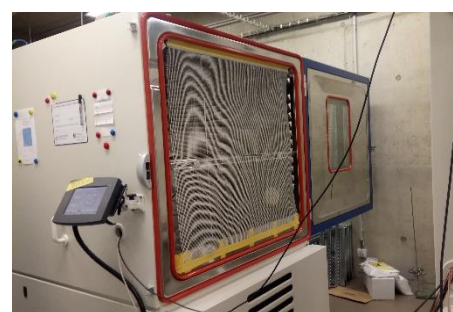


Obr. 51 Skladby ve zkušebním rámu z pohledu exteriéru

Pro snímání okrajových podmínek byla z každé strany nainstalována dvě čidla typu Rotronic HC2A-s. Pro snížení rychlosti proudění vzduchu, která se nedá v klimatické komoře regulovat, byla ze strany interiéru přilepena na zkušební komoru armovací tkanina – perlínka. Pro ověření rychlosti proudění vzduchu byly do každé komory vloženy anemometry Kimo SVO.



Obr. 52 Čidla Rotronic HC2A-s



Obr. 53 Perlínka pro zpomalení proudění vzduchu

Následně došlo ke spuštění experimentu.

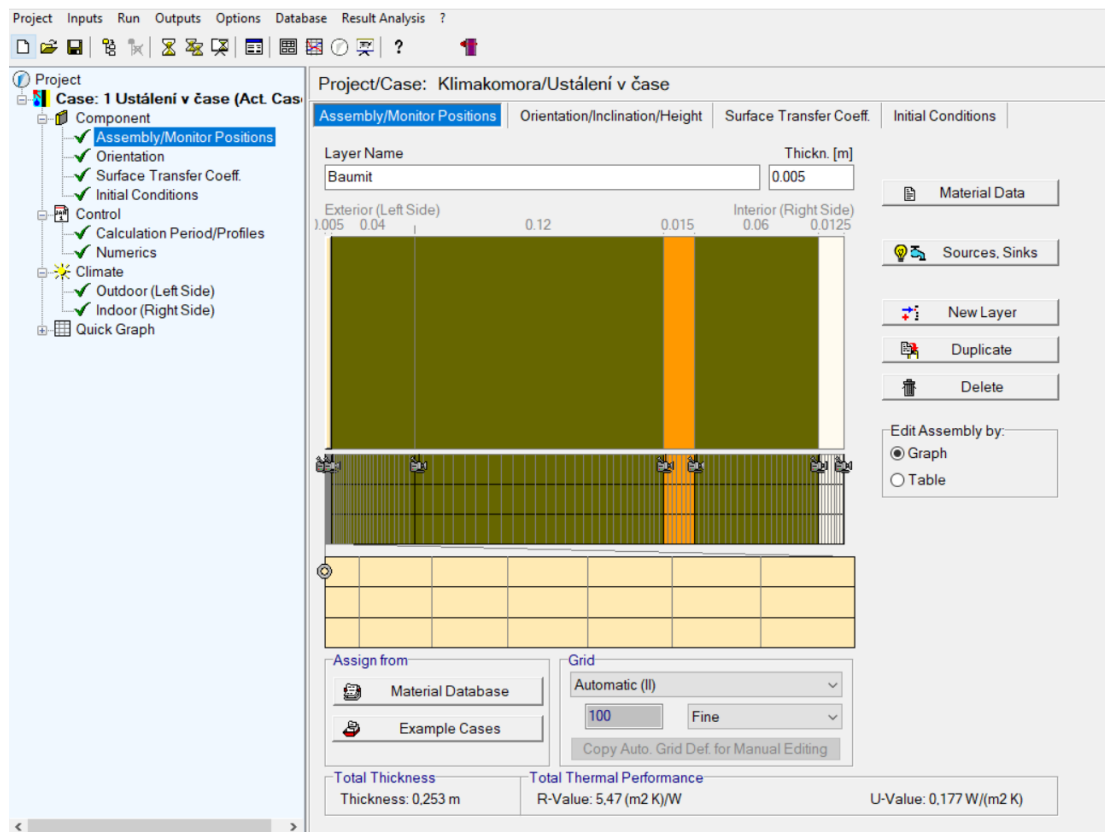


Obr. 54 Experiment v klimatické dvojkomóře

3.3.5 Numerická simulace

Simulace transportu vlhkosti a prostupu tepla konstrukcí v jednotlivých fázích byla modelována v programu WUFI® 6 [2]. Následně byla ve stejném programu vytvořena simulace roční bilance kondenzace a množství vypařitelné vodní páry. Výsledky z ročního cyklu byly porovnány s výsledky z programu Teplo 2017 [21].

V následujících bodech bude shrnuto nastavení vstupních údajů pro 3 fáze výpočtu v programu WUFI.



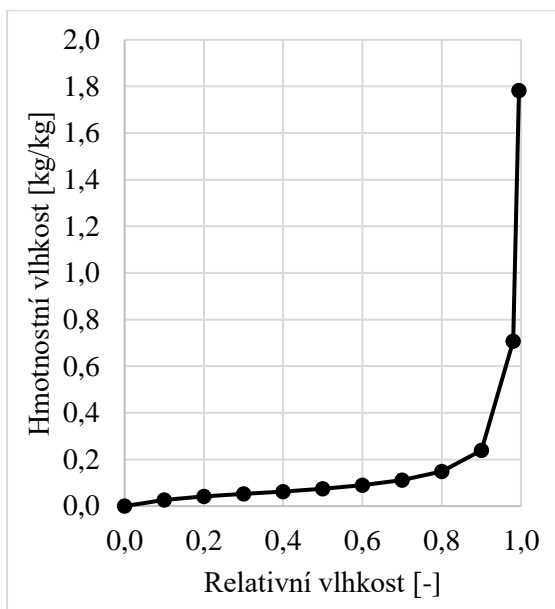
Obr. 55 Skladba konstrukce v programu WUFI 6

- Konstrukce

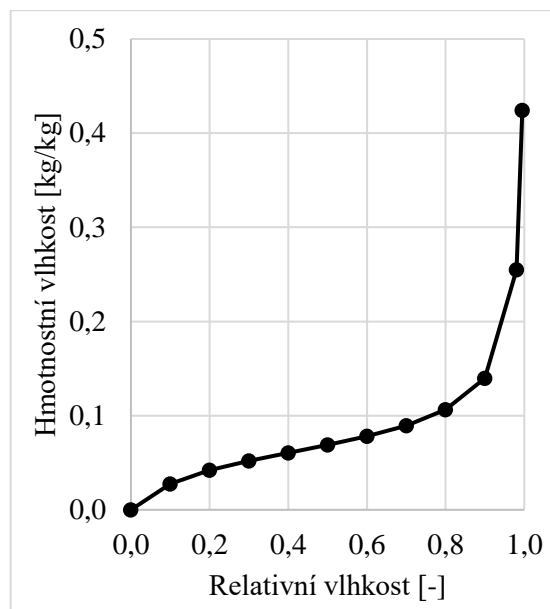
Skladba

- Materiály použité ve skladbě byly nejdříve vybrány z databáze materiálů. V nabídce je například databáze německá, japonská či americká. Každý materiál má předdefinované vlastnosti. U některých materiálů bylo potřeba pozměnit materiálové charakteristiky jako například objemovou hmotnost. Na objemové hmotnosti závisí i poloha sorpční křivky, takže bylo nutné přepočítat i zadané hodnoty funkce. Následně byl pozměněn faktor difuzního odporu a tepelná vodivost podle hodnot udávaných výrobcem.

- Pro materiály Steico Protect dry a Steico flex byl v laboratoři UCEEB vytvořen předpis funkce sorpční křivky z výsledků měření sorpčních vlastností těchto materiálů při teplotě 23°C. Předpis funkce je vytvořen pro hmotnostní vlhkost v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu, a proto ji bylo nutné před zadáváním do programu přepočítat na objemovou vlhkost.



Graf 1 Sorpční křivka Steico flex



Graf 2 Sorpční křivka Steico Protect dry

- Nadále byl proveden doplňkový experiment pro zjištění objemové hmotnosti OSB desek, Steico Protect dry a Steico flex. Opět byly hodnoty v programu upraveny dle naměřených výsledků.
- Součástí této práce je i měření faktoru difuzního odporu OSB desek. Protože v sadě 1 měření na desorpční křivce byl pouze jeden vzorek desky Airstop, naměřená hodnota je pouze orientační. Proto bylo rozhodnuto, že se dále bude simulace provádět pouze pro jeden typ skladby, a to pro typ B s OSB deskou Superfinish eco. Naměřená hodnota faktoru difuzního odporu byla použita při zadávání vstupních údajů.

Orientace

- Tento dialog se v programu nevyplňoval, protože v klimakomoře byly při spuštění jednotlivých fází nastaveny konstantní hodnoty okrajových podmínek, a tak se orientace ke světovým stranám zanedbávala.

Součinitelé přestupů

- Hodnota přestupu tepla na vnějším povrchu byla nastavena po celou dobu výpočtu na 0,04 (m²K)/W. Na vnitřním povrchu bylo nastaveno 0,13 (m²K)/W. Vliv solárního záření nebyl uvažován.

Počáteční podmínky

- V každé fázi byly nastaveny jiné počáteční podmínky, a to vždy podmínky z konce předchozí simulace. Vstupními údaji bylo rozložení teplot v konstrukci a rozložení objemové vlhkosti v konstrukci.

- Výpočet

Výpočetní interval

- Zde se nastavil datum, kdy experiment v klimakomáře začal a skončil.

	Počátek	Konec
1. fáze	23.7.2019	10.9.2019
2. fáze	10.9.2019	30.9.2019
3. fáze	30.9.2019	14.10.2019

Tab. 9 Výpočetní intervaly jednotlivých fází

Numerika

- V nastavení způsobu výpočtu byl zvolen jak výpočet transportu tepla, tak i výpočet transportu vlhkosti.
- Ve speciálním tepelně-vlhkostním nastavením lze z výpočtu vyjmout kapilární vodivost, latentní teplo (vypařování, tání), lze vyloučit závislost teploty na latentním teple výparném. V simulaci jsou všechny tyto parametry do výpočtu zahrnuty.

- Klima

- Na vnější i vnitřní straně se nastavily konstantní hodnoty teploty i relativní vlhkosti, které byly naměřeny v klimatické komoře v průběhu jednotlivých fází experimentu.

Po této detailní analýze byla provedena simulace roční bilance kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce s následujícími vstupními údaji.

- **Konstrukce**

Skladba

- Skladba byla uvažována stejná jako v předchozích fázích výpočtu.

Orientace

- V této simulaci byly pro konstrukci uvažovány nejméně příznivé podmínky, a proto byla zvolena orientace obvodové stěny na sever. Součinitel hnaného deště byl uvažován 0,07 s/m pro nízké budovy s výškou do 10 metrů.

Součinitelé přestupů

- Hodnota přestupu tepla na vnějším povrchu byla nastavena v závislosti na větru. Ve výpočtu byl uvažován i vliv slunečního záření. Konstrukce nebyla ničím stíněna. Na vnitřním povrchu bylo nastaveno 0,13(m²K)/W.

Počáteční podmínky

- V nastavení počáteční vlhkosti lze zadat typickou zabudovanou vlhkost materiálu. Hodnotu převezme program z katalogu materiálu, o kterém byla zmínka výše. Pro teplotu je zde nastaveno 5 °C konstantně přes všechny prvky konstrukce. K teplotnímu ustálení v konstrukci dochází velmi rychle, proto není potřeba vstupní teplotu více řešit. Simulace bude spuštěna pro dva roky výpočtu. Data byla zpracována pouze z druhého roku.

- **Výpočet**

Výpočetní interval

Počátek	Konec
1.10.2019	1.10.2021

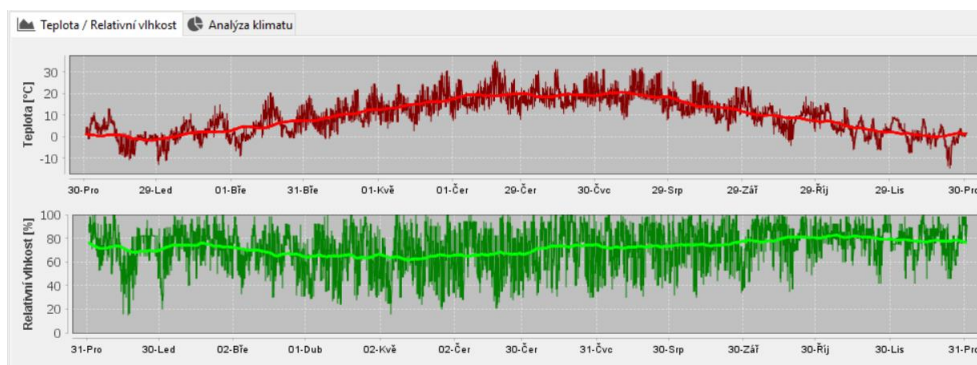
Tab. 10 Výpočetní interval roční simulace

Numerika

- Bylo nastaveno jako v předchozím výpočtu.

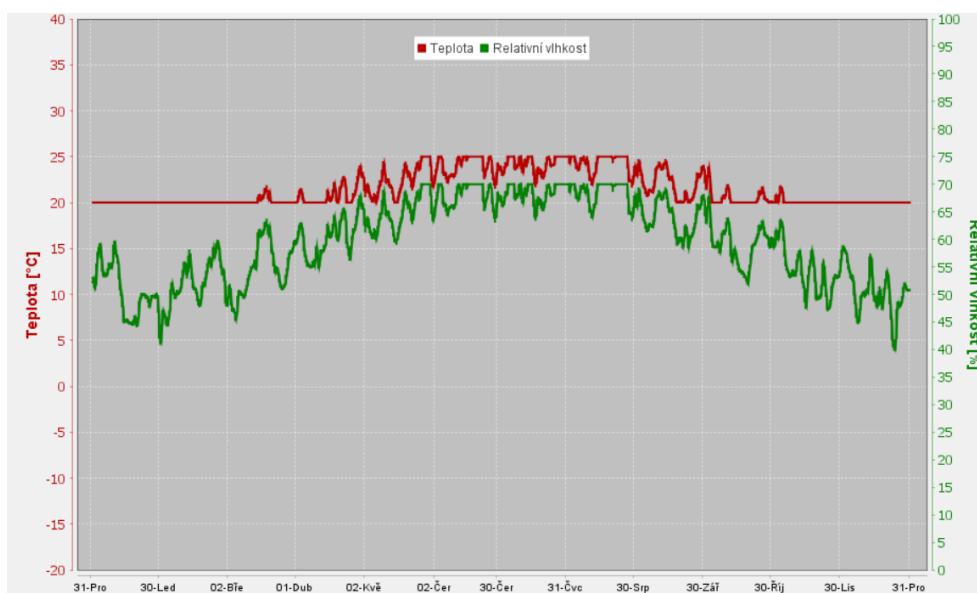
- **Klima**

- Zde byl pro vnější klima nastaven roční průběh teploty a relativní vlhkosti vzduchu pro Českou republiku konkrétně pro Hradec Králové. Pro jiné město v republice program nenabízí roční data.



Obr. 56 Roční data pro Hradec Králové

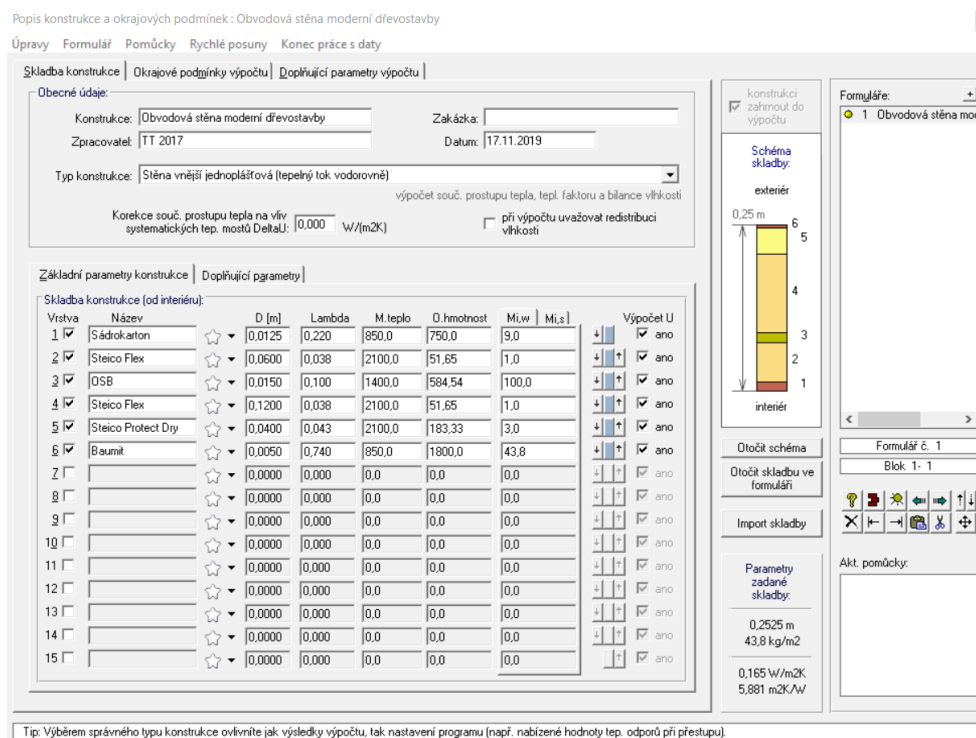
Pro vnitřní klima byla stažena data dle normy ČSN EN 15026 pro vysoké zatížení vlhkostí.



Obr. 57 Roční data pro provoz s vysokým zatížením vlhkostí

Vstupní parametry a výsledky jednotlivých fází výpočtu jsou popsány v Příloze 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6.

Další model, který byl vytvořen, byl model v programu Teplo 2017 [21]. V následujících bodech je popsán postup zadávání vstupních údajů.



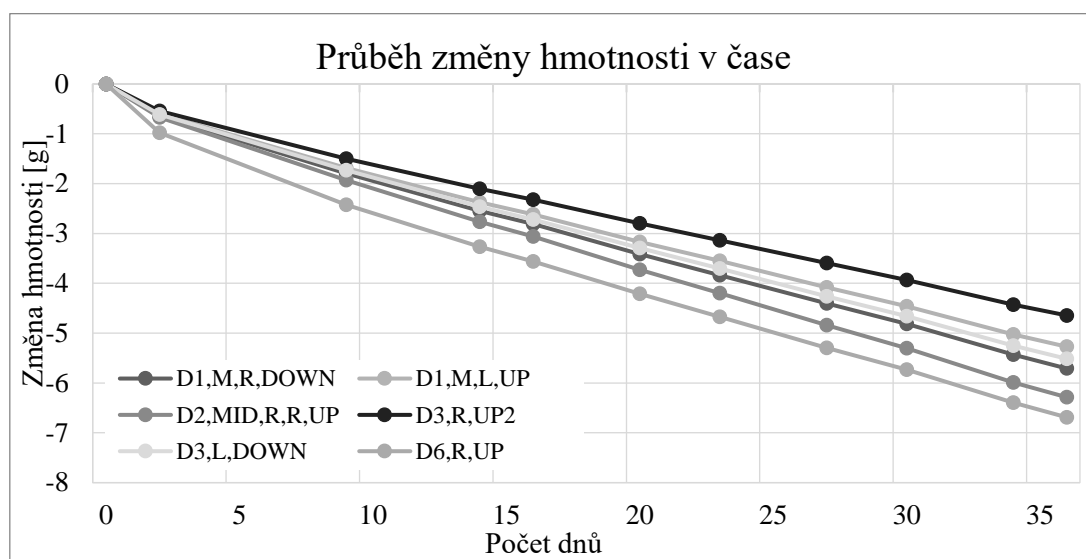
Obr. 58 Skladba konstrukce v programu Teplo 2017

- Skladba konstrukce
 - U jednotlivých materiálu byly nastaveny stejné vlastnosti jako u materiálů v programu WUFI® 6 [2]. Bohužel program Teplo 2017 [21] neumožňuje zadávání jednotlivých veličin v závislosti na relativní vlhkosti. Proto byl zvolen konstantní faktor difuzního odporu. Hodnota byla odečtena z grafu funkce zvoleného v programu WUFI® 6 [2].
- Okrajové podmínky
 - Pro vnitřní vlhkostní podmínky byla nastavena známá 3. třída vlhkosti pro budovy se střední vlhkostí s neznámou obsazeností. Hodnota přestupu tepla na vnějším povrchu byla nastavena po celou dobu výpočtu na 0,04 (m²K)/W. Na vnitřním povrchu bylo nastaveno 0,13 (m²K)/W. Okrajové podmínky byly vybrány z katalogu. Pro vnější podmínky byla zvolena lokalita Hradec Králové. Následně se v tabulce průměrných měsíčních teplot vyplnily údaje dle lokace. Pro vnitřní podmínky byl opět použit katalog. Podmínky byly nastaveny pro obytné budovy.
 - Vstupní parametry a výsledky výpočtu jsou popsány v Příloze 2 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu Teplo 2017.

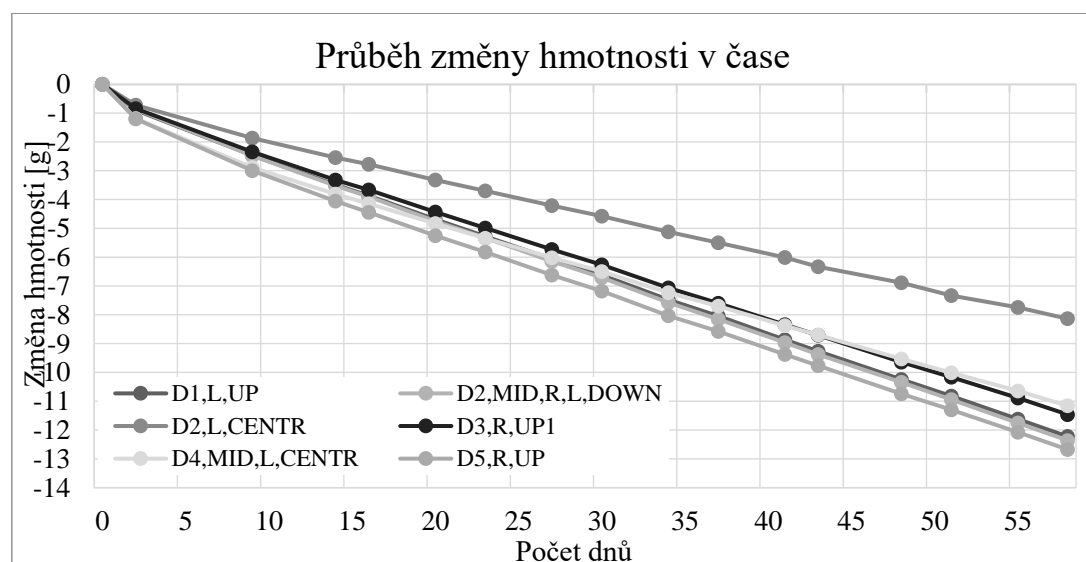
4 Výsledky a diskuze

4.1 Faktor difuzního odporu OSB desek

Z důvodu časové náročnosti jednotlivých měření lze vyhodnotit pouze jeden bod faktoru difuzního odporu na desorpční izotermě. Měření probíhalo ve vlhkostech 84,65/58,20 % RH. V následujících grafech je vidět průběh změny hmotnosti po dobu zkoušky.



Graf 3 Průběh změny hmotnosti sady 1



Graf 4 Průběh změny hmotnosti sady 2

Při experimentu sada č. 2 nevykazovala požadovanou relativní vlhkost. Pro ověření byl do zkušební komory vložen jiný snímač teploty a relativní vlhkosti. I v tomto případě se relativní vlhkost pohybovala přibližně o 4 % níže. Tudíž byla druhá sada vyhodnocena pro jinou střední relativní vlhkost, a to pro 69,4 %.

Pro vyhodnocení faktoru difuzního odporu byla použita výpočetní šablona programu Microsoft Excel 2016 [22], vytvořená pro účely vyhodnocení zkoušky stanovení propustnosti pro vodní páry laboratoře STT UCEEB, ve kterém byly zavedeny korekce a výpočet nejistot.

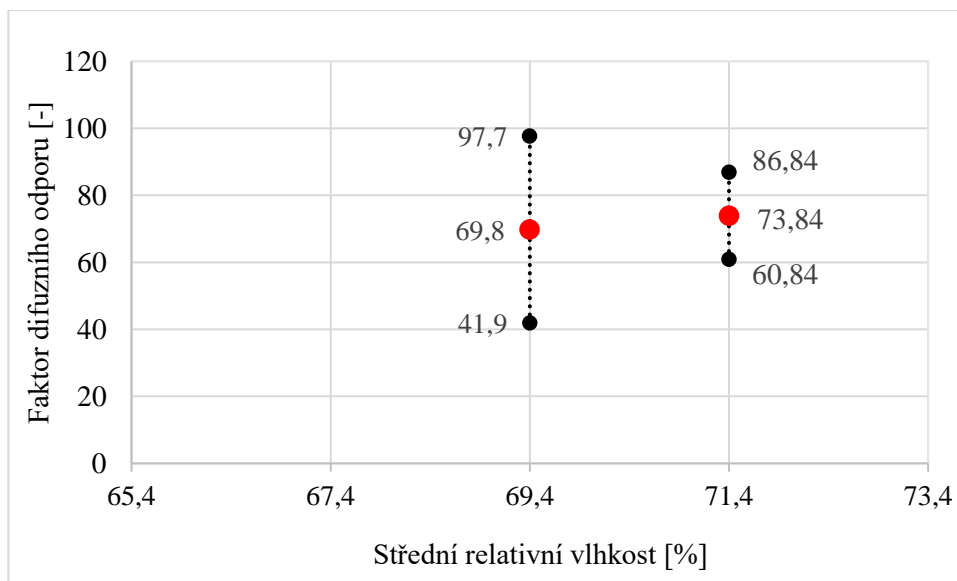
V následující tabulce jsou uvedeny vypočtené hodnoty faktoru difuzního odporu.

Sada 1	Faktor difuzního odporu [-]	Sada 2	Faktor difuzního odporu [-]
OSB Superfinish D1,M,R,DOWN	71,0	OSB Superfinish D1,L,UP	60,0
OSB Superfinish D1,M,L,UP	77,2	OSB Superfinish D2,MID,R,L,DOWN	60,5
OSB Superfinish D2,MID,R,R,UP	63,1	OSB Superfinish D2,L,CENTR	93,7
OSB Superfinish D3,R,UP2	85,8	OSB Superfinish D3,R,UP1	64,9
OSB Superfinish D3,L,DOWN	72,1	OSB Airstop D4,MID,L,CENTR	67,2
OSB Airstop D6,R,UP	60,0	OSB Airstop D5,R,UP	57,7

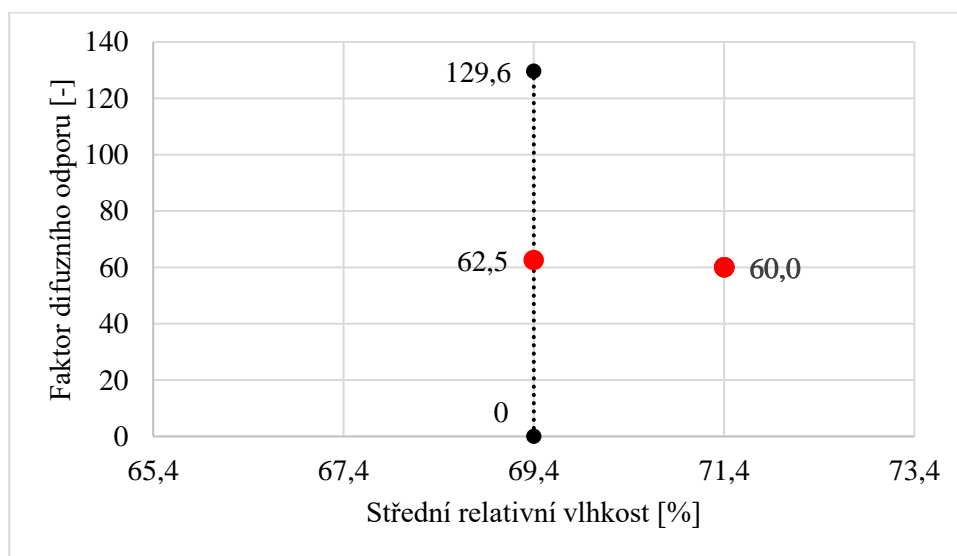
Tab. 11 Hodnoty naměřeného faktoru difuzního odporu

Pro vzorky Superfinish eco byla v již zmíněném programu MS Excel vyhodnocena nejistota pro střední relativní vlhkost vzduchu 71,4 % na $\pm 13,0$. Pro střední relativní vlhkost 69,4 % byla stanovena nejistota $\pm 27,9$.

U vzorku Airstop nebylo možné vyhodnotit nejistotu pro měření se střední relativní vlhkostí 71,4 % z důvodu malého počtu vzorků. Hodnota faktoru difuzního odporu je pouze informativní. Při střední relativní vlhkosti vzduchu 69,4 % vznikla nejistota $\pm 67,1$, která je způsobena tím, že naměřeny byly pouze dva vzorky, takže je rozptyl výběru velmi malý.

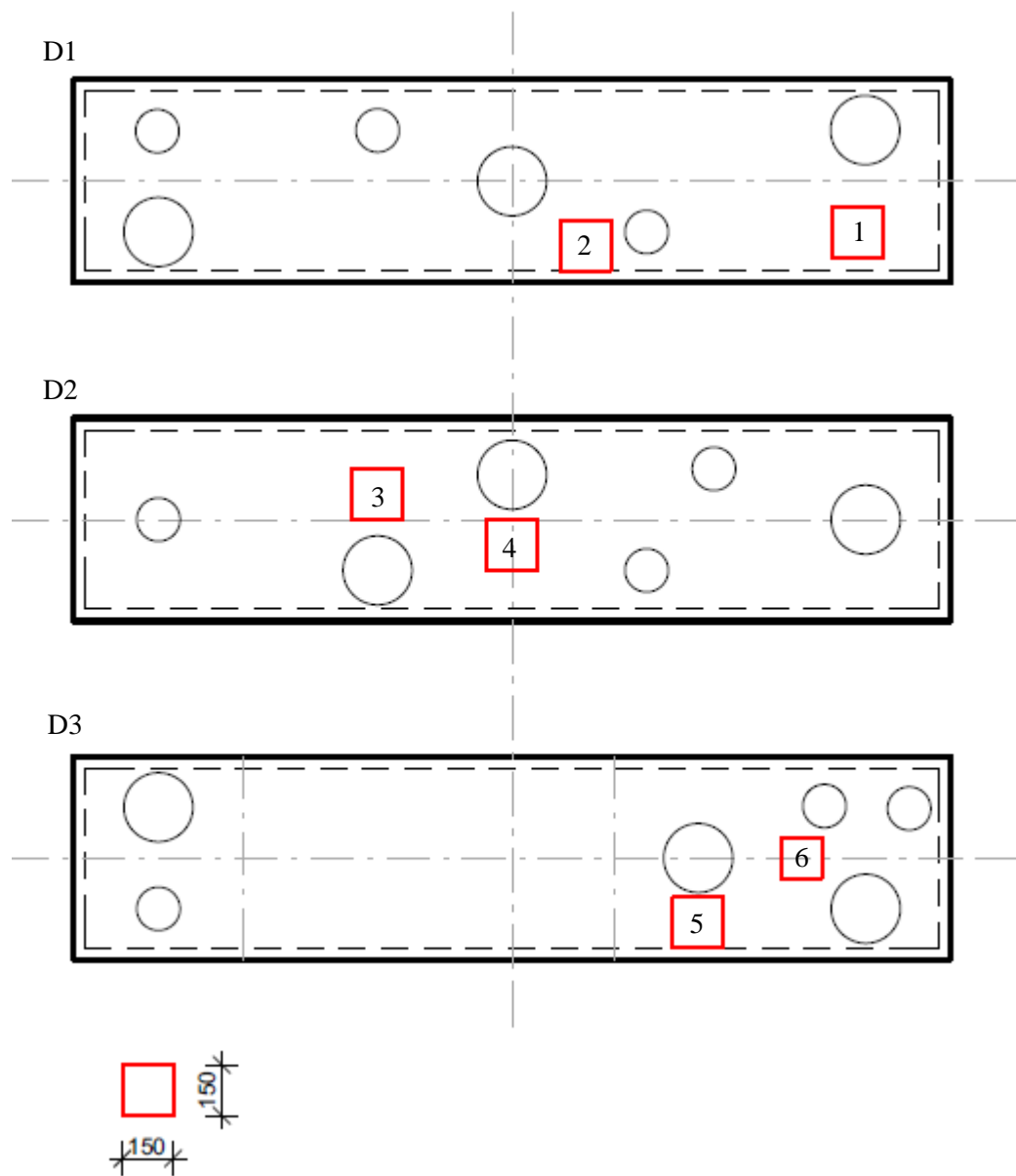


Graf 5 Závislost faktoru difuzního odporu na relativní vlhkosti při zahrnutí nejistot – OSB Superfinish

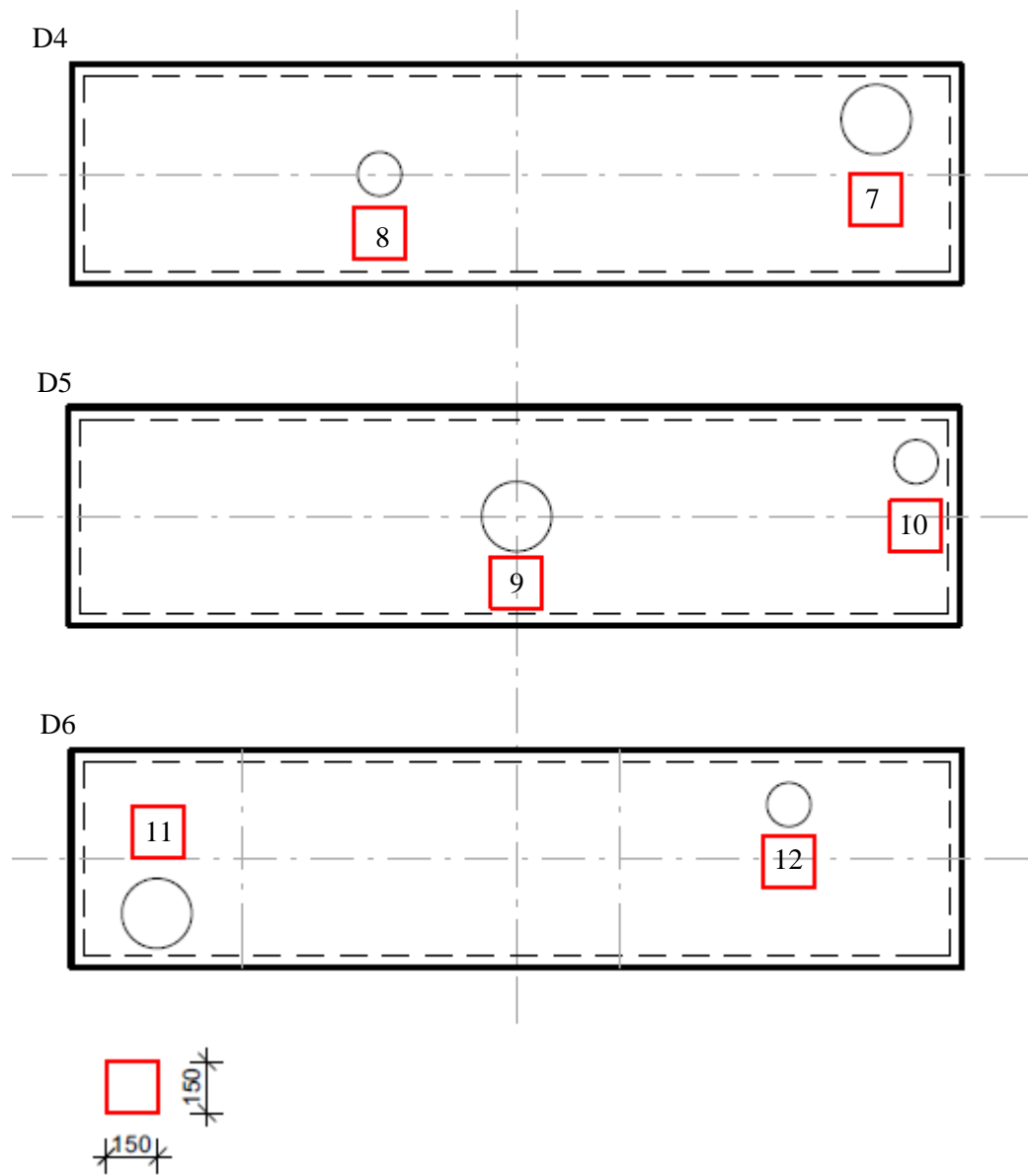


Graf 6 Závislosti faktoru difuzního odporu na relativní vlhkosti při zahrnutí nejistot – OSB Airstop

Z důvodu velkého rozptylu naměřených hodnot byly ze stejných OSB desek odebrány vzorky 150x150 mm vždy v těsné blízkosti odběru zkušebních vzorků. Ty se následně změřily, zvážily a vložily do sušárny pro určení objemové hmotnosti.



Obr. 59 Odběr vzorků – objemová hmotnost, OSB Superfinish eco

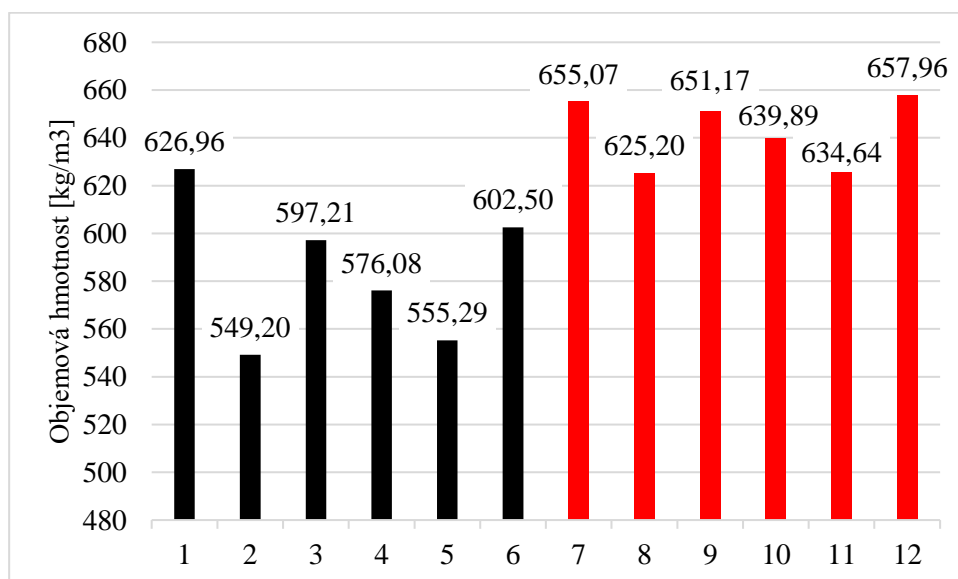


Obr. 60 Odběr vzorků – objemová hmotnost, OSB Airstop



Obr. 61 OSB vzorky v sušárně

Výsledné hodnoty naměřených objemových hmotností jsou uvedeny níže v tabulce. Černé hodnoty reprezentují desku OSB Superfinish eco a červené OSB desku Airstop.



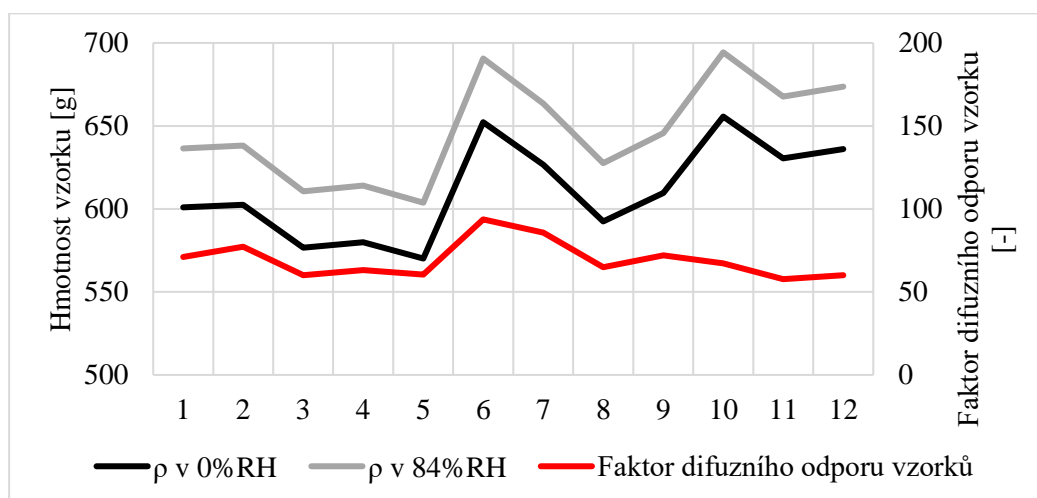
Graf 7 Výsledky objemové hmotnosti OSB desek

Protože rozdíl mezi jednotlivými objemovými hmotnostmi tvoří téměř 100 kg/m^3 , byl vytvořen graf, kde je znázorněn vliv objemové hmotnosti na faktor difuzního odporu. U vzorků pro měření objemové hmotnosti byla stanovena hmotnostní vlhkost, která v průměru tvořila 5,9 % hm. Tato vlastnost byla přiřazena všem zkušebním vzorkům pro měření faktoru difuzního odporu a následně byla dopočítána hmotnost vzorků v suchém stavu. V grafu je patrné, že jedna křivka reprezentuje objemové hmotnosti v suchém

stavu, druhá objemovou hmotnost při ustálení v 84% relativní vlhkosti vzduchu a třetí reprezentuje hodnoty naměřeného faktoru difuzního odporu. Z grafu vyplývá, že faktor difuzního odporu závisí na objemové hmotnosti vzorku.

Označení	Název	Objemová hmotnost v suchém stavu [kg/m ³]	Objemová hmotnost při 84 % RH [kg/m ³]	Faktor difuzního odporu [-]
1	D1,M,R,DOWN	601,05	636,51	71,0
2	D1,M,L,UP	602,58	638,13	77,2
3	D1,L,UP	576,62	610,34	60,0
4	D2,MID,R,R,UP	579,91	614,12	63,1
5	D2,MID,R,L,DOWN	570,13	603,76	60,5
6	D2,L,CENTR	652,23	690,71	93,7
7	D3,R,UP2	626,55	663,52	85,8
8	D3,R,UP1	592,53	627,49	64,9
9	D3,L,DOWN	609,71	645,69	72,1
10	D4,MID,L,CENTR	655,66	694,34	67,2
11	D5,R,UP	630,55	667,76	57,7
12	D6,R,UP	636,16	673,70	60,0

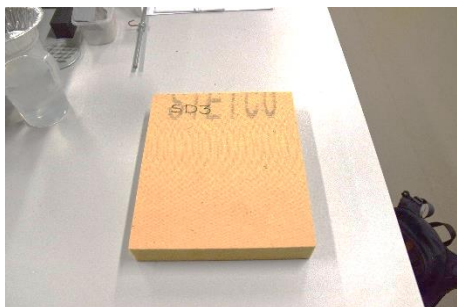
Tab. 12 Závislost hmotnosti a faktoru difuzního odporu



Graf 8 Závislost hmotnosti a faktoru difuzního odporu

4.2 Transport vodní páry ve skladbě

Pro přesnější výsledky simulace bylo provedeno měření objemové hmotnosti dřevovláknitých izolací. Vzorky izolací se odebíraly ze středu balíku a současně ze středu desky. Od každé izolace byly vytvořeny tři vzorky. Vzorky byly vloženy do sušárny na 50 °C po dobu jednoho týdne. Následně byly vloženy do exsikátoru s molekulovým sítem a váženy, dokud nedošlo k ustálení.

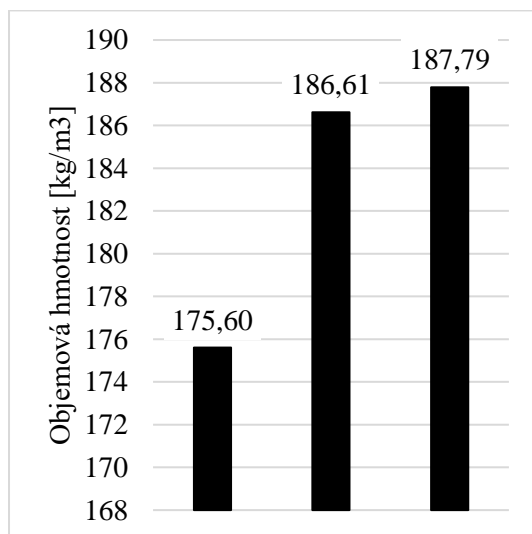


Obr. 62 Vzorek izolace Steico Protect dry

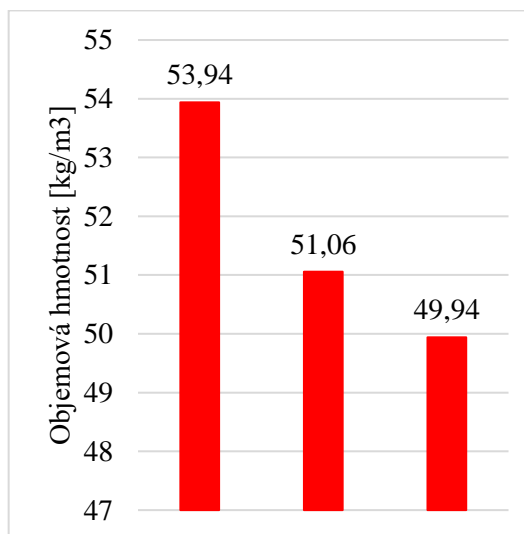


Obr. 63 Vzorek izolace Steico flex

V následujícím grafu jsou zobrazeny výsledky měření.



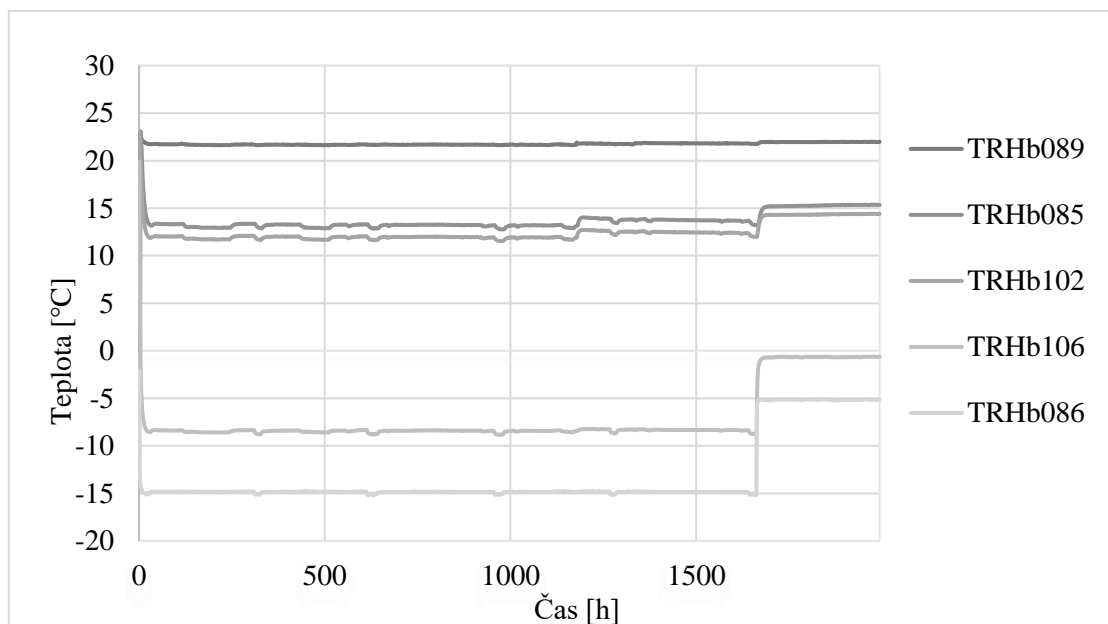
Graf 9 Výsledná objemová hmotnost izolace Steico Protect dry



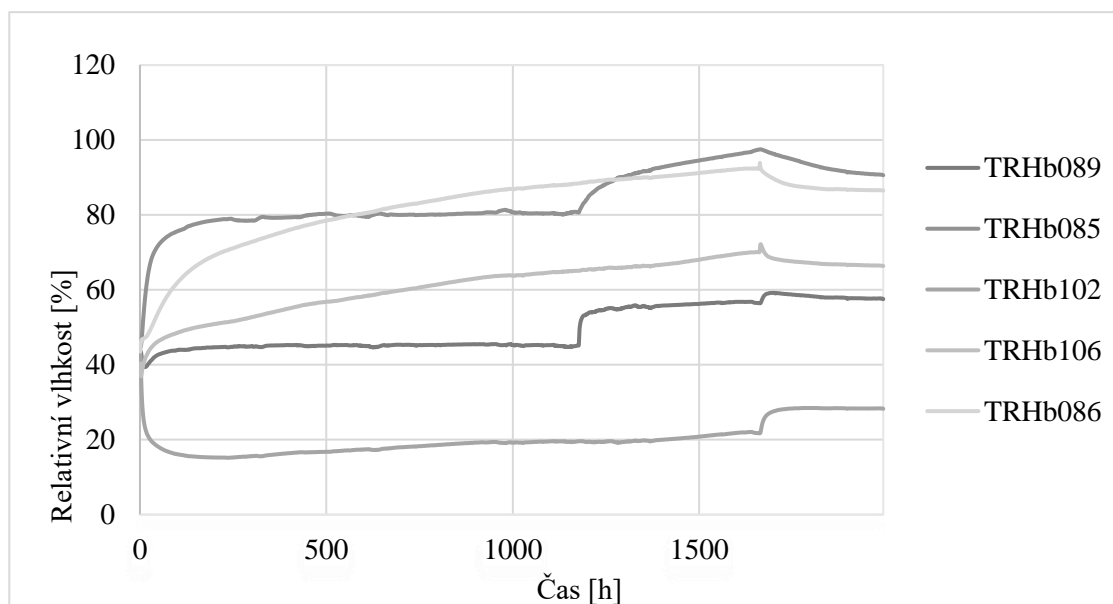
Graf 10 Výsledná objemová hmotnost izolace Steico flex

Naměřené hodnoty objemové hodnoty byly zprůměrovány a následně s nimi bylo uvažováno ve výpočetním programu. Objemová hmotnost Steico flex je 51,65 kg/m³ a pro Steico Protect dry 183,33 kg/m³.

V grafech níže je zobrazen průběh teplot a relativních vlhkostí jednotlivých čidel v konstrukci pro všechny fáze.



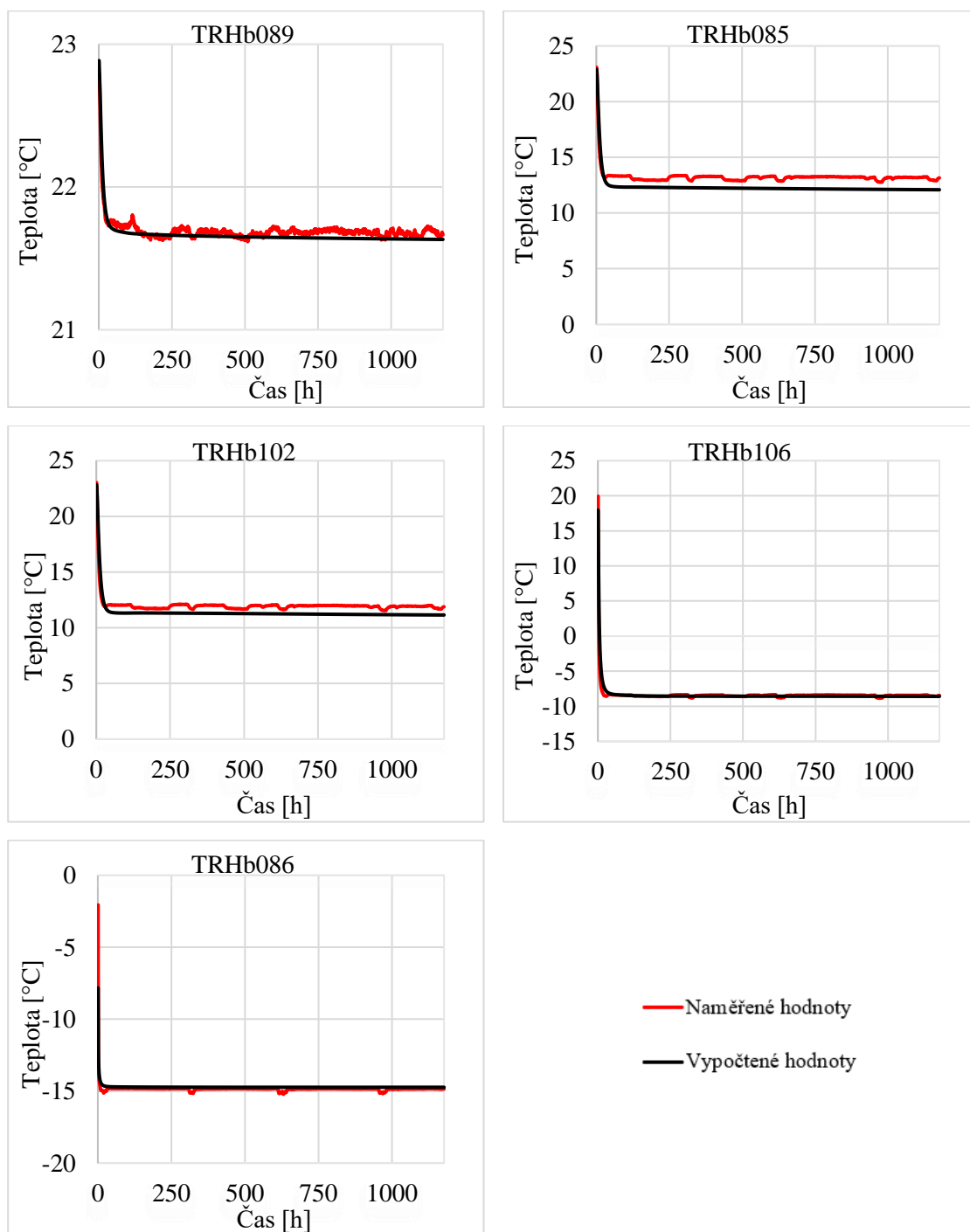
Graf 11 Souhrnný graf průběhu teplot na jednotlivých čidlech



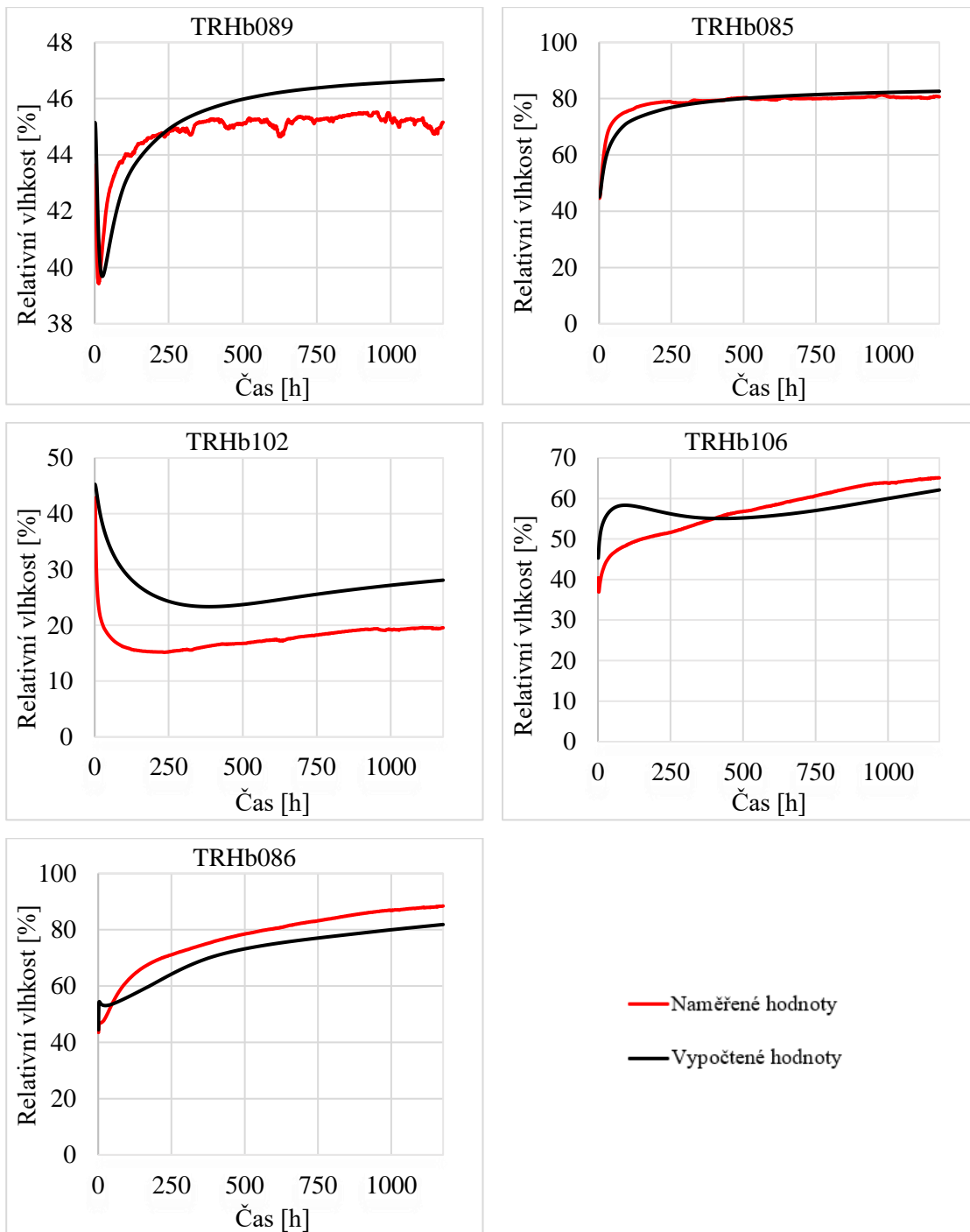
Graf 12 Souhrnný graf průběhu relativních vlhkostí na jednotlivých čidlech

Na následujících grafech je zpracováno porovnání průběhu teplot, relativních vlhkostí a teplotních toků pro jednotlivá čidla v konstrukci zabudovaná a hodnot vypočtených v programu WUFI® 6 [2] pro jednotlivé fáze.

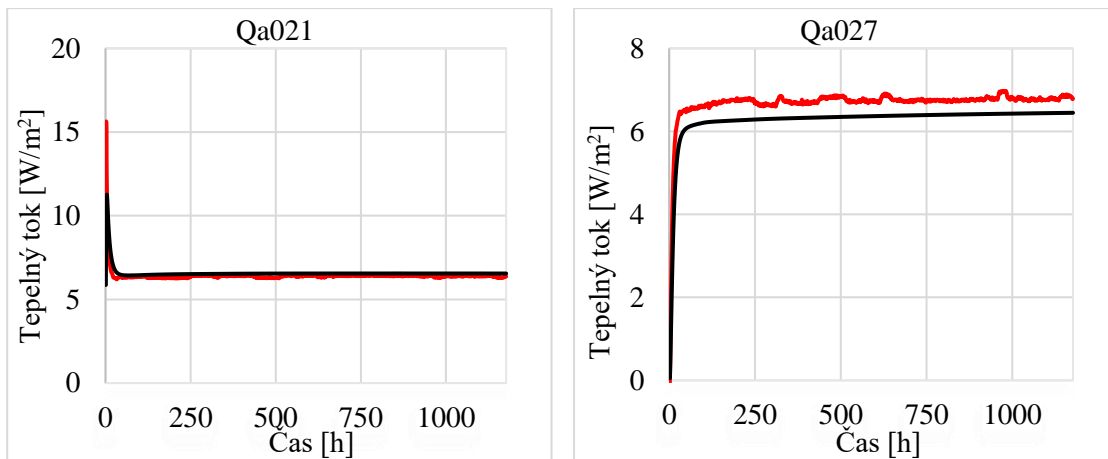
Fáze 1



Graf 13 Souhrn průběhů teploty naměřených jednotlivými čidly ve fázi 1



Graf 14 Souhrn průběhů relativních vlhkostí naměřených jednotlivými čidly ve fázi 1



— Naměřené hodnoty

— Vypočtené hodnoty

Graf 15 Souhrn průběhů tepelných toků naměřených jednotlivými čidly ve fázi 1

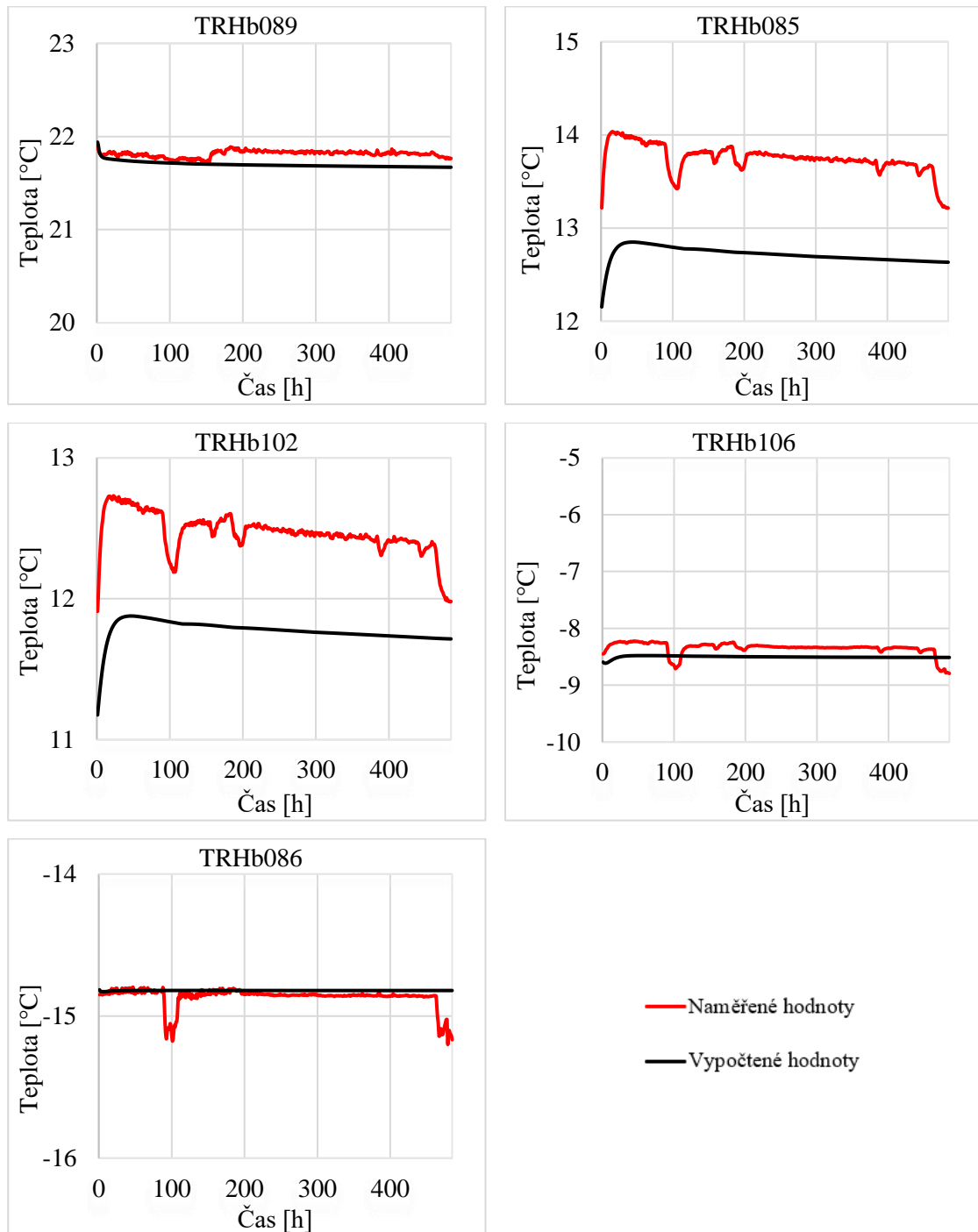
Při pohledu na grafy vývoje teploty v čase je možné konstatovat, že trend je jak u měřených, tak u vypočtených hodnot stejný. Mírné odchylky měřeného stavu od vypočteného je možno přisuzovat chybě měření teplotních čidel. Jejich chyba měření je v desetinách procent. U čidla TRHb089 a TRHb102 je patrná větší odchylka ± 2 °C. Jedná se o čidla v poloze těsně před a těsně za OSB deskou.

Pokud je zjištěno, že si teploty navzájem neodpovídají, tato chyba se prolne i do grafu průběhu relativní vlhkosti, protože mezi teplotou a relativní vlhkostí vzduchu existuje závislost. Další možnost rozptylu hodnot relativních vlhkostí je chyba čidel, které jí mohou mít až 3,5 %. Pro eliminaci této chyby by bylo potřeba všechna čidla včetně jednoho kalibrovaného vložit do exsikátoru s danou relativní vlhkostí vzduchu a sledovat rozptyl naměřených hodnot jednotlivých čidel od hodnot naměřených kalibrovaným snímačem.

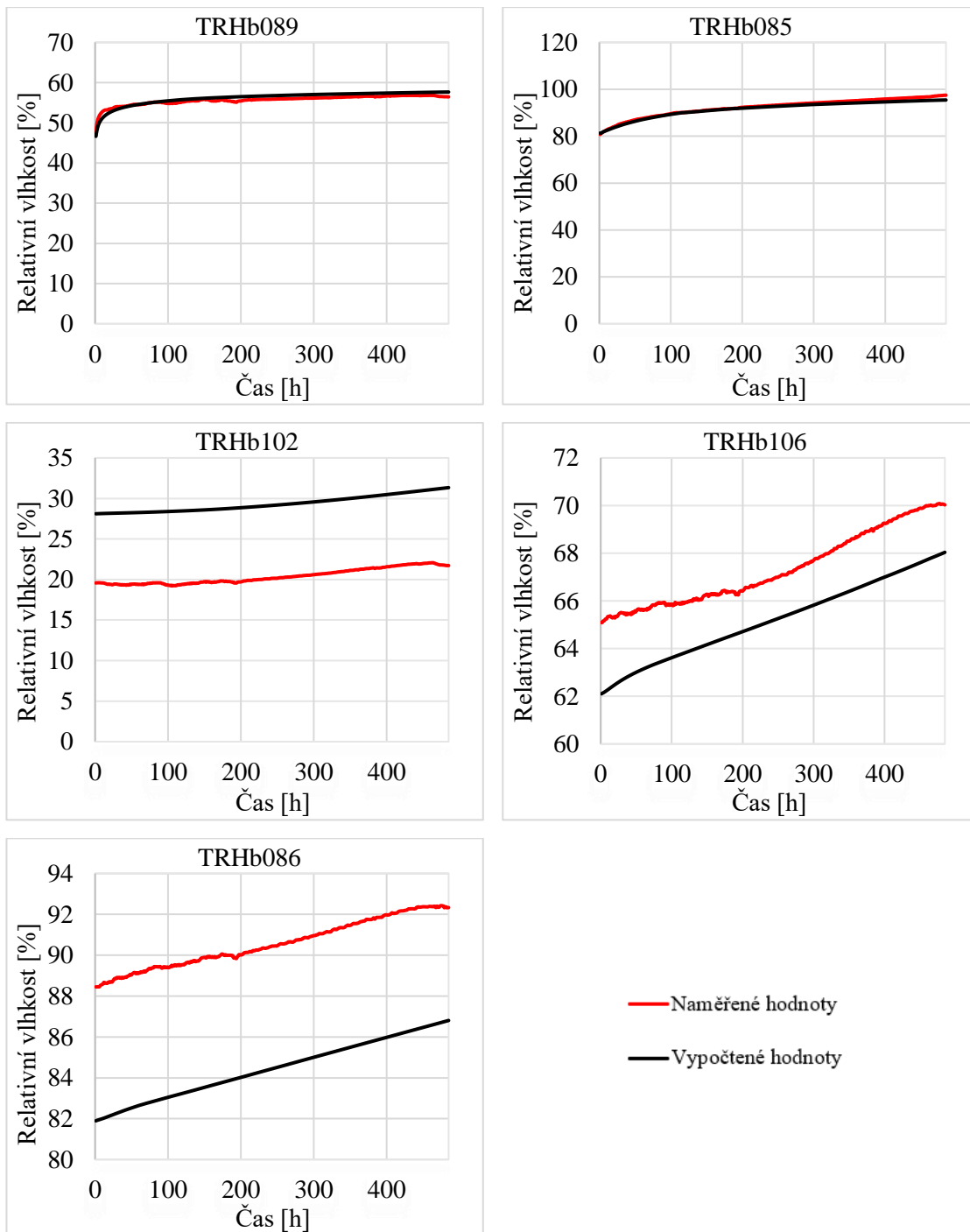
U čidla TRHb102 je vidět rozdíl mezi měřenými a vypočtenými hodnotami až 9 %. Naměřené hodnoty se pohybují v nižších relativních vlhkostech než hodnoty vypočtené. Tento rozdíl mohl vzniknout v důsledku odpařování zabudované vlhkosti OSB desky do exteriéru. Další možné vysvětlení je, že program zanedbává vliv hystereze. Deska OSB je vystavena největšímu vlhkostrnímu rozdílu. To znamená, že z jedné strany vysychá a z druhé vodu pojímá. Potom nelze tvrdit, že se chování desky řídí předpisem jen sorpční či jen desorpční křivky.

Dále je u čidla TRHb106, které je na rozmezí izolace Steico Protect dry a Steico flex patrné, že v začátku měření nebyl průběh vlhkosti stejný. Vypočtená křivka má v počátku konkávní průběh. Průběh relativní vlhkosti v počátku rychle vzroste a poté mírně klesá. V reálné skladbě tento jev nenastal. Jednou z možností vysvětlení tohoto průběhu je nedostatečné zmapování sorpční křivky daných izolací při různých teplotách. Je možné, že materiál izolace pojímal mnohem více vlhkosti do sebe a nepouštěl jí do další vrstvy, a proto zde nenastal tak vysoký náběh relativní vlhkosti na rozhraní izolací. Další problém je, že naměřené sorpční křivky jsou stanoveny pro teplotu 23 °C. V konstrukci je ale rozhraní izolací vystaveno teplotě přibližně -8 °C. Při této teplotě se sorpce materiálu může chovat jinak. Je známo, že chladnější materiál je schopen vázat více vlhkosti. Navíc výpočetní program neuvažuje sorpci v závislosti na teplotě.

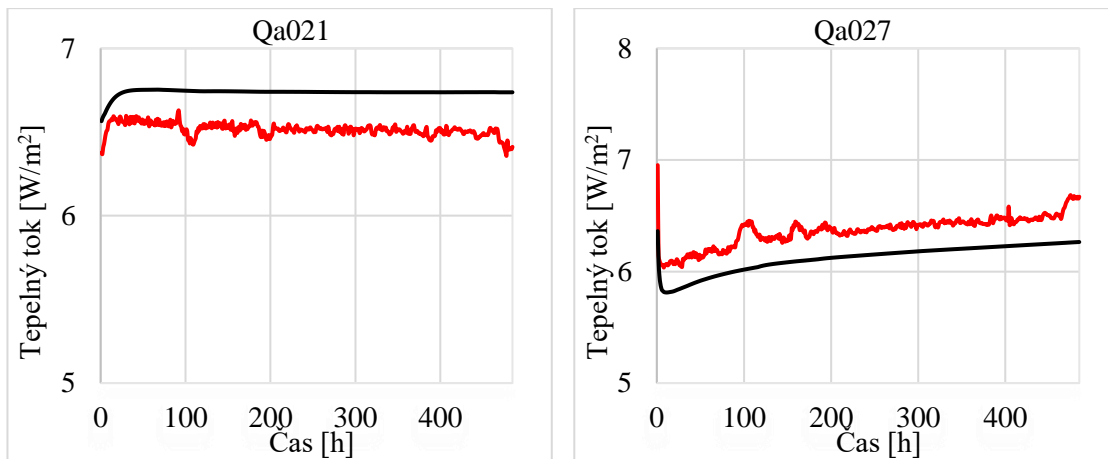
Fáze 2



Graf 16 Souhrn průběhů teploty naměřených jednotlivými čidly ve fázi 2



Graf 17 Souhrn průběhů relativních vlhkostí naměřených jednotlivými čidly ve fázi 2



— Naměřené hodnoty

— Vypočtené hodnoty

Graf 18 Souhrn průběhů tepelných toků naměřených jednotlivými čidly ve fázi 2

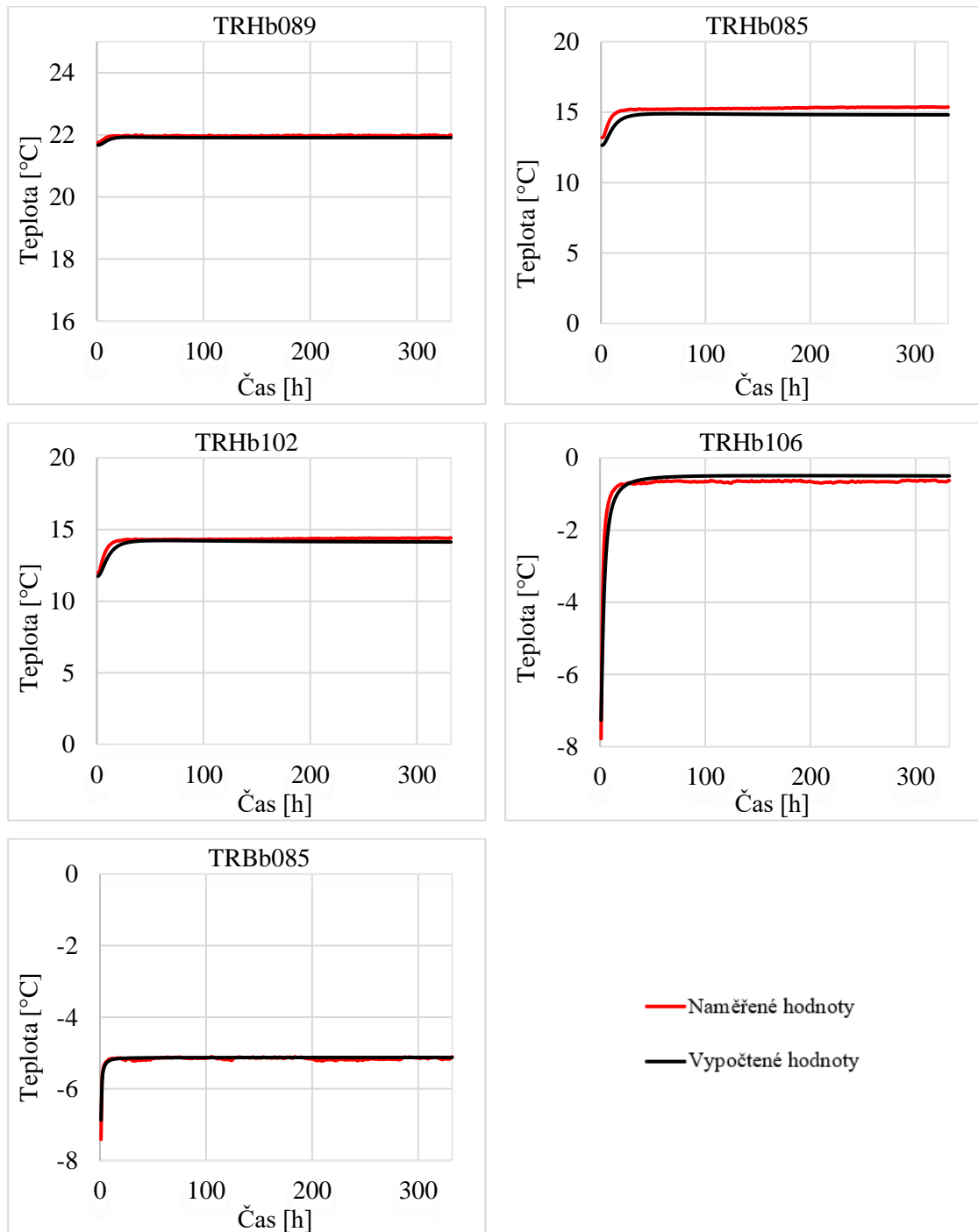
V grafech průběhu teplot je opět vidět malý rozdíl, který byl vysvětlen již u fáze 1. Rozdíly teplot u čidla TRHb085 mohou také vznikat v důsledku jiných vlastností materiálu. Ve výpočtech byla uvažovaná hodnota tepelné vodivosti izolace dle výrobce. Naměřené hodnoty byly vyšší než výpočtové. Pro sjednocení křivek by bylo třeba ve výpočtu uvažovat vyšší tepelnou vodivost izolace, tím pádem by přes vrstvu unikalo více tepla a křivka by se v grafu posouvala směrem dolů. Další možnost řešení je zlepšit tepelné parametry konstrukce za OSB deskou, tím dojde k většímu prohřátí konstrukce až k diskutovanému čidlu.

Průběh relativních vlhkostí ze strany interiéru k OSB desce je skoro totožný. Za OSB deskou směrem k exteriéru začínají vznikat větší odchylky naměřených a vypočtených hodnot relativních vlhkostí.

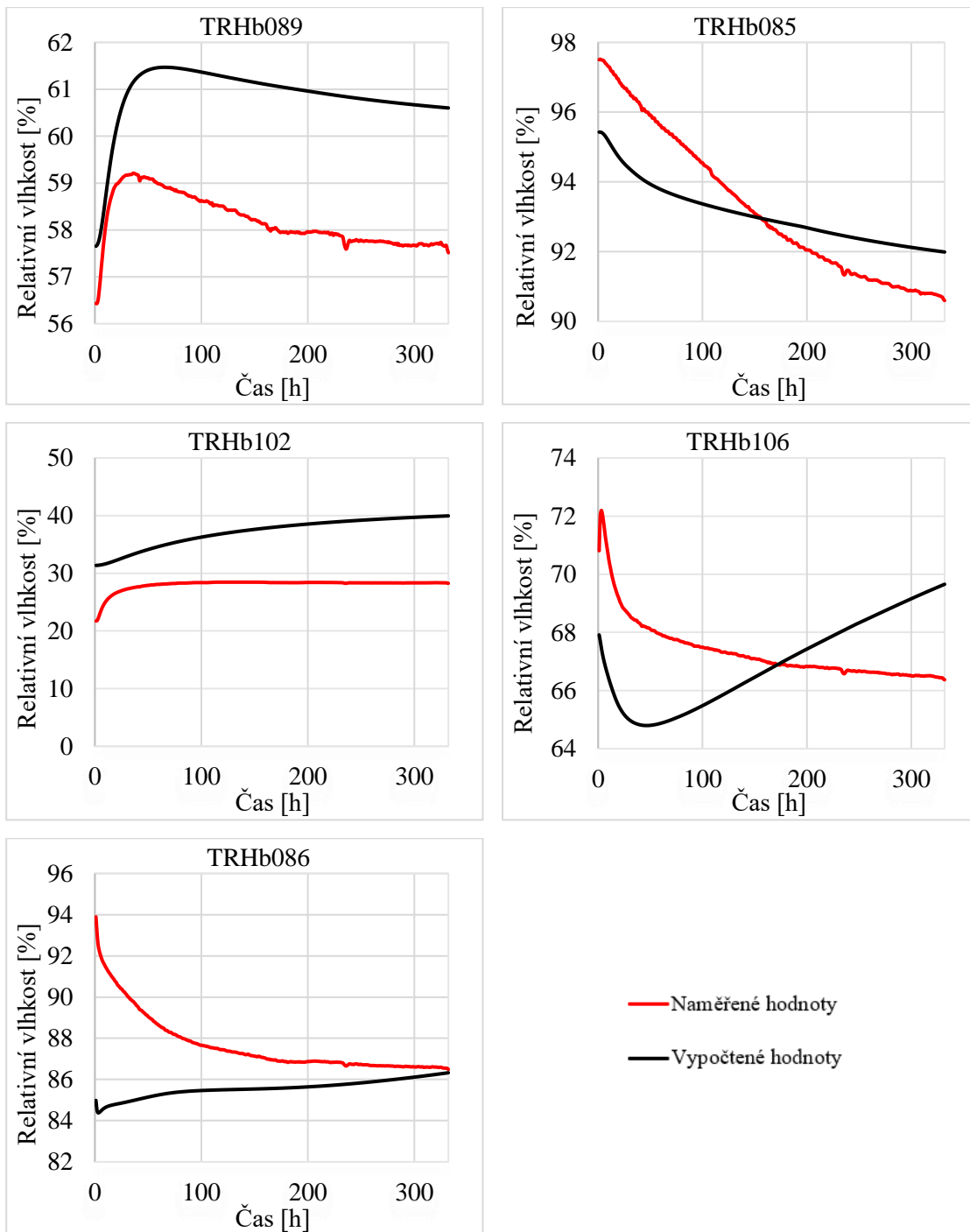
Na rozhraní 60 mm izolace Steico flex a OSB desky, kterému odpovídá čidlo TRHb085 je zjevné, že teplota se v místě pohybuje okolo 14 °C a vlhkost vystoupala až na 98 %. V tomto místě vznikne při vystavení zadaným okrajovým podmínkám problém. Toto prostředí je vhodné pro růst plísní. Posouzení vzniku plísní se řídí grafem v Příloze 3 – Rozvoj plísní.

Podmínky v interiéru simulují prostředí s výskytem vyšší relativní vlhkosti např. koupelny. Běžně se v obvodových stěnách těchto prostor vynechává tepelná izolace v předstěně. To znamená, že se konstrukce ochladí a tím se sníží riziko výskytu plísní. Dále se v koupelnách jako finální úprava stěn v interiéru používají obklady, které mají vysoký faktor difuzního odporu, a tak omezují prostup vodní páry z interiéru do konstrukce. Nevýhodou je, že se obklady lepí většinou do určité výšky a nikoliv až ke stropu místnosti.

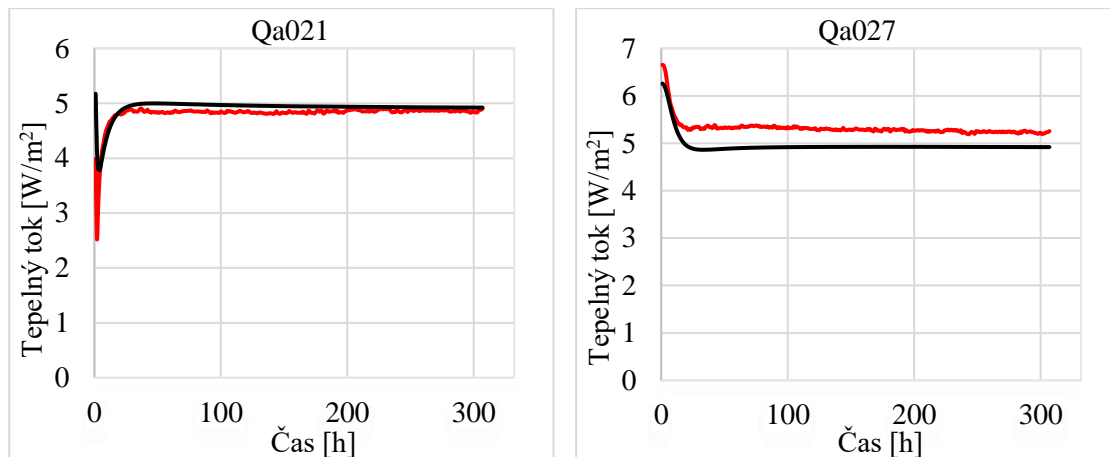
Fáze 3



Graf 19 Souhrn průběhů teploty naměřených jednotlivými čidly ve fázi 3



Graf 20 Souhrn průběhů relativních vlhkostí naměřených jednotlivými čidly ve fázi 3



— Naměřené hodnoty

— Vypočtené hodnoty

Graf 21 Souhrn průběhů tepelných toků naměřených jednotlivými čidly ve fázi 3

Průběh teplot je i v této fázi velmi podobný. To se nedá říci o průběhu relativních vlhkostí. Ze zkušenosti s prací s čidly je možné soudit, že mají snímače mnohem větší odchylky při měření ve vyšších relativních vlhkostech.

Čidlu TRHb085 je potřeba věnovat pozornost (již bylo zmíněno ve fázi 2), protože je zde ideální teplota i vlhkost pro růst plísní.

U čidla TRHb086 je vidět velký rozdíl relativních vlhkostí na začátku měření daný průběhem relativních vlhkostí v předchozí fázi. Na konci této fáze je patrné, že se relativní vlhkost ustaluje a hodnoty se k sobě blíží.

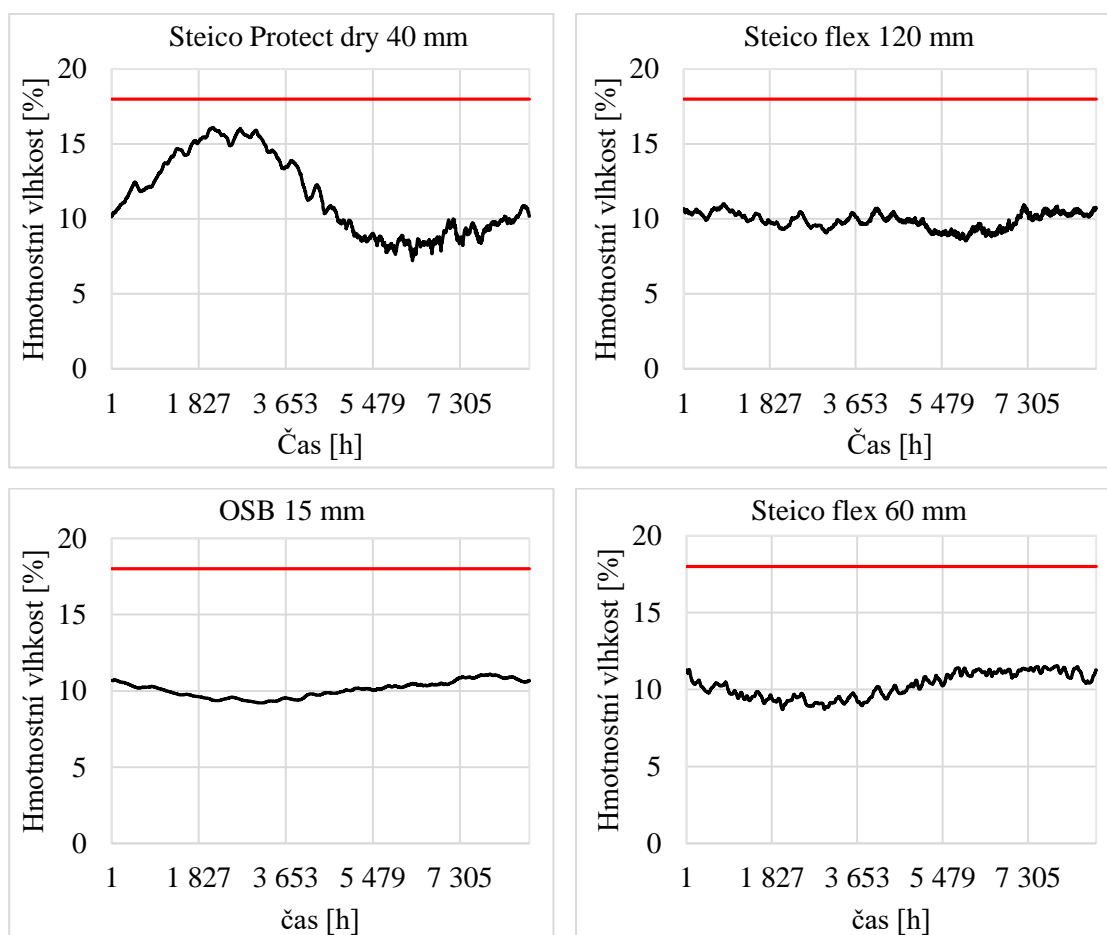
V následující tabulce je uveden přehled jednotlivých dypočtených součinitelů prostupu tepla skladby konstrukce pro různé fáze simulace. Součinitel prostupu tepla byl dypočten jak z hodnot čidla pro měření tepelného toku Qa027, ale i z čidla Qa021. Z předchozích grafů je zjevné, že u čidla Qa021 jsou vidět větší odchylky vypočteného průběhu od reálného.

Výpočet	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² K)]	
	Qa027	Qa021
1.fáze	0,166	0,173
2.fáze	0,161	0,177
3.fáze	0,176	0,174

Tab. 13 Porovnání součinitelů prostupu tepla obvodovou konstrukcí

Roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry

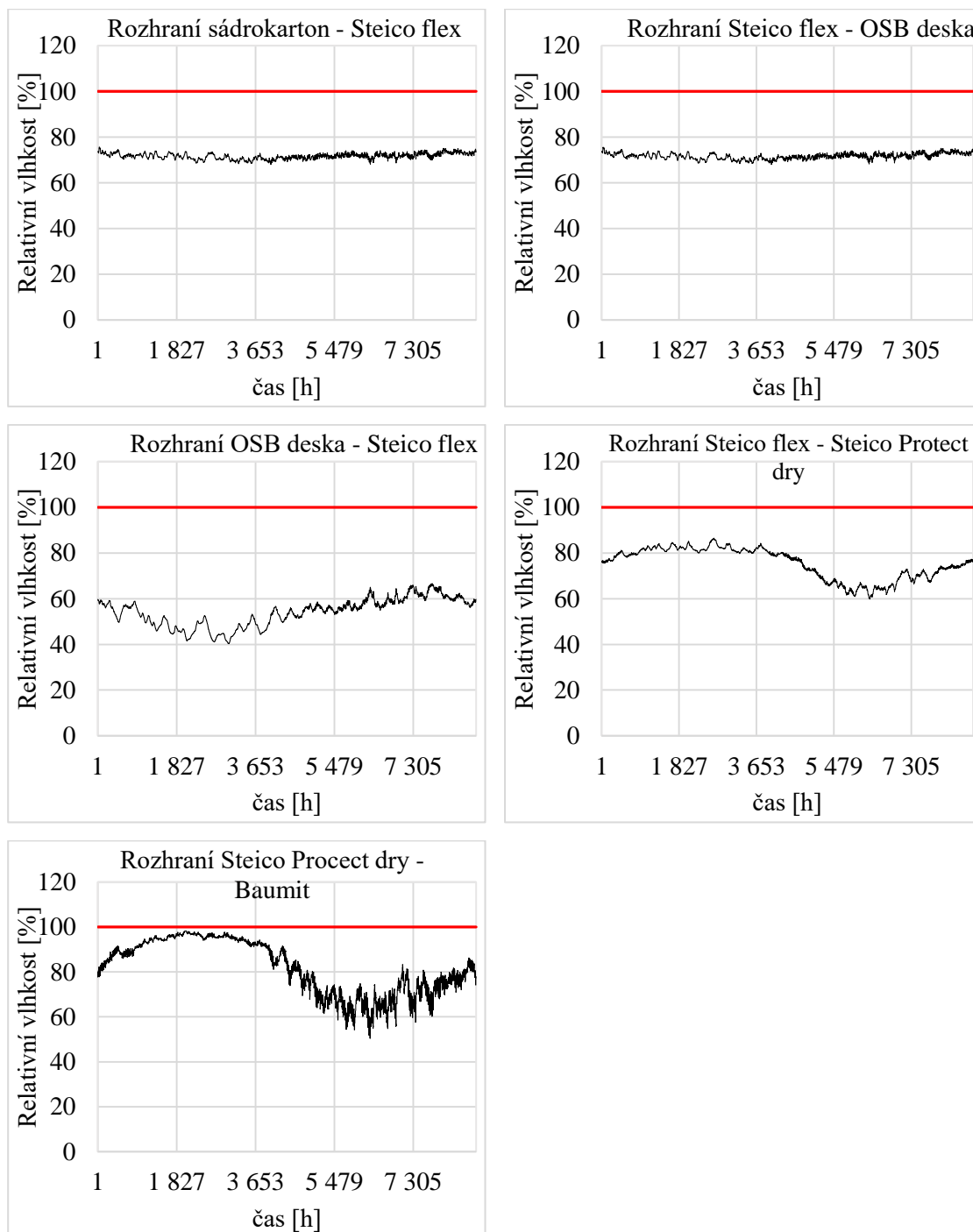
Protože norma ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky uvádí, že u dřevěných prvků či prvků na bázi dřeva zabudovaných v konstrukci nesmí rovnovážná hmotnostní vlhkost prvku překročit 18 % hm., bylo nutné tento požadavek prošetřit. V následujících grafech je vyobrazen průběh hmotnostní vlhkosti v procentech v čase jednoho modelového roku vypočten v programu WUFI® 6 [2]. Červeně je vyznačena mez 18 % hmotnostní vlhkosti.



Graf 22 Souhrn průběhů hmotnostních vlhkostí v programu WUFI® 6

V žádném z materiálů na bázi dřeva nedojde k překročení normou stanovené meze 18 % hm. Průběh hmotnostních vlhkostí je vztažen ke celé tloušťce materiálu. Není tady zcela patrné, jestli se v jednotlivých částech materiálu vlhkost neliší.

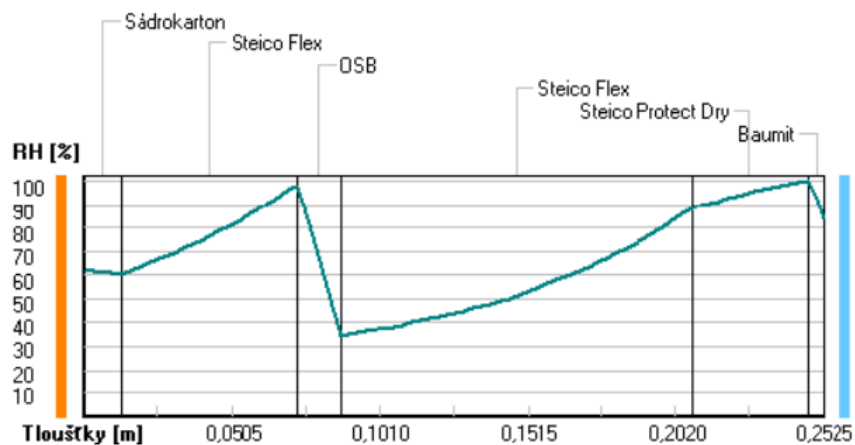
Další požadavek na konstrukci se týká kondenzace vodní páry. Proto bylo riziko kondenzace také prošetřeno. Na grafech je vyobrazený průběh relativních vlhkostí na jednotlivých rozhraních materiálů směrem od interiéru k exteriéru. Červeně je vyznačena 100 % relativní vlhkost neboli oblast, kde vzniká kondenzace.



Graf 23 Souhrn průběhů relativních vlhkostí v programu WUFI® 6

Ani v tomto případě nedošlo k překročení 100% nasycení materiálu vodní párou. Výskyt plísní lze také vyloučit. Ve chvíli, kdy je na rozhraní materiálů vysoká relativní vlhkost, se teplota pohybuje pod 0 °C. Aby mohla plíseň vzniknout a růst, potřebuje vyšší teplotu a stabilní podmínky. Během roku dochází k velkým teplotním výkyvům. Konstrukci lze prohlásit podle vyhodnocení softwaru WUFI® 6 [2] za bezpečnou.

Stejná konstrukce byla posouzena na roční bilanci a množství odpařitelné vodní páry v programu Teplo 2017 [21]. Tento program vyhodnocuje konstrukci dvěma způsoby. V první části vyhodnocení probíhá podle již zmíněné normy ČSN 73 0540. Program je značně zjednodušený oproti programu WUFI® 6 [2]. Jako nejmenší časový krok je použit měsíc. Po vyhodnocení v tomto softwaru vyšlo, že v konstrukci dochází pod omítkou ke kondenzaci. Množství zkondenzované vodní páry je 0,1557 kg/(m²rok), což je více než 0,1 kg/(m²rok), které povoluje norma.



Obr. 64 Průběh relativní vlhkosti konstrukcí v programu Teplo 2017

Druhé posouzení, které program provádí, je posouzení dle EN ISO 13788. Podle této metodiky v konstrukci vodní pára nekondenzuje. Konstrukce tedy vyhovuje.

Aby bylo možné konstrukci prohlásit za bezpečnou, musí obě dvě dílčí části splňovat požadavky. V tomto případě tomu tak není. Konstrukce podle softwaru Teplo 2017 [21] nesplňuje normou stanovené požadavky.

V normě ČSN 73 0540-2 je v poznámce uvedeno, že pokud se v konstrukci nachází kapilárně aktivní materiály, je možné zhodnocení šíření vlhkosti v konstrukci pokročilejšími výpočtovými metodami. V této práci se jedná o program WUFI® 6 [2]. Simulace byla v programu spuštěna na 5 let a bylo ověřeno, že se hmotnostní vlhkost v materiálech trvale nezvyšuje, ale zůstává stejná. Podle tohoto sofistikovanějšího výpočetního programu zde ke kondenzaci nedochází. Proto lze říci, že konstrukce splňuje požadavky stanovené normou.

5 Závěr

Tato diplomová práce analyzuje tepelně vlhkostní chování obvodových stěn moderních dřevostaveb s typickou skladbou, kdy byla jako parobrzdná vrstva použita OSB deska. Proto, aby bylo možné konstrukci dobře prozkoumat, byly provedeny dílčí experimenty. Měřila se objemová hmotnost dřevovláknitých izolací, které byly ve skladbě použity. Objemová hmotnost měkké dřevovláknité izolace Steico flex byla stanovena na 52 kg/m^3 a pro Steico Protect dry 183 kg/m^3 . Nadále bylo provedeno stanovení faktoru difuzního odporu dřevoštěpkových desek. Hodnota byla stanovena na desorpční izotermě při rozdílu relativních vlhkostí vzduchu $85 \% / 58 \%$, střední relativní vlhkosti vzduchu 71% na $73,8 \pm 13$. Protože se jednotlivé výsledné hodnoty faktoru difuzního odporu lišily v řádu desítek, bylo provedeno dodatečné určení objemové hmotnosti OSB desek. V těsné blízkosti odběru zkušebních vzorků pro měření faktoru difuzního odporu byly odebrány nové vzorky, které se vysušily a stanovila se jejich objemová hmotnost. Výsledné hodnoty desky OSB Superfinish eco se pohybovaly v rozmezí $549 - 627 \text{ kg/m}^3$. Po vyhodnocení bylo určeno, že faktor difuzního odporu závisí na objemové hmotnosti měřeného materiálu.

V rámci této práce byl vytvořen vzorek skladby obvodové stěny v reálném měřítku a byl vložen do klimatické dvojkomory. Na rozhraní jednotlivých materiálů byla vložena čidla a měřila se relativní vlhkost a teplota v těchto místech. Cílem experimentu bylo získat kvalitní měřená data pro validaci dynamického výpočetního modelu.

Dále byly provedeny simulace chování obvodové stěny v programu WUFI® 6 [2], kam se pro upřesnění vlastností vložily hodnoty naměřené objemové hmotnosti a faktoru difuzního odporu materiálů naměřených v laboratoři UCEEB. V prvním kole simulací byly pro výpočet nastaveny totožné podmínky jako vzorku v klimatické dvojkomoře. Simulace se až na malé odchylky shodovala s reálným průběhem měření. Největší rozdíl mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami byl v místě za OSB deskou směrem k exteriéru. Běžně byly rozdíly relativní vlhkosti mezi měřenými a vypočtenými hodnotami v rozmezí $\pm 2 \%$, ale v místě za OSB deskou dosahovaly až $\pm 10 \%$. Ve druhém kole byla provedena simulace chování konstrukce pro klimatický rok pro lokalitu Hradce Králové. Po analýze dat bylo zjištěno, že hmotnostní vlhkost jednotlivých materiálů na bázi dřeva nepřesáhne 18% hm. Dále bylo zjištěno, že v průběhu roku nedojde ke kondenzaci vodní páry v konstrukci.

Skladba konstrukce byla posouzena i v programu Teplo 2017 [21]. V programu bylo provedeno vyhodnocení podle ČSN 73 0540. V konstrukci vyšlo množství zkondenzované vodní páry 0,16 kg/(m²rok) a to je více než 0,10 kg/(m²rok), které povoluje norma. Další vyhodnocení bylo provedeno dle EN ISO 13788. V tomto případě skladba vyhověla.

Norma ČSN 73 0540-2 uvádí, že je možné pro hodnocení transportu vodní páry konstrukcí využít pokročilejší výpočtové metody. V tomto případě se jednalo o již zmíněný program WUFI® 6 [2]. Protože po vyhodnocení v tomto programu nedošlo k překročení hodnot stanovených normou, je možné konstrukci označit pro obytné místnosti s běžnou relativní vlhkostí za bezpečnou.

Conclusion

This diploma thesis analyzes the thermo-moisture behavior of the external walls of modern wood-based buildings with a typical structure composition, when an OSB board was used as a vapor barrier layer. In order to investigate were carried out a partial experiments. The bulk density of wood-fiber insulation used in the composition was measured. The bulk density of soft wood fiber insulation Steico flex was set at 52 kg/m^3 and for Steico Protect dry 183 kg/m^3 . Next has measured the diffusion resistance factor of the oriented strand boards. The value of the diffusion resistance factor was determined on a desorption isotherm with a relative air humidity difference $85 \% / 58 \%$, mean relative air humidity of 71% at $73,8 \pm 13$. Because the individual diffusion resistance factor values differed by tens, it was performed an additional determination of the OSB bulk density. New samples were taken in close proximity to the sampling for determining the diffusion resistance factor, which were dried and their bulk density determined. The resulting OSB Superfinish eco values ranged from $549 - 627 \text{ kg/m}^3$. After evaluation, it was determined that the diffusion resistance factor depends on the bulk density of the measured material.

For this diploma thesis was created a sample of the composition of the external wall on a real scale and was inserted into the climatic chamber. Sensors were placed at the interface of the individual materials and the relative humidity and were measured at these locations. The purpose of the experiment was to obtain quality measured data for validation of the dynamic computational model.

Behavior simulation of the external wall was performed in the WUFI® 6 program [2], where were inserted the values of the measured bulk density and the diffusion resistance factor of materials measured in the UCEEB. In the first round of simulations, the same conditions were set for the calculation as the sample in the climatic chamber. The simulation coincided with the real course of measurement with small deviations,. The biggest difference between the measured and calculated values was in the place behind the OSB board towards the exterior. Normally the relative humidity differences between the measured and calculated values were within $\pm 2 \%$, but in the area behind the OSB board reached up to $\pm 10 \%$. In the second round a behavior simulation of the construction was performed for the climate year for the locality of Hradec Králové.

After analysis of the data it was found that the moisture content of the individual wood-based materials did not exceed 18 % by weight. Next was found that during the year there will be no condensation of water vapor in the structure.

The structure of the construction was also assessed in the program Teplo 2017 [21]. The program evaluated the structure according to ČSN 73 0540. In the construction, the amount of condensed water vapor was 0,16 kg/(m²year) and it is more than 0,10 kg/ (m²year), which is allowed by the standard. Next evaluation was performed on EN ISO 13788. In this case the construction complied.

Standard ČSN 73 0540-2 states that it is possible to use more advanced calculation methods for evaluation of water vapor transport through structures. This was the already mentioned WUFI® 6 program [2]. Because the evaluation in this program did not exceed the values specified by the standard, it is possible to designate the construction as safe for living rooms with normal relative humidity.

Použitá literatura

- [1] *Maják ve světě dřevostaveb | ADMD* [online]. [vid. 2019-11-04].
Dostupné z: <https://www.admd.cz/>
- [2] *Release of WUFI Pro® 6.0 | WUFI (en)* [online]. [vid. 2019-11-04].
Dostupné z: <https://wufi.de/en/2016/04/19/wufi-pro-6-0-release/>
- [3] KOPECKÝ, Pavel. *Stavební tepelná technika Šíření tepla, vzduchu a vlhkosti v budovách a stavebních prvcích*. 2014
- [4] NOVÁK, Jan. Šíření vodní páry. In: . FSv ČVUT v Praze. 2014.
- [5] *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*
- [6] *Glaser, H., Waermeleitung und Feuchtigkeitsdurchgang durch Kuehlraumisolierungen, Kaltetchnik, Vol. 3, 1958*. nedatováno.
- [7] *Fick, A. (1855). „Ueber Diffusion“. Annalen der Physik (in German). 94 (1): 59–86*. nedatováno.
- [8] *ČSN EN ISO 12572: Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlastností prostupu vodní páry – Misková metoda*
- [9] *GX/GF Series Precision Balances | Balances | Weighing | Products | A&D* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: https://www.aandd.jp/products/weighing/balance/toploader/gx_gf.htm
- [10] *BINDER GmbH - experts in the field of incubators and climate chambers* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: <https://www.binder-world.com/en>
- [11] *COMET Vision | COMET SYSTEM, s.r.o.* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: <https://www.cometsystem.cz/produkty/reg-cv>
- [12] *Testo, s.r.o. | Profesionální měřicí přístroje a systémy od světového leadera na trhu Testo SE & Co. KGaA* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: <https://www.testo.com/cz-CZ/>
- [13] *JCGM 106:2012 Evaluation of Measurement Data—The role of measurement uncertainty in Conformity Assessment*. nedatováno.
- [14] *OSB - Kronobuild - Produkty - Kronospan* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: https://cz.kronospan-express.com/cs/products/by_category/kronobuild/osb#c=1211,1213,1214,1215,1216,5
- [15] *STEICO - Stavební systém z přírody | domů* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: <https://www.steico.com/cz/>

- [16] *Buch & Holm - Laboratorieudstyr og Industriudstyr* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: <https://www.buch-holm.dk/>
- [17] *Váhy RADWAG - Váhy RADWAG* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: <https://www.radwag.cz/>
- [18] Products. *Hukseflux* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: <https://www.hukseflux.com/products>
- [19] *Measurement Solutions - Humidity, Temperature, CO2 and Differential Pressure Measurement - ROTRONIC Measurement Solutions* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: https://www.rotronic.com/en-ch/?gclid=Cj0KCQiAt_PuBRDcARIsAMNIBdpENkd55nwpkjM6kBmeUP2_PqkkNS9hMYqqBRsgsAC4z7m2cCBcE-0aAooyEALw_wcB&gclidsrc=aw.ds
- [20] *SVO - Kimo* [online]. [vid. 2019-11-26].
Dostupné z: <https://www.kimo.it/prodotto/svo/>
- [21] *Stavební fyzika - Teplo 2017 | K-CAD, spol. s r.o.* [online]. [vid. 2019-12-03].
Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/teplo/>
- [22] *Tabulkový software – bezplatná zkušební verze Excelu – Microsoft Excel* [online]. [vid. 2019-11-25].
Dostupné z: <https://products.office.com/cs-cz/excel>

Seznam obrázků

Obr. 1 Sorpční izoterma [3].....	6
Obr. 2 Vlhkostní bilance vyjádřená grafickým schématem [3].....	9
Obr. 3 Rozmístění vzorků – OSB Superfinish eco.....	17
Obr. 4 Rozmístění vzorků – OSB Airstop.....	18
Obr. 5 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 1.....	21
Obr. 6 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 2.....	21
Obr. 7 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 3.....	21
Obr. 8 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 4.....	21
Obr. 9 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 5.....	21
Obr. 10 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 6.....	21
Obr. 11 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 7.....	22
Obr. 12 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 8.....	22
Obr. 13 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 9.....	22
Obr. 14 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 10.....	22
Obr. 15 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 11.....	22
Obr. 16 Rozmístění ventilátorů v exsikátoru – varianta 12.....	22
Obr. 17 Výsledné rozmístění ventilátorů v komoře.....	23
Obr. 18 Kondicionování vzorků v 85 % RH.....	25
Obr. 19 Příprava roztoku do misek.....	27
Obr. 20 Osazený vzorek na misce.....	27
Obr. 21 Vzorky na skelněných miskách v exsikátoru – sada 1.....	27
Obr. 22 Vzorky na skelněných miskách v exsikátoru – sada 2.....	27
Obr. 23 Kondicionování vzorků v 23 % RH.....	28
Obr. 24 Hliníková miska.....	29
Obr. 25 Hliníková miska s fólií.....	29
Obr. 26 Skleněné mezikruží.....	30
Obr. 27 Vzorek obalený butylkaučukovou páskou.....	30
Obr. 28 Vzorek osazený na mezikruží.....	30
Obr. 29 Vzorky na hliníkových miskách v exsikátoru.....	30
Obr. 30 Skladba A.....	34
Obr. 31 Skladba B.....	34
Obr. 32 OSB Superfinish eco [14].....	35

Obr. 33 OSB Airstop [14].....	35
Obr. 34 Steico flex [15]	35
Obr. 35 Steico Protect dry s omítkovým souvrstvím [15].....	35
Obr. 36 Rozmístění čidel	36
Obr. 37 Půdorys skladby v klimakomoře	37
Obr. 38 3D model	37
Obr. 39 Řez skladbou	38
Obr. 40 KVH rám s izolací Steico Protect dry – pohled 1	39
Obr. 41 KVH rám s izolací Steico Protect dry – pohled 2	39
Obr. 42 KVH rám s armovací tkaninou.....	39
Obr. 43 KVH rám s drážkou pro čidlo	39
Obr. 44 KVH rám s fasádní omítkou.....	40
Obr. 45 KVH rámy vloženy do zkušebního rámu	40
Obr. 46 Čidlo Rotronic HC2-C04	40
Obr. 47 Čidlo HukseFlux HFP01-05	40
Obr. 48 KVH rámy s izolací Steico flex.....	40
Obr. 49 KVH rámy zaklopeny OSB deskami.....	40
Obr. 50 Skladby ve zkušebním rámu z pohledu interiéru	41
Obr. 51 Skladby ve zkušebním rámu z pohledu exteriéru.....	41
Obr. 52 Čidla Rotronic HC2A-s	41
Obr. 53 Perlinka pro zpomalení proudění vzduchu.....	41
Obr. 54 Experiment v klimatické dvojkomoře	42
Obr. 55 Skladba konstrukce v programu WUFI 6.....	43
Obr. 56 Roční data pro Hradec Králové	47
Obr. 57 Roční data pro provoz s vysokým zatížením vlhkostí.....	47
Obr. 58 Skladba konstrukce v programu Teplo 2017.....	48
Obr. 59 Odběr vzorků – objemová hmotnost, OSB Superfinish eco	52
Obr. 60 Odběr vzorků – objemová hmotnost, OSB Airstop	53
Obr. 61 OSB vzorky v sušárně	54
Obr. 62 Vzorek izolace Steico Protect dry	56
Obr. 63 Vzorek izolace Steico flex.....	56
Obr. 64 Průběh relativní vlhkosti konstrukcí v programu Teplo 2017.....	72

Seznam tabulek

Tab. 1 Zkušební podmínky [8]	13
Tab. 2 Vlastnosti materiálů.....	14
Tab. 3 Sady relativních vlhkostí při měření na adsorpční izotermě	15
Tab. 4 Sady relativních vlhkostí při měření na desorpční izotermě	15
Tab. 5 Rozdělení vzorků pro měření na desorpční izotermě.....	26
Tab. 6 Rozdělení vzorků pro měření na adsorpční izotermě.....	29
Tab. 7 Fáze experimentu v klimakomoře	34
Tab. 8 Seznam použitých čidel.....	37
Tab. 9 Výpočetní intervaly jednotlivých fází	45
Tab. 10 Výpočetní interval roční simulace.....	46
Tab. 11 Hodnoty naměřeného faktoru difuzního odporu	50
Tab. 12 Závislost hmotnosti a faktoru difuzního odporu	55
Tab. 13 Porovnání součinitelů prostupu tepla obvodovou konstrukcí	69

Seznam grafů

Graf 1 Sorpční křivka Steico flex	44
Graf 2 Sorpční křivka Steico Protect dry.....	44
Graf 3 Průběh změny hmotnosti sady 1	49
Graf 4 Průběh změny hmotnosti sady 2	49
Graf 5 Závislost faktoru difuzního odporu na relativní vlhkosti při zahrnutí nejistot – OSB Superfinish.....	51
Graf 6 Závislosti faktoru difuzního odporu na relativní vlhkosti při zahrnutí nejistot – OSB Airstop	51
Graf 7 Výsledky objemové hmotnosti OSB desek.....	54
Graf 8 Závislost hmotnosti a faktoru difuzního odporu	55
Graf 9 Výsledná objemová hmotnost izolace Steico Protect dry	56
Graf 10 Výsledná objemová hmotnost izolace Steico flex	56
Graf 11 Souhrnný graf průběhu teplot na jednotlivých čidlech	57
Graf 12 Souhrnný graf průběhu relativních vlhkostí na jednotlivých čidlech	57
Graf 13 Souhrn průběhů teploty naměřených jednotlivými čidly ve fázi 1	58
Graf 14 Souhrn průběhů relativních vlhkostí naměřených jednotlivými čidly ve fázi 1	59
Graf 15 Souhrn průběhů tepelných toků naměřených jednotlivými čidly ve fázi 1.....	60
Graf 16 Souhrn průběhů teploty naměřených jednotlivými čidly ve fázi 2	62
Graf 17 Souhrn průběhů relativních vlhkostí naměřených jednotlivými čidly ve fázi 2	63
Graf 18 Souhrn průběhů tepelných toků naměřených jednotlivými čidly ve fázi 2.....	64
Graf 19 Souhrn průběhů teploty naměřených jednotlivými čidly ve fázi 3	66
Graf 20 Souhrn průběhů relativních vlhkostí naměřených jednotlivými čidly ve fázi 3	67
Graf 21 Souhrn průběhů tepelných toků naměřených jednotlivými čidly ve fázi 3.....	68
Graf 22 Souhrn průběhů hmotnostních vlhkostí v programu WUFI® 6.....	70
Graf 23 Souhrn průběhů relativních vlhkostí v programu WUFI® 6	71

Seznam příloh

Příloha 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6

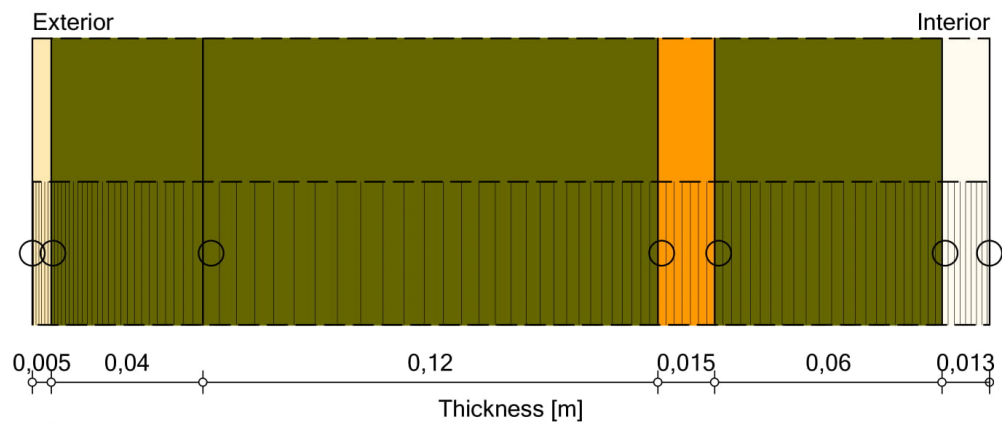
Příloha 2 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu Teplo 2017

Příloha 3 – Rozvoj plísní

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Component Assembly

Case: Ustálení v čase



Materials:

	- *Baunit	0,005 m
	- *Steico Protect Dry	0,04 m
	- *Steico Flex	0,12 m
	- *OSB	0,015 m
	- *Steico Flex	0,06 m
	- *Sádrokarton	0,013 m

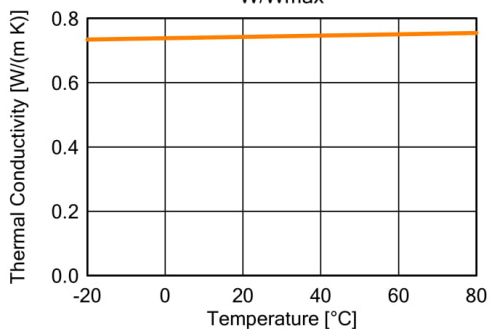
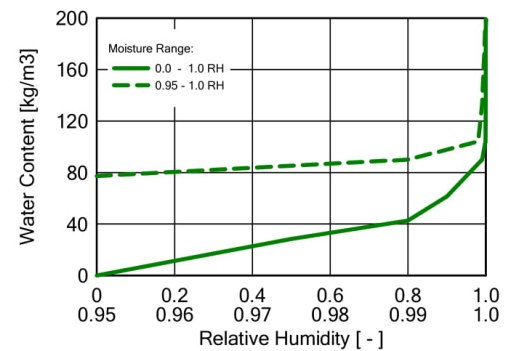
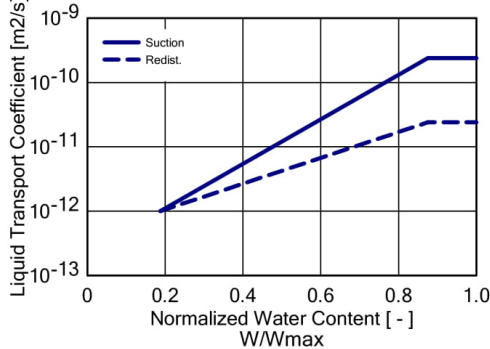
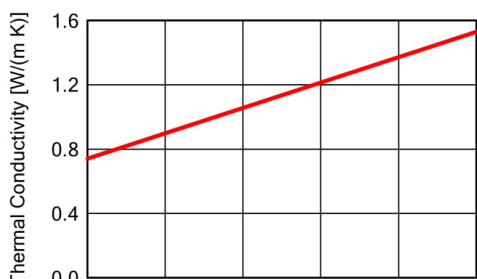
Total Thickness: 0,253 m
 R-Value: 5,47 (m² K)/W
 U-Value: 0,177 W/(m² K)

Příloha 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Material: *Baumit

Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m ³]	1800
Porosity	[m ³ /m ³]	0.24
Specific Heat Capacity, Dry	[J/(kg K)]	850
Thermal Conductivity, Dry, 10°C	[W/(m K)]	0.74
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[-]	43.8
Reference Water Content	[kg/m ³]	45
Free Water Saturation	[kg/m ³]	210
Water Absorption Coefficient	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0.00167
Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement	[%/M.-%]	8
Temp-dep. Thermal Cond. Supplement	[W/(m K ²)]	0.0002

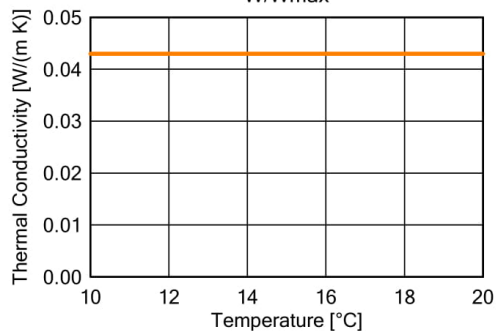
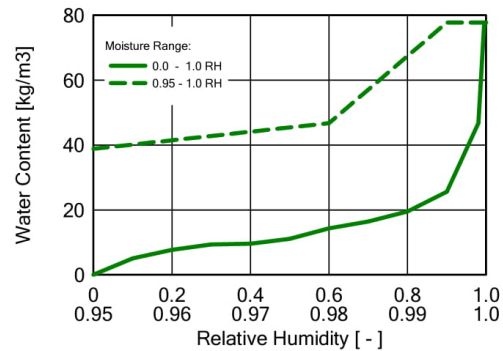
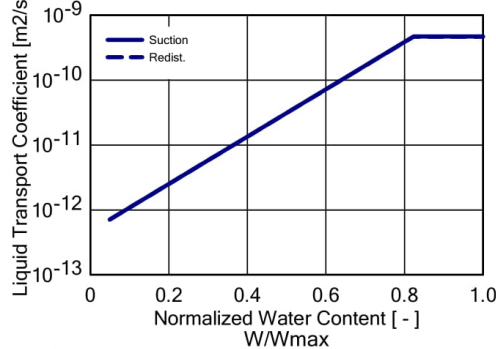
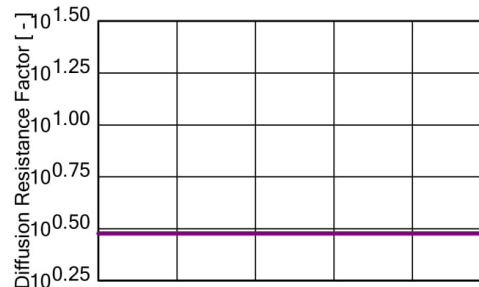
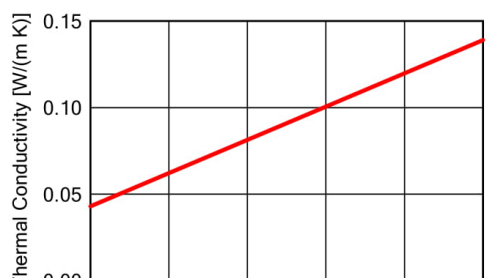


Příloha 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Material: *Steico Protect Dry

Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m ³]	183.33
Porosity	[m ³ /m ³]	0.82
Specific Heat Capacity, Dry	[J/(kg K)]	2100
Thermal Conductivity, Dry, 10°C	[W/(m K)]	0.043
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[-]	3
Reference Water Content	[kg/m ³]	40.5
Free Water Saturation	[kg/m ³]	675
Water Absorption Coefficient	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0.0075
Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement	[%/M.-%]	0.5

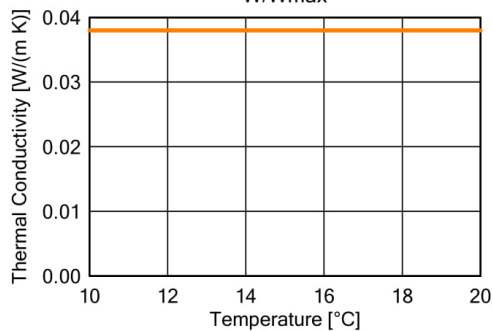
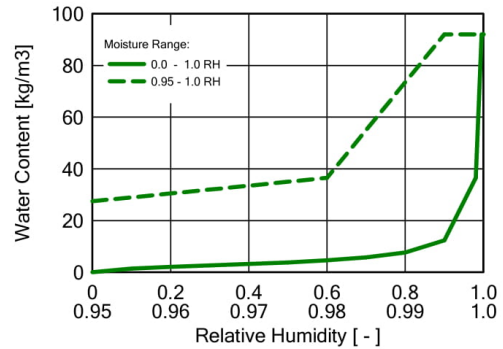
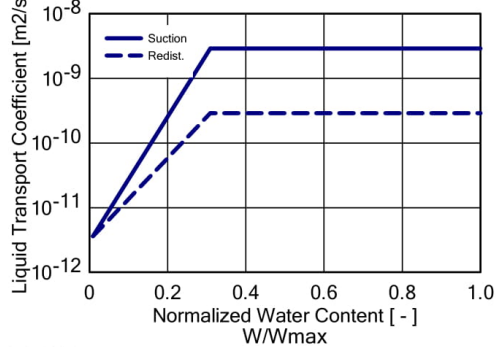
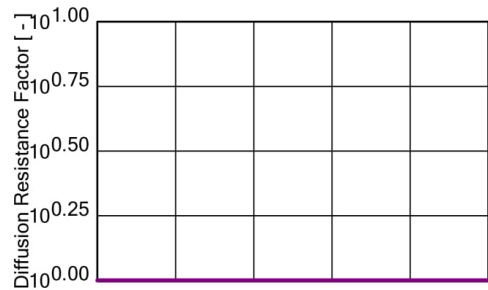
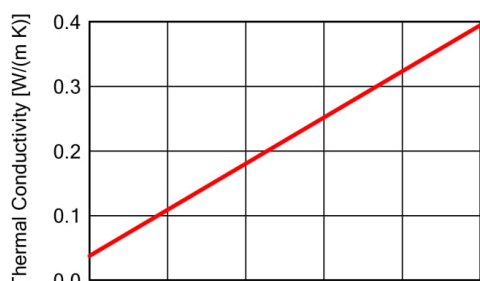


Příloha 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Material: *Steico Flex

Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m ³]	51.65
Porosity	[m ³ /m ³]	0.97
Specific Heat Capacity, Dry	[J/(kg K)]	2100
Thermal Conductivity, Dry, 10°C	[W/(m K)]	0.038
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[-]	1
Reference Water Content	[kg/m ³]	9
Free Water Saturation	[kg/m ³]	300
Water Absorption Coefficient	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0.00833
Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement	[%/M.-%]	0.5

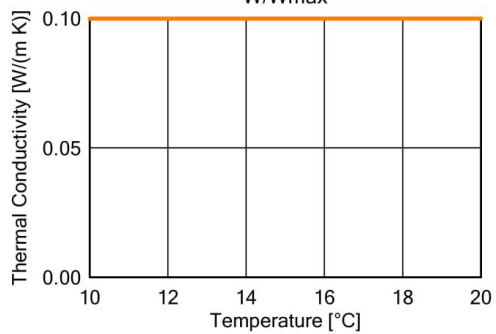
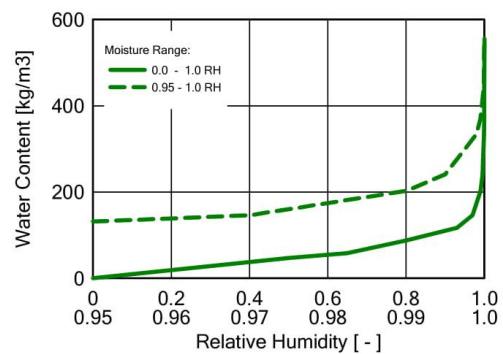
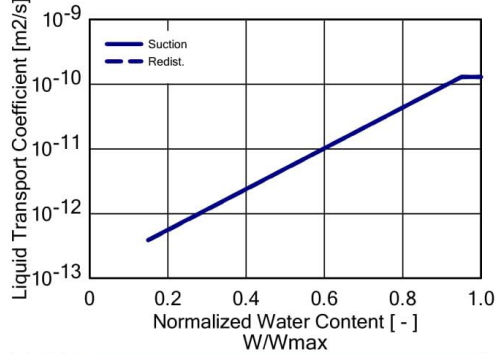
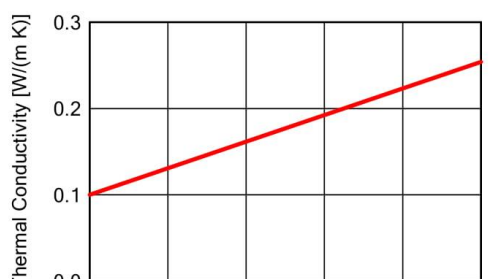


Příloha 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Material: *OSB

Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m ³]	584.54
Porosity	[m ³ /m ³]	0.6
Specific Heat Capacity, Dry	[J/(kg K)]	1400
Thermal Conductivity, Dry, 10°C	[W/(m K)]	0.1
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[-]	267
Reference Water Content	[kg/m ³]	90
Free Water Saturation	[kg/m ³]	570
Water Absorption Coefficient	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0.00333
Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement	[%/M.-%]	1.5

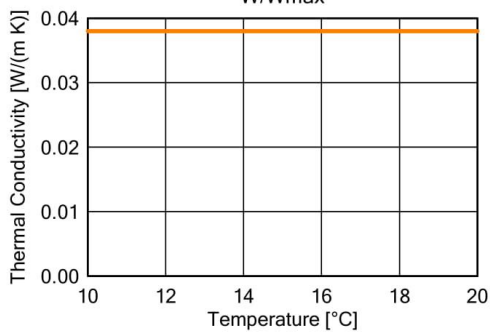
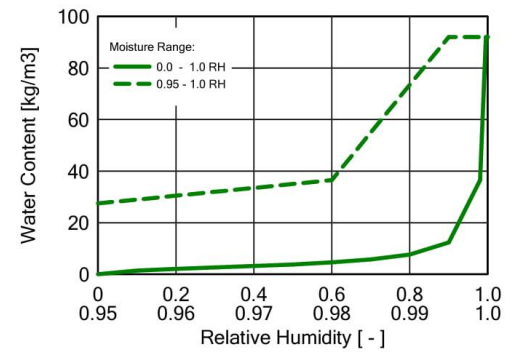
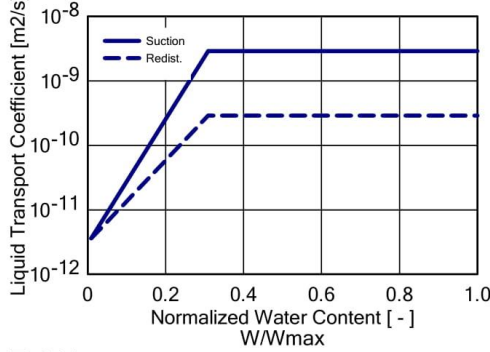
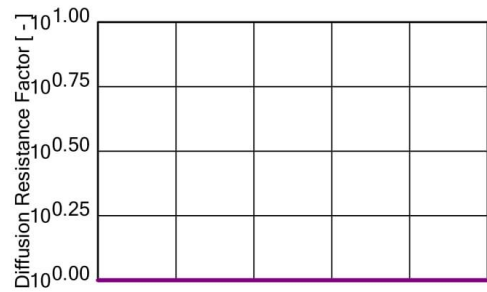
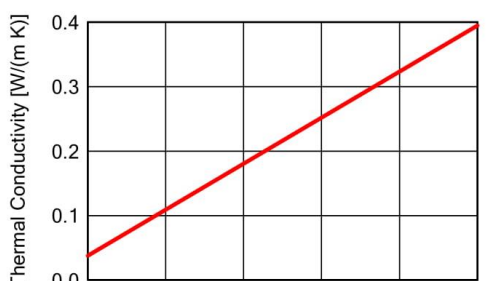


Příloha 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Material: *Steico Flex

Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m ³]	51.65
Porosity	[m ³ /m ³]	0.97
Specific Heat Capacity, Dry	[J/(kg K)]	2100
Thermal Conductivity, Dry, 10°C	[W/(m K)]	0.038
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[-]	1
Reference Water Content	[kg/m ³]	9
Free Water Saturation	[kg/m ³]	300
Water Absorption Coefficient	[kg/(m ² s ^{0.5})]	0.00833
Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement	[%/M.-%]	0.5

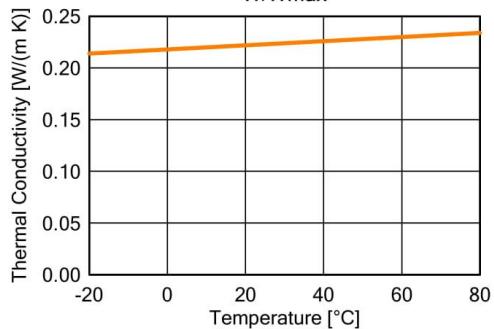
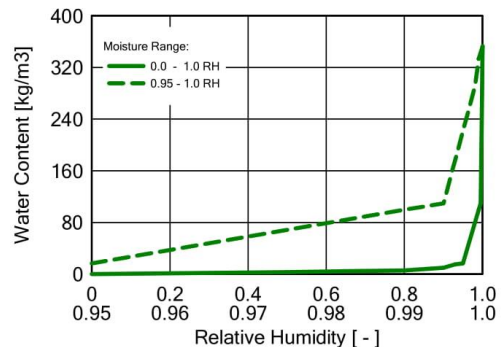
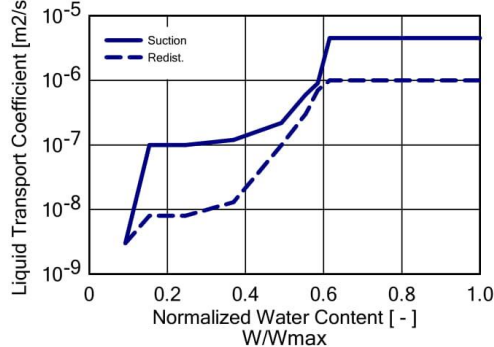
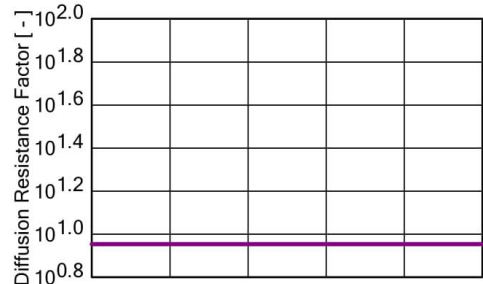


Příloha 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Material: *Sádrokarton

Property	Unit	Value
Bulk density	[kg/m ³]	750
Porosity	[m ³ /m ³]	0.65
Specific Heat Capacity, Dry	[J/(kg K)]	850
Thermal Conductivity, Dry, 10°C	[W/(m K)]	0.22
Water Vapour Diffusion Resistance Factor	[-]	9
Moisture-dep. Thermal Cond. Supplement	[%/M.-%]	8
Temp-dep. Thermal Cond. Supplement	[W/(m K ²)]	0.0002



Příloha 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Boundary Conditions

Exterior (Left Side)

Indoor Climate: WTA Guideline 6-2-01/E
User-Defined Sine Curve Parameters

Interior (Right Side)

Indoor Climate: WTA Guideline 6-2-01/E
User-Defined Sine Curve Parameters

Surface Transfer Coefficients

Exterior (Left Side)

Name	Description	Unit	Value
Heat Resistance - includes long-wave radiation		[(m ² K)/W]	0.04 yes
sd-Value	No coating	[m]	----
Short-Wave Radiation Absorptivity	No absorption/emission	[-]	----
Long-Wave Radiation Emissivity	No absorption/emission	[-]	----
Adhering Fraction of Rain	No absorption	[-]	----
Explicit Radiation Balance			no

Interior (Right Side)

Name	Description	Unit	Value
Heat Resistance		[(m ² K)/W]	0.13
sd-Value	No coating	[m]	----

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Results from Last Calculation

Status of Calculation

Calculation: Time and Date	16.11.2019 15:40:10
Computing Time	0 min,2 sec.
Begin / End of calculation	23.07.2019 / 10.09.2019
No. of Convergence Failures	0

Check for numerical quality

Integral of fluxes, left side (kl,dl)	[kg/m ²]	-0.0 -0.1
Integral of fluxes, right side (kr,dr)	[kg/m ²]	-1,4E-8 -0,71
Balance 1	[kg/m ²]	0,62
Balance 2	[kg/m ²]	0,62

Water Content [kg/m²]

	Start	End	Min.	Max.
Total Water Content	1,85	2,47	1,84	2,47

Water Content [kg/m³]

Layer/Material	Start	End	Min.	Max.
*Baumit	25,15	36,38	24,84	36,38
*Steico Protect Dry	10,27	17,17	10,27	17,17
*Steico Flex	3,53	3,00	2,73	3,53
*OSB	42,45	58,85	42,10	58,85
*Steico Flex	3,54	5,28	3,54	5,28
*Sádrokarton	2,86	3,01	2,75	3,01

Time Integral of fluxes

Heat Flux, left side	[MJ/m ²]	-29,68
Heat Flux, right side	[MJ/m ²]	-26,6
Moisture Fluxes, left side	[kg/m ²]	-0,1
Moisture Fluxes, right side	[kg/m ²]	-0,71

Hygrothermal Sources

Heat Sources	[MJ/m ²]	0,0
Moisture Sources	[kg/m ²]	0,0
Unreleased Moisture Sources (due to cut-off)	[kg/m ²]	0,0

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Results from Last Calculation

Status of Calculation

Calculation: Time and Date	16.11.2019 16:14:13
Computing Time	0 min.1 sec.
Begin / End of calculation	10.09.2019 / 01.10.2019
No. of Convergence Failures	0

Check for numerical quality

Integral of fluxes, left side (kl,dl)	[kg/m2]	-0,0 -0,08
Integral of fluxes, right side (kr,dr)	[kg/m2]	-3,1E-8 -0,63
Balance 1	[kg/m2]	0,55
Balance 2	[kg/m2]	0,55

Water Content [kg/m2]

	Start	End	Min.	Max.
Total Water Content	2,46	3,01	2,46	3,01

Water Content [kg/m3]

Layer/Material	Start	End	Min.	Max.
*Baumit	36,38	38,22	36,33	38,22
*Steico Protect Dry	17,17	19,05	17,17	19,05
*Steico Flex	3,00	3,24	3,00	3,24
*OSB	58,85	72,07	58,83	72,07
*Steico Flex	5,12	8,86	5,12	8,86
*Sádrokarton	3,00	4,12	3,00	4,12

Time Integral of fluxes

Heat Flux, left side	[MJ/m2]	-11,98
Heat Flux, right side	[MJ/m2]	-10,65
Moisture Fluxes, left side	[kg/m2]	-0,08
Moisture Fluxes, right side	[kg/m2]	-0,63

Hygrothermal Sources

Heat Sources	[MJ/m2]	0,0
Moisture Sources	[kg/m2]	0,0
Unreleased Moisture Sources (due to cut-off)	[kg/m2]	0,0

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Results from Last Calculation

Status of Calculation

Calculation: Time and Date	16.11.2019 16:39:14
Computing Time	0 min,1 sec.
Begin / End of calculation	01.10.2019 / 14.10.2019
No. of Convergence Failures	0

Check for numerical quality

Integral of fluxes, left side (kl.dl)	[kg/m ²]	-0.0 -0.07
Integral of fluxes, right side (kr.dr)	[kg/m ²]	-4.6E-9 -0.13
Balance 1	[kg/m ²]	0.07
Balance 2	[kg/m ²]	0.07

Water Content [kg/m²]

	Start	End	Min.	Max.
Total Water Content	3.01	3.07	3.01	3.07

Water Content [kg/m³]

Layer/Material	Start	End	Min.	Max.
*Baumit	38.22	42.26	38.22	42.26
*Steico Protect Dry	19.05	19.24	18.55	19.24
*Steico Flex	3.23	3.80	3.23	3.80
*OSB	72.07	74.27	72.07	74.27
*Steico Flex	8.86	7.82	7.82	8.89
*Sádrokarton	4.12	4.25	4.12	4.29

Time Integral of fluxes

Heat Flux, left side	[MJ/m ²]	-5.67
Heat Flux, right side	[MJ/m ²]	-5.92
Moisture Fluxes, left side	[kg/m ²]	-0.07
Moisture Fluxes, right side	[kg/m ²]	-0.13

Hygrothermal Sources

Heat Sources	[MJ/m ²]	0.0
Moisture Sources	[kg/m ²]	0.0
Unreleased Moisture Sources (due to cut-off)	[kg/m ²]	0.0

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Boundary Conditions

Exterior (Left Side)

Location: Hradec Králové; Hradec Králové
 Temperature Shift: 0.0 °C
 Orientation / Inclination: North / 90 °

Interior (Right Side)

Indoor Climate: EN 15026
 High Moisture Load (EN/DIN/WTA)

Surface Transfer Coefficients

Exterior (Left Side)

Name	Description	Unit	Value
Heat Resistance - includes long-wave radiation		[(m ² K)/W]	0,04 yes
sd-Value	No coating	[m]	----
Short-Wave Radiation Absorptivity	Stucco, normal bright	[-]	0.4
Long-Wave Radiation Emissivity	Stucco, normal bright	[-]	0.9
Adhering Fraction of Rain	Depending on inclination of	[-]	0,7
Explicit Radiation Balance			yes
Terrestrial Short-Wave Reflectivity		[-]	0.2
Terrestrial Long-Wave Emissivity		[-]	0,9
Terrestrial Long-Wave Reflectivity		[-]	0,1
Cloud Index		[-]	0,66

Interior (Right Side)

Name	Description	Unit	Value
Heat Resistance		[(m ² K)/W]	0,13
sd-Value	No coating	[m]	----

Příloha 1 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu WUFI® 6

WUFI Pro 6.3 NonCommercial

Results from Last Calculation

Status of Calculation

Calculation: Time and Date	03.12.2019 0:34:06
Computing Time	1 min,6 sek.
Begin / End of calculation	01.10.2019 / 01.10.2021
No. of Convergence Failures	174

Check for numerical quality

Integral of fluxes, left side (kl,dl)	[kg/m2]	6,68 -12,17
Integral of fluxes, right side (kr,dr)	[kg/m2]	-9,8E-8 -3,13
Balance 1	[kg/m2]	-1,59
Balance 2	[kg/m2]	-2,36

Water Content [kg/m2]

	Start	End	Min.	Max.
Total Water Content	4,61	2,96	2,57	4,63

Water Content [kg/m3]

Layer/Material	Start	End	Min.	Max.
*Baumit	210,00	40,85	22,51	210,00
*Steico Protect Dry	19,50	18,65	13,22	45,15
*Steico Flex	7,68	5,53	4,41	7,78
*OSB	87,68	62,47	53,82	88,61
*Steico Flex	7,68	5,82	4,49	7,92
*Sádrokarton	6,30	4,74	2,68	6,54

Time Integral of fluxes

Heat Flux, left side	[MJ/m2]	301,17
Heat Flux, right side	[MJ/m2]	-139,56
Moisture Fluxes, left side	[kg/m2]	-7,06
Moisture Fluxes, right side	[kg/m2]	-3,13

Hygrothermal Sources

Heat Sources	[MJ/m2]	0,0
Moisture Sources	[kg/m2]	0,0
Unreleased Moisture Sources (due to cut-off)	[kg/m2]	0,0

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

Teplo 2017 tepelná ochrana budov (ČSN 730540, EN ISO 6946, EN ISO 13788)

Název kce	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření	DeltaT10 [C]
Obvodová stěna moderní dřevostavby	stěna	5.881	0.165	0.1557	ano	---

Vysvětlivky:

R	tepelný odpor konstrukce
U	součinitel prostupu tepla konstrukce
Ma,max	maximální množství zkond. vodní páry v konstrukci za rok
DeltaT10	pokles dotykové teploty podlahové konstrukce.

KOMPLEXNÍ POSOUZENÍ SKLADBY STAVEBNÍ KONSTRUKCE Z HLEDISKA ŠÍŘENÍ TEPLA A VODNÍ PÁRY

podle EN ISO 13788, EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2017

Název úlohy : **Obvodová stěna moderní dřevostavby**
 Zpracovatel : TT 2017
 Zakázka :
 Datum : 17.11.2019

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější jednoplášťová
 Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m2K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m3]	Mi [-]	Ma [kg/m2]
1	Sádrokarton	0,0125	0,2200	850,0	750,0	9,0	0.0000
2	Steico Flex	0,0600	0,0380	2100,0	51,7	1,0	0.0000
3	OSB	0,0150	0,1000	1400,0	584,5	100,0	0.0000
4	Steico Flex	0,1200	0,0380	2100,0	51,7	1,0	0.0000
5	Steico Protect	0,0400	0,0430	2100,0	183,3	3,0	0.0000
6	Baumit	0,0050	0,7400	850,0	1800,0	43,8	0.0000

Poznámka: D je tloušťka vrstvy, Lambda je návrhová hodnota tepelné vodivosti vrstvy, C je měrná tepelná kapacita vrstvy, Ro je objemová hmotnost vrstvy, Mi je faktor difúzního odporu vrstvy a Ma je počáteční zabudovaná vlhkost ve vrstvě.

Číslo	Kompletní název vrstvy	Interní výpočet tep. vodivosti
1	Sádrokarton	---
2	Steico Flex	---
3	OSB	---
4	Steico Flex	---
5	Steico Protect Dry	---
6	Baumit	---

Okrajové podmínky výpočtu :

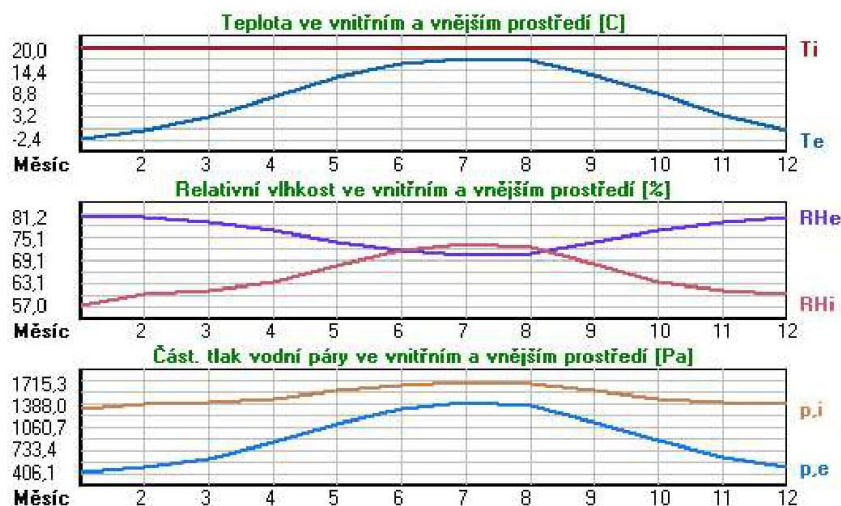
Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m2K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rsi : 0.25 m2K/W
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m2K/W
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty Rse : 0.04 m2K/W

Příloha 2 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu Teplo 2017

Návrhová venkovní teplota T_e : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.0 C
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 84.0 %
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	T_{ai} [C]	RHi [%]	P_i [Pa]	T_e [C]	RHe [%]	P_e [Pa]	
1	31	744	20.0	57.0	1332.1	-2.4	81.2	406.1
2	28	672	20.0	60.0	1402.2	-0.4	80.5	475.5
3	31	744	20.0	60.9	1423.2	3.2	79.4	610.0
4	30	720	20.0	63.1	1474.6	8.1	77.3	834.5
5	31	744	20.0	67.6	1579.8	13.1	74.2	1118.0
6	30	720	20.0	71.7	1675.6	16.3	71.6	1326.3
7	31	744	20.0	73.4	1715.3	17.6	70.3	1414.1
8	31	744	20.0	72.7	1699.0	17.1	70.8	1379.9
9	30	720	20.0	68.0	1589.1	13.4	74.0	1137.1
10	31	744	20.0	63.4	1481.6	8.6	77.0	859.9
11	30	720	20.0	61.0	1425.5	3.5	79.3	622.3
12	31	744	20.0	60.2	1406.8	-0.3	80.5	479.4

Poznámka: T_{ai} , RHi a P_i jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a T_e , RHe a P_e jsou prům. měsíční parametry v prostředí na vnější straně konstrukce (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry).



Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %

Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem podle EN ISO 13788.

Počet hodnocených let : 1

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 5.881 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.165 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.19 / 0.22 / 0.27 / 0.37 W/m²K

Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z_{pT} : 1.1E+0010 m/s

Teplotní útlum konstrukce N_{y^*} podle EN ISO 13786 : 126.5

Fázový posun teplotního kmitu $\Psi_{s_i^*}$ podle EN ISO 13786 : 9.2 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor podle ČSN 730540 a EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách $T_{s_i,p}$: 18.58 C

Teplotní faktor v návrhových podmínkách $f_{Rsi,p}$: 0.959

Příloha 2 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu Teplo 2017

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně $R_{si}=0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
	Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi,m[C]	f,Rsi,m			
1	14.6	0.761	11.2	0.608	19.1	0.959	60.3
2	15.4	0.776	12.0	0.608	19.2	0.959	63.2
3	15.7	0.742	12.2	0.537	19.3	0.959	63.5
4	16.2	0.683	12.8	0.392	19.5	0.959	65.0
5	17.3	0.610	13.8	0.105	19.7	0.959	68.8
6	18.2	0.525	14.7	-----	19.9	0.959	72.4
7	18.6	0.424	15.1	-----	19.9	0.959	73.8
8	18.5	0.470	15.0	-----	19.9	0.959	73.2
9	17.4	0.606	13.9	0.078	19.7	0.959	69.1
10	16.3	0.675	12.8	0.372	19.5	0.959	65.2
11	15.7	0.739	12.3	0.531	19.3	0.959	63.6
12	15.5	0.778	12.1	0.609	19.2	0.959	63.4

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, Tsi je vnitřní povrchová teplota a f,Rsi je teplotní faktor.

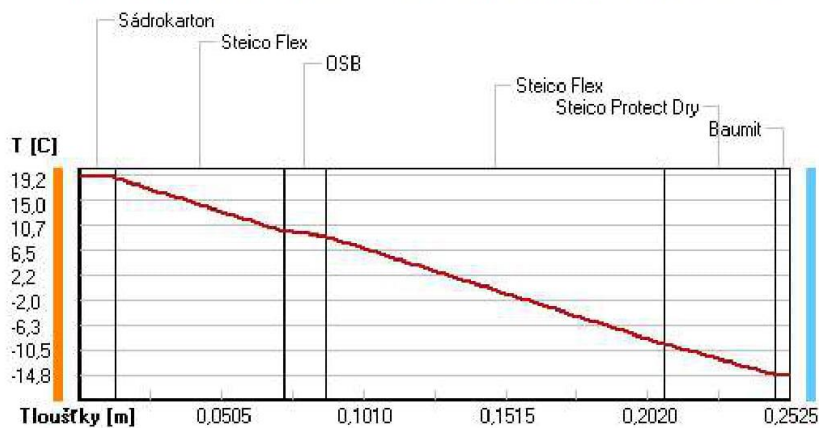
Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
theta [C]:	19.2	18.9	9.8	8.9	-9.3	-14.7	-14.8
p [Pa]:	1285	1225	1193	385	321	256	138
p,sat [Pa]:	2230	2185	1210	1141	275	169	168

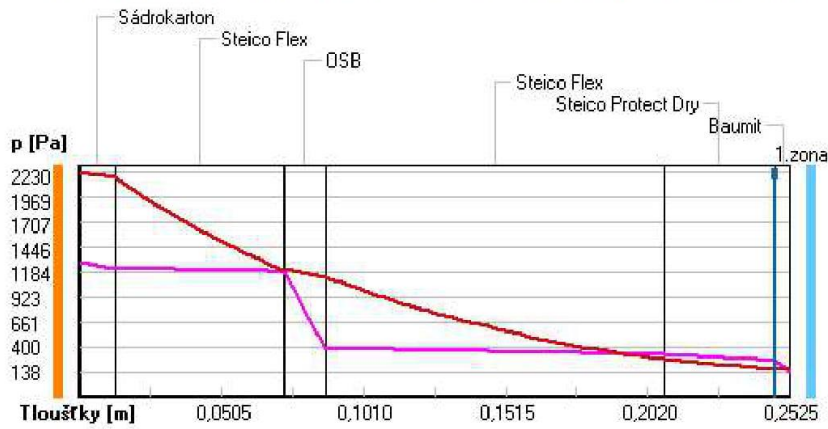
Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p,sat je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.

Teplo v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách

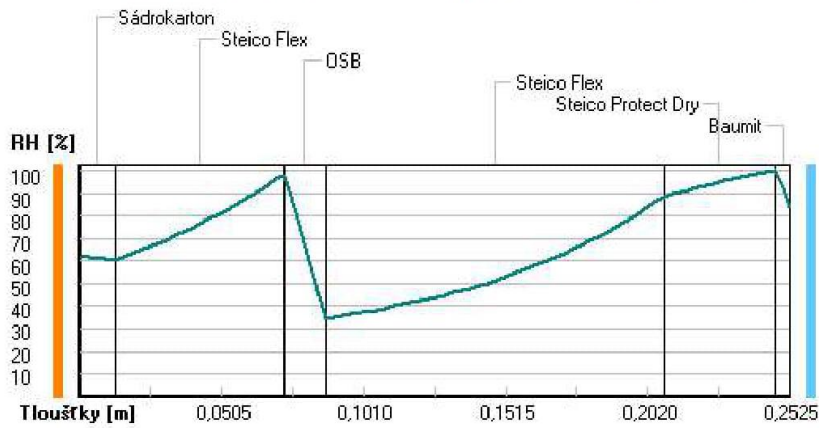


Příloha 2 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu Teplo 2017

Část tlaky vodní páry v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Rel. vlhkosti v typickém místě konstrukce v ustál. návrh. podmínkách



Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
1	0.2475	0.2475	8.887E-0008

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok $M_{c,a}$: **0.1557 kg/(m2.rok)**

Příloha 2 – Vstupní parametry a výsledky výpočtu v programu Teplo 2017

Množství vypařitelné vodní páry za rok $M_{ev,a}$: **8.6393 kg/(m².rok)**
Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

Poznámka: Hodnocení difúze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

Rozmezí relativních vlhkostí v jednotlivých materiálech (pro poslední roční cyklus):

Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
		pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	Sádrokarton	31	242	92	---	---
2	Steico Flex	---	---	275	90	---
3	OSB	---	---	275	90	---
4	Steico Flex	---	---	275	90	---
5	Steico Protect	---	---	153	122	90
6	Baumit	---	---	153	122	90

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřipustné hmotnostní vlhkosti materiálu či riziko jeho koroze.

Konkrétně pro dřevo předepisuje ČSN 730540-2/Z1 maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Ze sorpční křivky pro daný typ dřeva lze odvodit, při jaké relativní vlhkosti vzduchu dosahuje dřevo této kritické hmotnostní vlhkosti. Obvykle jde o cca 80 %.

Pokud je v tabulce výše pro dřevo uveden dlouhodobější výskyt relativní vlhkosti nad 80 %, lze předpokládat, že požadavek ČSN 730540-2 na maximální hmotnostní vlhkost dřeva nebude splněn.

Teplo 2017, (c) 2016 Svoboda Software

Plísně

VTT model

Stupeň rozvoje plísní, M , který vyjadřuje rozsah napadení povrchu stavebního materiálu (spojitá veličina).

Stupeň M	Popis
0	Žádný růst
1	První známky plísní zjistitelné pouze mikroskopem, počáteční stádium růstu
2	Oddělené plísňové kolonie zjistitelné pouze mikroskopem
3	První známky plísní viditelné prostým okem, pokrytí < 10 %
4	Okem viditelné pokrytí 10 až 50 %
5	Hojný růst, okem viditelné pokrytí > 50%
6	Velmi hojný růst, téměř 100% pokrytí povrchu

Viitanen et al., 2015

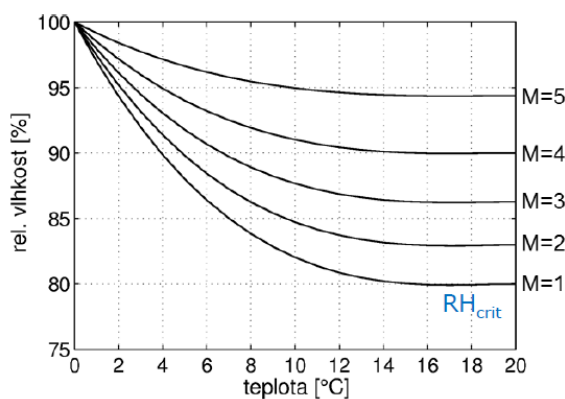


Konstrukce, u nichž stupeň rozvoje plísní nepřekročí hodnotu $M = 1$, jsou mikrobiologicky bezpečné.

Plísně

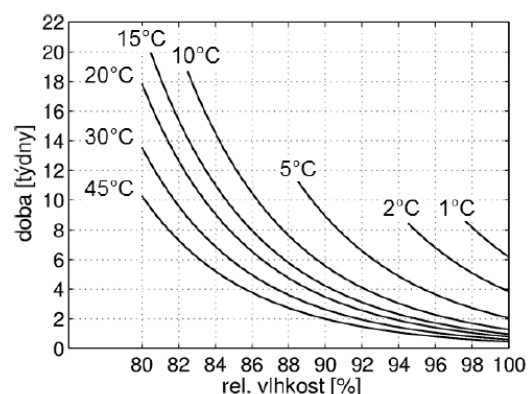
VTT model

Obecně platí, že čím vyšší teplotě a relativní vlhkosti je materiál vystaven, tím rozsáhlejší bude napadení plísněmi.



Nejvyšší dosažitelný stupeň rozvoje plísní pro smrk, konstantní podmínky (T;RH)

Doba nutná k dosažení počátečního stádia $M=1$ pro smrk, konstantní podmínky (T;RH)



Růst plísní je relativně pomalý proces a krátké dosažení příznivých podmínek (T;RH) pro růst nestačí. Klíčová je také doba trvání.