

# Implementace membránového laminátu do stavební konstrukce

## Diplomová práce

*Studijní program:* N3957 Průmyslové inženýrství  
*Studijní obor:* Řízení jakosti

*Autor práce:* **Bc. František Böhm**  
*Vedoucí práce:* doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.  
Katedra hodnocení textilií





## Zadání diplomové práce

# Implementace membránového laminátu do stavební konstrukce

*Jméno a příjmení:* **Bc. František Böhm**  
*Osobní číslo:* T18000079  
*Studijní program:* N3957 Průmyslové inženýrství  
*Studijní obor:* Řízení jakosti  
*Zadávající katedra:* Katedra hodnocení textilií  
*Akademický rok:* **2019/2020**

### Zásady pro vypracování:

1. Provedte rešerši na téma využití nanočástic ve stavebních materiálech. Zaměřte se na dřevěné konstrukce staveb, zmapujte současný stav poznání v oblasti difuzních vlastností konstrukčních řešení (difuzně otevřené a uzavřené).
2. Provedte návrh laminátů s membránou. Diskutujte možnost jejich využití v podobě doplňkové hydroizolační vrstvy dřevěné obvodové konstrukce.
3. Proměřte primární vlastnosti navržených laminátů a dalších konstrukčních prvků z hlediska plánovaného využití. Analyzujte a diskutujte výsledky měření.
4. Navrhněte vlastní metodiku měření pro ověření paropropustnosti navržených laminátů a dalších konstrukčních prvků. Výsledky analyzujte a diskutujte.
5. Navrhněte vhodné složení difuzně otevřené konstrukce. Vytvořte 3D model konstrukce.

Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování práce:  
Jazyk práce:

50 – 60 normostran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### Seznam odborné literatury:

1. Hejhálek, J. *Veličiny a jednotky difúzních výpočtů*. In: [www.stavebnictvi3000.cz](http://www.stavebnictvi3000.cz) [online],[vid. 17.2.2019], Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-a-kondenzace-vodni-pary-difuzne-otevrene-konstrukce/>
2. Krňanský, J. *Nanotextilie pro stavebnictví*. In: TechniCall: čtvrtletník Českého vysokého učení v Praze. Praha: Rektorát ČVUT, 2008
3. Staffenova, D., J.Rybarik a M. Jakubcik. *Intention, principle, outputs and aims of the experimental pavilion research of building envelopes including windows for wooden buildings*. Civil and Environmental Engineering. 2017, 13 (1), 42-51. [vid. 17.2.2019], Dostupné z: <https://content.sciendo.com/view/journals/cee/13/1/article-p42.xml>

Vedoucí práce:

doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.  
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání práce:

29. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

29. května 2020

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

19. května 2020

Bc. František Böhm

## Poděkování

Nelze dostatečně vyjádřit vděk každému, kdo při tvorbě při mně stál. Tak alespoň pár vět. Mé poděkování patří paní doc. Ing. Fridrichové, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování této práce věnovala. Panu Ing. Frydrychovi, za spolupráci od prvního písmene. Mé rodině, za jejich oporu a inspiraci, kdykoliv ji bylo třeba. Zejména dětičkám, rodičům, Šárince, babičce a dědečkovi.

## Anotace

Práce se zabývá návrhem difuzně otevřené konstrukce dřevostaveb, která minimalizuje rizika kondenzace vlhkosti spojené s užíváním objektu. Tohoto dosahujeme primárně zjednodušením souvrství s minimální regulací průniku vodních par do exteriéru. Za účelem inovace souvrství jsme vyrobili šest laminátů z kombinací nosných textilií spunbond a spunlace s vloženou nanovláknennou, mikroporézni a hydrofilní membránou. Tyto sendvičové lamináty byly laboratorně testovány a statisticky vyhodnoceny z hlediska primárních vlastností, kterými jsou paropropustnost, prodyšnost a hydrostatická odolnost. Na základě kalibrace jsme stanovili funkci pro přepočet výparného odporu měřeného přístrojem Permetest na ekvivalentní difuzní tloušťku. Následně jsme navrhli a provedli experimentální měření difuzních parametrů vyrobených laminátů a standardních stavebních materiálů. Výstupem laboratorních a experimentálních měření byla potřebná data pro navržení a posouzení zcela nových difuzně otevřených konstrukcí se značením Diffurooff, Hydrorooff a Wallf. Všechny vyrobené lamináty vzhledem k dosaženým vlastnostem mají potenciál využití ve stavebním sektoru, jelikož prokazatelně dosahují výborných parametrů.

**Klíčová slova:** Nanovláknenná membrána, stavitelství, doplňková hydroizolační vrstva, vlhkost, paropropustnost, ekvivalentní difuzní tloušťka.

## Annotation

The project addresses the design of a diffusely open structure of wooden buildings which minimizes the risk of moisture condensation associated with the use of the building. We achieve this primarily by simplifying the layers with minimal regulation of water vapor penetration to the exterior. In order to upgrade the layers, we produced six laminates from combinations of spunbond and spunlace support fabrics with an inserted nanofiber, microporous and hydrophilic membrane. These sandwich laminates have been laboratory tested and statistically evaluated for primary properties such as vapor permeability, breathability and hydrostatic resistance. Based on the calibration, we determined the function for converting the evaporative resistance measured by the Permetest instrument to an equivalent diffusion thickness. Subsequently, we designed and performed experimental measurements of diffusion parameters of the produced laminates and standard building materials. The result of laboratory and experimental measurements was the data necessary for the design and assessment of a completely new diffuse open structures tradenamed Diffurooff, Hydrorooff and Wallf. Due to the resulting properties, all produced laminates have the potential for use in the construction sector, as they demonstrably achieve excellent parameters.

**Keywords:** Nanofibrous membrane, construction, additional waterproofing layer, vapor permeability, equivalent diffusion thickness.

## Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD .....	12
TEORETICKÁ ČÁST .....	14
1 TEXTILIE VE STAVITELSTVÍ 4.0.....	14
1.1 Nanovláknna.....	14
1.2 Uhlíkové nanotrubice .....	14
1.3 Nanotextilie .....	15
1.4 Kompozit s obsahem nanočástic .....	16
1.5 Dosavadní stav výzkumu nanostruktur v rámci katedry hodnocení textilií .....	17
1.6 Nanovláknenná membrána (NM) .....	18
1.7 Ochrana dřevostaveb proti vlhkosti .....	19
1.8 Kompozit geopolymeru s nanovláknennou membránou.....	21
1.9 Další možnosti aplikací.....	21
2 FYZIKÁLNÍ DĚJE NA CESTĚ „INTERIÉR, KONSTRUKCE A EXTERIÉR“ .....	24
2.1 Vlhkost vzduchu.....	24
2.2 Průběh teploty v konstrukci.....	26
2.3 Rosný bod .....	27
2.4 Difuzní vlastnosti vrstvy .....	27
2.5 Praktické hledisko průběhu vlhkosti skrz konstrukci .....	29
3 KONSTRUKČNÍ PROBLEMATIKA .....	30
3.1 Svislé obvodové pláště dřevostaveb .....	33
3.2 Difuzně uzavřené stavebně technické řešení .....	34
3.2.1 Problémy difuzně uzavřených konstrukcí z hlediska teorie.....	35
3.2.2 Faktor provozovatele .....	36
3.2.3 Faktor navrhovatele.....	38
3.2.4 Faktor zhotovitele.....	39
3.2.5 Vlhkostní poruchy obvodových konstrukcí.....	40



3.3	Difuzně otevřené stavebně technické řešení.....	41
3.4	Koncepce dle Krňanského – konstrukce Diffuwall® .....	43
PRAKTICKÁ ČÁST .....		45
4	DEFINICE MATERIÁLŮ .....	45
4.1	Třivrstvé lamináty .....	45
4.2	Doplňková hydroizolační vrstva .....	47
4.3	Tepelná izolace .....	48
4.4	Dřevěné konstrukce.....	48
5	METODIKA .....	50
5.1	Permetest .....	50
5.2	Prodyšnost.....	51
5.3	Hydrostatická odolnost.....	52
5.4	Vlastní metodika.....	52
5.4.1	Parciální tlak vodní páry simultánního interiérového prostředí .....	53
5.4.2	Parciální tlak vodní páry druhého exteriérového prostředí.....	54
5.4.3	Princip zkoušky .....	54
5.4.4	Příprava vzorků .....	55
5.4.5	Příprava sestavy .....	57
5.5	Statistické zhodnocení výsledků .....	58
6	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	61
6.1	Difuzní odpor .....	61
6.2	Prodyšnost.....	68
6.3	Hydrostatická odolnost.....	72
Vlastní metodika měření difuzních parametrů.....		74
6.3.1	Moisture vapor transmission rate .....	77
6.3.2	Součinitel difuze vodní páry materiálu .....	78
6.3.3	Faktor difuzního odporu .....	79
6.3.4	Ekvivalentní difuzní tloušťka .....	80
6.3.5	Porovnání získaných hodnot, parametry materiálů.....	81
6.4	Návrh konstrukčního řešení.....	83
6.5	3D model .....	83

6.5.1	Okrajové podmínky.....	84
6.5.2	Střešní difuzně otevřená konstrukce Diffurooff .....	85
6.5.3	Střešní difuzně otevřená konstrukce Hydrorooff.....	87
6.5.4	Obvodová difuzně otevřená konstrukce Wallf .....	89
6.5.5	Potvrzení relevance užití membránových laminátů. ....	91
<b>6.6</b>	<b>Doporučení dalšího výzkumu .....</b>	<b>93</b>
6.6.1	Doporučení k laminátům .....	93
6.6.2	Doporučení ke konstrukcím.....	93
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>95</b>
	<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>103</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>106</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>108</b>

## Seznam symbolů a zkratek

$A$ [ $m^2$ ]	Plocha vzorku
$d$ [m]	Tloušťka materiálu
$m$ [kg]	Hmotnost
$M_c$ [kg/m <sup>2</sup> ]	Celková hmotnost kondenzátu
$M_{ev}$ [kg/(m <sup>2</sup> *rok)]	Celkové množství vypařitelného kondenzátu
MVTR [g/(m <sup>2</sup> .24h)]	Moisture vapor transmission rate (paropropustnost)
$p''$ [Pa]	Parciální tlak nasycené vodní páry
$P_a$ [Pa]	Parciální tlak ve zkušebním prostoru
$P_m$ [Pa]	Parciální tlak na povrchu hlavice
$p_{vp}$ [Pa]	Parciální tlak vodní páry ve vzduchu
$q_0$ [W/m <sup>2</sup> ]	Tepelný tok procházející nezakrytou hlavici
$q_v$ [W/m <sup>2</sup> ]	Tepelný tok procházející zakrytou hlavici
$R_{et}$ [m <sup>2</sup> *Pa*W <sup>-1</sup> ]	Výparný odpor
RH [%]	Relative humidity (alternativa $\varphi$ )
$S$ [m <sup>2</sup> ]	Plocha
$S_d$ [m]	Ekvivalentní difuzní tloušťka
$T$ [K]	Teplota
$t$ [°C]	Teplota
$V$ [m <sup>3</sup> ]	Objem
$\delta$ [kg/(s*m*Pa)]	Součinitel difuze vodní páry

$\lambda$ [W/(m*k)]	Součinitel tepelné vodivosti
$\mu$ [-]	Faktor difuzního odporu
$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	Hustota
$\tau$ [s]	Doba měření
$\varphi$ [%]	Relativní vlhkost
$\Phi$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Absolutní vlhkost vzduchu
DHV	Doplňková hydroizolační vrstva
IS	Interval spolehlivosti
MWNT	Multi Walled Nanotubes
NM	Nanovláknenná membrána
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PHI	Pojistná hydroizolace
PI	Polyester
PUR	Polyuretan
SW	Software
SWNT	Single Walled Nanotubes
UV	Ultrafialové

## Úvod

Dnešní zrychlená doba přinesla spousty změn ve způsobu našeho života, našeho vnímání hodnot a ve způsobu užívání statků movitých a nemovitých. Proto se příklon k environmentální stránce života stává standardem v rozhodování, jelikož roste obava před vlivy vnitřními a vnějšími. Není již v praktickém životě staveb větší obavou klima vnější, ale to, které si vytvoříme v obydlí my samotní. Poslední součástíou do velmi komplikované stavebnice je fakt, že i přes moderní technologické inovace na poli konstrukčních řešení je jejich konečné provedení v ruce člověka. To je častým problémem ne pro to, že v tuzemském stavebním trhu chybí odborný přístup k realizacím, ale pro to, že klíčové prvky složitých konstrukčních řešení vyžadují provedení natolik pečlivá, že v rámci investorského přístupu ve většině případů nedojde k plnohodnotnému provedení. To má za následek poruchy stavebních konstrukcí, přestože projektová fáze nenesla pochybení.

Změnou způsobu života stoupla potřeba využít smysluplně každý krychlový metr. Zatímco dříve byla normálním počinem realizace jednoplašťových střech nad neobytnou částí objektu, dnes se takové prostory předělávají na prostory obytné. Také realizace nástaveb na stávající objekty není v tomto ohledu výjimkou a navržené novostavby jen zřídka realizují prostory prosté.

Podobnou změnou prošel způsob realizace nové výstavby. Požadavky na relativně rychlé stavby s dobrým poměrem životnosti vůči vynaložené investici přinesly rozvoj dřevostaveb a dřevěných obvodových konstrukcí. Nyní nejde o stavby roubené, poloroubené, hranolové či kulatinové. Středem zájmu jsou primárně rámové dřevěné a střešní konstrukce ať zcela prefabrikované nebo montované přímo na stavbě. Poměrně dobře tato výstavba umí řešit otázku tepelných požadavků, požární ochrany či prevenci průniku vody z exteriéru dovnitř (vyjma kritických živelných excesů). Podstatně hůře jsme na tom s regulací vzdušné vlhkosti, kde se molekuly vodní páry na základě gradientu postupně rozptylují z prostředí nasyceného do prostředí méně nasyceného. Řešení měl přinést systém staveb difuzně otevřený, avšak otázkou je, zdali je tomu skutečně tak. Z praktického hlediska není významný rozdíl mezi

systémem difuzně uzavřeným, kde regulaci konstrukce provádí „uzavřená“ parotěsná vrstva a systémem difuzně otevřeným kde místo „uzavření“ dochází k brždění vodních par takřka nepropustnou konstrukcí díky parobrzdám. Cestu sledávám v jednoduché konstrukci, ve které nebude docházet ke kondenzaci vlivem špatně propustné pojistné hydroizolační vrstvy, která umožní úplnou absenci přidaných vrstev parotěsných a parobrzdných. O regulaci toku vodních par se musí postarat souvrství, která jsou přirozenou součástí konstrukce. Tyto cíle reagují jak na aktuální způsob obývání domů, tak na požadavky z hlediska environmentu, kdy vlhkostní problémy ovlivňují kvalitu našich životů.

V teoretické části této práce je čtenář uveden do důležitých základních pojmů, obecného konstrukčního řešení a problematiky kondenzace. Abych vyloučil negativní působení analyzovaných faktorů, pracuji s myšlenkou zcela nového systému obvodové konstrukce, který bude maximálně difuzně otevřený. Přesunutím funkčních prvků nad krokve (nosné trámy) eliminuji systematické tepelné mosty a vynecháním parotěsné vrstvy paradoxně limituji ostatní rizika směrem k nule. Tento návrh je ale nerealizovatelný při využití standardních doplňkových hydroizolačních vrstev. Proto provádím sérii měření primárních užitných vlastností na šesti navržených laminátech se záměrem implementovat tyto membránové lamináty do cílené stavební konstrukce. Sérií experimentů zjišťuji vhodnost více variant a stanovuji celkem tři nové difuzně otevřené konstrukční řešení, obsahující dva originální systémy střešního pláště a jeden koncept svislé stěny. Tyto návrhy splňují velmi přísné parametry stanovené v souladu s každou citovanou normou.

## Teoretická část

### 1 Textilie ve stavitelství 4.0

Nyní, když už pouze nestojíme na prahu čtvrté průmyslové revoluce, ale plnohodnotně v ní kráčíme, v době kybernetického rozmachu, kdy se pojmy mikro a nano staly součástí běžného slovníku, není pochyb o relevanci uplatnění mikro a nano struktur v textilně stavebním oboru. Jelikož rozsahově není v našich možnostech řešit celý průnik textilu a stavitelství, budeme se v této kapitole zabývat vstupem a potenciálem nanovlákných produktů ve stavebních vrstvách a kompozitech. Prvně si musíme nadefinovat základní pojmy:

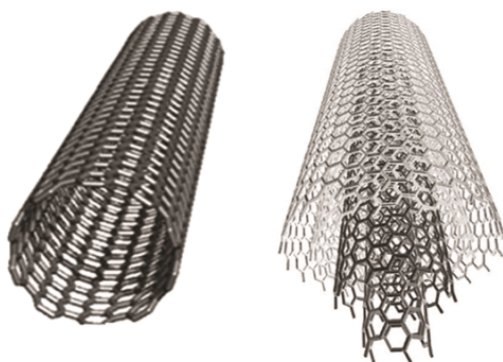
#### 1.1 Nanovlákná

Vlákno, které si své jméno získalo z původně řeckého označení „nanos“ překládané jako „trpaslík“, které ve fyzikální soustavě SI nese rozměr  $10^{-9}$  m. Pouhým okem neviditelné, s jedním rozměrem mnohonásobně větším než druhým. Samotné vlákno vyniká obrovským měrným povrchem, kdy membrána v ploše jednoho metru čtverečního má obdobný povrch jako fotbalové hřiště. Průměr vlákna se na základě způsobu výroby pohybuje v desítkách až stovkách nanometrů. [1]

#### 1.2 Uhlíkové nanotrubic

V roce 1991 je objevil japonský fyzik Sumio Iijima při využití metody obloukového výboje, která se využívala pro tvorbu makromolekul uhlíku tzv. fullerenů. Při výboji mezi dvěma uhlíkovými elektrodami za tlaku 133 pascal a stejnosměrného napětí se část anody odpařila a na stěnách aparatury vznikly fullereny. Na katodě však vznikl depozit částic Multi Walled Nanotubes. Sumio je proto často citován jako jejich vynálezce. Následný pokrok nastal o dva roky později při izolování nanotrubic tvořených z bezešvých stěn atomů uhlíku. [2]

Nanotrubice pro stavební účel nejčastěji tvoří roli výplně matrice stavebních kompozitních materiálů. Z obecné definice máme dva hlavní typy uhlíkových nanotubic a to jednovrstevné „SWNT“, stvořené srolováním jedné grafénové vrstvy do hladkého válce s průměrem okolo 1 nanometru a druhé vícevrstvé „MWNT“ vycházející v podstatě ze souboru soustředěných „SWNT“, jež mají různé strukturální a fyzikální vlastnosti. Jejich grafické ztvárnění je uvedeno na obrázku č. 1. [3]



Obrázek 1 Schématické znázornění SWNT (vlevo) – MWNT (vpravo) [4]

### 1.3 Nanotextilie

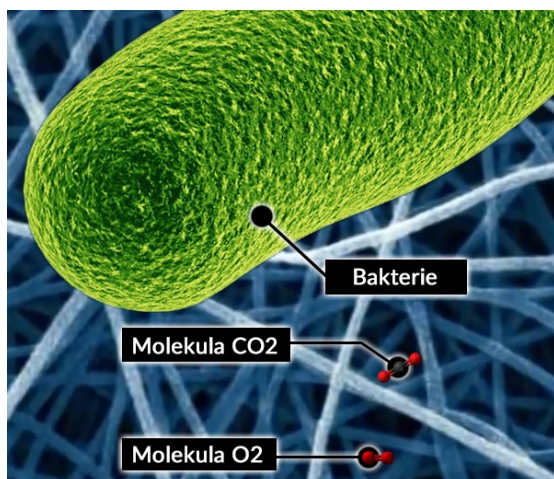
Přejdeme dále od nanovláken tvořících dílek k plošné textilní struktuře zvané nanotextilie. V rámci této práce se nebudeme zabývat historií elektrostatického zvlákňování, ale posuneme se již do bodu, kde bylo možné nanotextilie vyrábět průmyslově. Na půdě Technické Univerzity v Liberci díky týmu pana profesora Jirsáka vznikl patent na technologii Nanospider, která umožňuje vyrábět nanovláknenné struktury v průmyslovém měřítku. Zjednodušený princip se dá označit jako vytahování tenkých vláken z polymerního roztoku v silném elektrostatickém poli z rotujícího válce. Výroba nanovláken z taveniny je taktéž možná. Tato vlákna jsou často ukládána na ploše podkladní nosné textilie, jelikož sama o sobě mají velmi slabé mechanické vlastnosti.

Plošný nanovláknenný útvar vyrobený díky průmyslové technologii Nanospider umožňuje definovat variabilitu průměrů nanovláken, plošnou hmotnost, profesionální řešení problémů s adhezí a využívat desítek různých polymerů při ekonomičtější



výrobě. Charakteristickou vlastností takové textilie je díky stavebnímu kamenu vlákna o rozměrech pod 1 mikrometr (obvykle desítky až stovky nanometrů) obrovský měrný povrch vztážený na velmi nízkou plošnou hmotnost v řádech od desetin gramů a opravdu velmi vysoká pórovitost, kde velikost póru je dostatečně velká, aby propustila molekulu vodní páry, ale zabránila průniku vodní kapky. Z fyzikálního hlediska zde hraje roli více faktorů.

Ekonomická náročnost není pro průmyslovou aplikaci ve stavebních technologiích překážkou, jelikož sám jednatel společnosti Elmarco pan Ing. Mareš již v roce 2009 oceňuje výrobu vrstvy i z náročnějších a vzácnějších polymerů v řádech desetikorun na metr čtverečný. V podobných relacích se stavební trh pohybuje také. [5]



Obrázek 2 Porovnání nanovlákněné struktury s velikostí bakterie a molekul  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  [1]

## 1.4 Kompozit s obsahem nanočástic

V nanotechnologiích se snažíme porozumět a kontrolovat materiál v nanoměřítku, nicméně rozměr takto malých částic přináší zjištění, že materiály na této úrovni získávají zcela nové a mnohdy ještě nezmapované vlastnosti. Analogicky k definici kompozitu zde máme „nanokompozit“, kde alespoň jedna složka rozptýlená v matrici má záměrně alespoň jeden rozměr v intervalu od jednoho nanometru do jednoho mikrometru. Kompozitů se v rámci stavitelství využívá v dnešní době velké množství a výzkumná činnost je tomuto směru velmi nakloněna.

Poslední studie v oblastech s přívlastkem nano vykazují významný příslib právě polymerních „nanokompozitů“ z hlediska jejich vlastností, dopadů na životní prostředí a překvapivě i bezpečnosti. Využití nanotechnologií prokazatelně zvyšuje výkonnost standardních materiálů ve stavitelství, jako například beton, ocel, maltové směsi a další běžné i nové položky.

Využitím nanočástic pro zlepšování vlastností anorganických pojiv na bázi cementu dochází ke zlepšování emisí CO<sub>2</sub> a zvýšení životnosti. Jedná se například o odolnost proti mrazu, adhezi ke starým povrchům a karbonaci.

Jiné částice znamenají důležitý průlom z hlediska snižování energetické náročnosti budov při zvýšené udržitelnosti oproti standardním materiálům. Takové tepelné izolace jsou již vytvořeny, i když v současnosti existují pouze na laboratorní úrovni. Dále nátěry s vysokou trvanlivostí spojují výhody organických matic s přínosy nanočástic, které zvyšují životnost výstavby. Tyto aplikace jsme viděli osobně a výsledky jsou vynikající.

Polymerní kompozity s využitím nanočástic jsou pro dnešní vědu natolik zajímavé, že pro své multioborové využití přitahují značnou část vědecké sféry. [6]

## **1.5 Dosavadní stav výzkumu nanostruktur v rámci katedry hodnocení textilií**

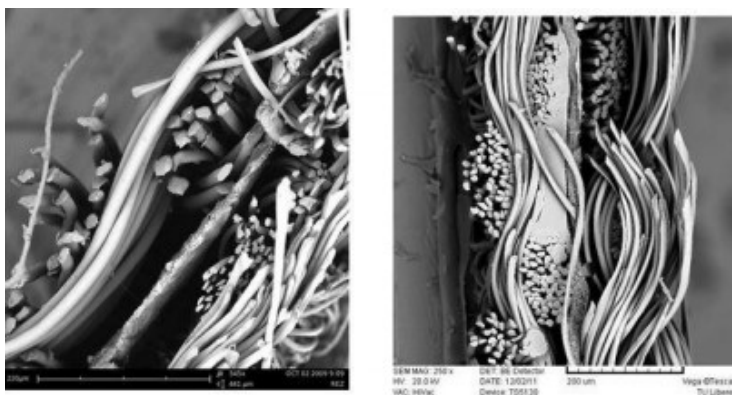
Katedra hodnocení textilií (KHT) je jednou z částí Technické univerzity v Liberci, která se zabývá výzkumem a prací s nanovláknennou membránou a kompozity s nanočásticemi. V rámci velkého rozsahu se v této části zaměříme primárně na autory nejvíce provázané s řešeným tématem. Jmenovitě Romana Knížka, který otevřel dveře k naší práci díky vývoji nanovláknenné membrány pro oděvní účely, Karolínu Mayerovou, která pod vedením docentky Fridrichové jako první testovala dlouhodobé hydrostatické zatížení nanovláknenné membrány v omítkových vrstvách, Michaelu Linkovou, která řešila ochranu staveb před přírodními excesy ve formě povodní a záplav včetně testování kompozitu s biopolymerní maticí a Františka Böhma, který se ve své práci věnoval vlastnostem pojistných hydroizolací. Následující části stručně uvádí výstupy jejich odborné práce.

## 1.6 Nanovláknenná membrána (NM)

Autor Knížek [7] v rámci své odborné činnosti pracoval na vývoji membrány (potažmo vrstveného laminátu) pro oděvní účely, která nese vlastnosti vysoké paropropustnosti, hydrostatické odolnosti a větruodolnosti. Analogicky ve stavebním sektoru vyžadujeme přesně tytéž vlastnosti od pojistných hydroizolací obvodových konstrukcí (pokud se aplikují) a šikmých střeš (aplikují se téměř vždy). Pojistné hydroizolace navíc v určitém intervalu výstavby přebírají dočasnou funkci střešního pláště, nejsou pouhou pojistkou proti zatečení vody, jak definuje jejich název. Na základě požadavků se od takové vrstvy vyžaduje maximální volnost difuze.

V rámci práce na nanovláknenné membráně autor využil polyuretanu a polyamidu 6. Výroba proběhla na strojních zařízeních Nanospider od společnosti Elmarco, Spurline od společnosti Spur, a lince Fiberio od stejnojmenné společnosti. Vyjma linky Fiberio, která pracuje na principu odstředivého zvlákňování, využívají první dvě společnosti pro výrobu metody elektrospinningu. Na základě homogenity vláknenné vrstvy a nejlepších hodnot paropropustnosti vyšla nejlépe výroba na Nanospideru, ostatní aparáty nenaplnily požadavky řešitele.

Přestože sledované znaky paropropustnosti NM vyrobené z PUR a PA na Nanospideru dosahovaly vynikajících výsledků, hydrostatická odolnost byla velmi nízká. Toto bylo v rámci celého laminátu vyřešeno pomocí hydrofobních prostředků a různých metodik nanášení včetně několika patentovaných (například nanášení fluorokarbonu pomocí plazmy).



Obrázek 3 Třívrstvý laminát – řez [7]

Konečné lamináty mají hydrostatickou odolnost až 17 m vodního sloupce při vynikající paropropustnosti. Takové hodnoty mají revoluční šanci upravit způsob navrhování konstrukčních prvků difuzně otevřených nebo regulovaných staveb.

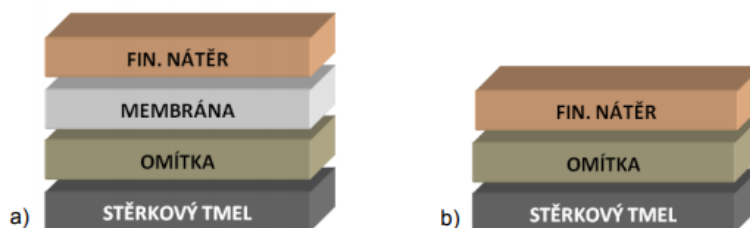
## 1.7 Ochrana dřevostaveb proti vlhkosti

Výše zmíněná oděvní membrána byla pro své výjimečné vlastnosti využita autorkou Mayerovou v rámci mezioborové studie.

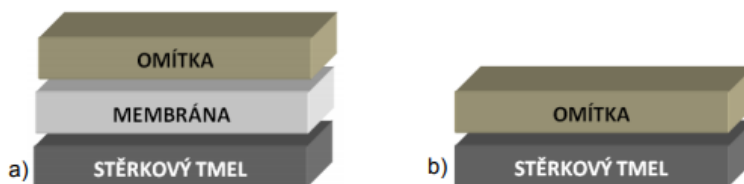
Autorka Mayerová [8] otevřela otázku aplikací membrán do stavebních konstrukcí z hlediska ochrany dřevostaveb v rámci rámového konstrukčního řešení. Ve své studii zmiňuje NM jako možnou regulaci vodních par. Z hlediska terminologie je ale takové užití nešťastně definované, jelikož pro tyto účely by musela hledat nepropustnou vrstvu celistvé folie (tzv. parotěsné). Obdobně nemůžeme označovat parotěsnou folii jako viníka hromadění plynne vlhkosti v konstrukci, naopak se tato vrstva využívá jako prevence před vznikem kondenzace vlivem prostupu molekul vodní páry. Tato problematika bude klíčová v dalších oddílech.

Oproti tomu její následná definice NM jako bariéry proti kapalně vlhkosti s následnou aplikací do omítkového souvrství v exteriérové části byla vhodným krokem a správnou myšlenkou.

V rámci testování autorka prověřovala, jaké množství kapaliny projde skrz navržené souvrství (dalo by se teoreticky označit za kompozit). Na další straně je přiložen výsledný graf, s kterým se pojí krátký komentář. Souvrství bylo dlouhodobě zatíženo metrem vodního sloupce. Průnik kapaliny přepočtený na metr plochy dosáhl hmotnosti pod jeden kilogram zřejmě z důvodů narušení struktury samotné membrány.

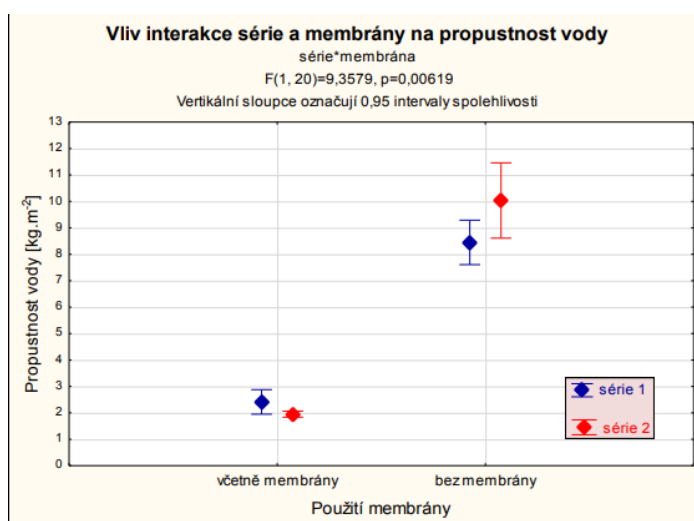


Obrázek 4 Složení dle Mayerové - série 1 [8]



Obrázek 5 Složení dle Mayerové - série 2 [8]

Problém u série 1 i 2 mohl způsobit kontakt omítky s NM, jelikož strukturu fasádních omítek vyplňuje kamenivo frakce o velikosti od 1 mm. Na obrázcích č. 4 i č. 5 je vidět, že i při rozdílném složení vrstev je membrána vždy v kontaktu s omítkou. Tuto hypotézu podporuje i autorky post-hoc testování, jelikož v této interakci neplatí alternativní hypotéza, že složení má vliv na propustnost vody. Situace by mohla být řešena využitím co nejjemnějších stěrkových tmelů, které by bylo dobré aplikovat z obou stran membrány a tím zabránit kontaktu s hrubozrnnou omítkou. V rámci této hypotézy je zanedbán vliv chemické interakce.



Obrázek 6 Vliv interakcí na paropropustnost dle návrhu Mayerové [8]

Přestože voda skrz vrstvy prošla, výsledkem bylo výrazné zlepšení vlastností oproti standartnímu složení bez NM. Toto řešení by mohlo reálně chránit určité typy dřevostaveb. Alternativou k tomuto návrhu je právě postavena pojistná hydroizolace z membránového laminátu, který je středem zájmu této práce a umožní jednodušší realizaci.

## 1.8 Kompozit geopolymery s nanovláknennou membránou

Jednou z dalších cest znamenalo vytvoření vrstvy části sendvičové konstrukce, kde byla omítka nahrazena matricí biopolymeru. Autorka Linková [9] takto řešila zmírnění následků přírodních excesů ve formě povodní a záplav.

Výroba geopolymery probíhá alkalickou aktivací vhodného materiálu (např. cement portlandský, metakaolin, elektrárenský popílek a různé strusky). Díky výborné adhezi se používá k reprofilacím stavebních konstrukcí. Vysoká pevnost v tlaku a vysoká požární odolnost otevírá dveře mnoha aplikačním možnostem v rámci pozemního stavitelství. Efekt vložené nanovláknenné membrány způsobuje nízkou propustnost kapalně vlhkosti u jinak velmi propustného materiálu při dlouhodobém zatížení vodním sloupcem.

Zkoumání efektu prodyšnosti je neefektivní, jelikož jakýkoliv průnik vzduchu se ve stavitelství pro většinu zkoumaných aplikací bere jako záporný, protože zvyšuje energetickou náročnost budov. Navíc výraz paropropustnost není to samé, co prodyšnost, jelikož vždy na základě aplikace bude jeden jev žádaný a druhý nikoliv.

Jako u předchozí aplikace zlepšila vložená membrána hydrostatické vlastnosti.

## 1.9 Další možnosti aplikací

Autor Böhm [10] pracoval s možností užití nanovláknenné membrány ve spojení s textilním nosičem, přičemž s takovou konfigurací analyzoval možnost aplikace do střešní konstrukce. Rozdíl v propustnosti DHV a laminátu analyzoval jako statisticky významný.

Autor Krňanský [11] vidí potenciál aplikací polymerních nanovláknenných textilií i v prostředí poměrně konzervativního stavebního průmyslu perspektivně. Zejména díky bariérovým možnostem vláknenných struktur a možnosti ochrany povrchů na bázi silikátových pojiv. Životnost povrchových vrstev je možno řídit kvalitou hydratace, jelikož nanovláknenná textilní struktura umožňuje zpomalovat průběh vysychání. Vodorozpuštěné polymerní báze umožňují na povrch materiálu nanést mikro či nanočástice různých kovů případně oxidů, čímž nám umožňuje vytvářet různé povrchové úpravy odolné proti agresivním složkám prostředí.

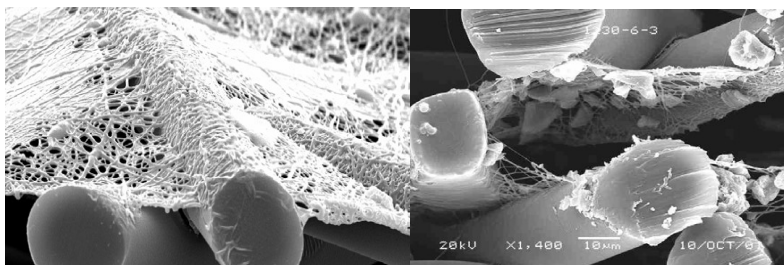
Nanotextilie dnes již běžně získávají široké možnosti využití v mnoha průmyslových odvětvích. Až submikronové částice je možné filtrovat díky HEPA filtrům (high efficiency particulate air, do 0,3  $\mu\text{m}$ ) a UHE filtrům (ultra high efficiency filter, do 0,1  $\mu\text{m}$ ). Biodegradabilní polymery v medicíně urychlují hojení a umožňují cílené dodávání léčiv. Velmi dobré výsledky získávají nanovláknenné struktury v oblasti absorpce nízkých frekvencí a očekává se rychlý rozvoj i v oblasti letectví.

- a) Požadavky na maximální možnou paropropustnost při vysoké hydrostatické odolnosti a nízké prodyšnosti se snoubí u pojistných hydroizolací a větrozábran.
- b) Řízením bariérových vlastností můžeme získávat velmi účinné antibakteriální filtry vzduchu, vyrobené z nanovláken s příměsí vhodných nano částic. Analogicky nalezneme možnost využití při filtraci vody.
- c) Ošetřování povrchů konstrukcí vhodnou hydratací či cílenou regulací vysychání a omezení povrchových trhlin.
- d) Využití nanotextilií jako nosiče nanočástic (například kovů) umožňuje zvyšování odolnosti stavebních povrchů vůči velmi agresivnímu vnějšímu prostředí.

Pokud hledáme odpověď na otázku, kde se otevírá perspektiva v rámci stavebního sektoru, můžeme využít dělení z hlediska hlavních atributů.

Bohužel i u nanovláknenných struktur nacházíme nemalá omezení, která jsou při návrzích nových aplikací či konstrukcí nových materiálů třeba řešit. Ze samotné podstaty se jedná v makroměřítku o materiál málo mechanicky odolný s nízkou

odolností proti vysokým teplotám a UV záření. Bavíme se zde primárně o polymerech standardně ve stavitelství využívaných, jako je polyethylen, polypropylen, polyamid a polyester. Na mysli je makropohled, kdy na stavbách je možnost expozice několika měsíců dlouhého UV záření, působení biologických činitelů, možnosti vzniků požárů a nešetrného mechanického zacházení.



*Obrázek 7 Nanovláknenný filtr před filtrací (vlevo) a po filtraci (vpravo) [11]*



## 2 Fyzikální děje na cestě „interiér, konstrukce a exteriér“

V úvodu této práce jsme se zabývali termíny, gradienty, vlhkostí a kondenzací. V rámci stavební fyziky bude nutné rozvést toto názvosloví minimálně v míře potřebné pro objasnění jevů kondenzace. Proč vlastně řešíme prostup molekul vodní páry skrz konstrukci, jaký vliv má parciální tlak na objemové množství vlhkosti ve vzduchu a jak se okem neviditelné molekuly změní v problematickou kapalinu? Tyto charakteristiky ovlivňují již samotný způsob návrhu a jsou zásadní pro rozhodnutí jaký typ konstrukce zvolit. Navíc tématem práce je optimalizace obvodové konstrukce a tím vytvořením zcela difuzně otevřeného řešení. Proto je nutné zmínit základní definice a uvést čtenáře do problematiky. V dalších částech, zejména těch konstrukčních, bude na tyto pojmy kladen apel.

### 2.1 Vlhkost vzduchu

Když se řekne pojem vlhkost vzduchu, tak si většina z nás ihned představí vlhké mapy na obvodových stěnách, orosená okna či „páru“ vycházející od úst vlivem poklesu teploty v okolí. Méně často se rozlišuje vlhkost relativní a absolutní, ještě častěji se tyto pojmy špatně interpretují. Pokud budeme uvažovat vzduch o objemu krychlového metru za konstantních podmínek s obsahem určitého množství molekul  $H_2O$ , tak právě hmotnost obsažené vody vyjádřené v kilogramech pro určitý objem je hodnotou absolutní (1).

$$\Phi = \frac{M_{H_2O}}{V} \quad [Kg * m^{-3}] \quad (1)$$

Konstantní podmínkou je myšlen primárně tlak vodní páry  $p_{vp}$  při určité teplotě  $T$ . Jelikož absolutní vlhkost vyjadřujeme v kilogramech na jeden metr krychlový, můžeme alternativně definovat tento stav jako hustotu vodní páry  $\rho_{vp}$ . Objem vlhkého vzduchu definujeme dle Oswaldova zákona ve vzorci č. 2 [12]:

$$V_{vlhkého\ vzduchu} = V_{suchého\ vzduchu} = V_{vodní\ páry} \quad (2)$$

Množství vodní páry ve vzduchu ale být konstantní nemusí, může se měnit až do maximálního množství tzv. nasycení, kdy tento stav nazýváme jako parciální tlak

nasycené vodní páry  $p''$ “ nebo také částečný tlak syté vodní páry. Takový tlak je funkcí teploty a maximálním tlakem pro danou teplotu. Stanovení se provádí dle tabulek vodní páry, kde pro každou teplotu je uvedena hodnota parciálního tlaku nebo dle empirického Magnusova vzorce (3). Na základě vzorce jsou uvedeny hodnoty pro teploty většiny spektra našeho klíma. Tato data zobrazuje graf č. 8. [12] [13]:

$$p'' = \exp\left(27,376 - \frac{5745,31}{T}\right) \quad (3)$$



Obrázek 8 Závislost  $p''$  na teplotě vzduchu

Z toho pramení, že vzduch o určitém objemu může mít různou absolutní hodnotu vlhkosti, tím různou hodnotu parciálního neboli částečného tlaku vodní páry, limitně až do hodnoty plného nasycení. Pokud snížíme teplotu plně nasyceného vzduchu, nastane jev značený jako kondenzace (při ohřátí naopak může další vodní páru přijmout). Kondenzace je pro stavební konstrukce velmi nežádoucí. Samozřejmě dle technologie a opět limitně na základě norem, které jsou uvedené v konstrukční kapitole.

Relativní vlhkost již snadno odvodíme z předchozích vztahů. Jako každá relativní veličina je i tato dána poměrem. Zde jde přímo o poměr parciálního tlaku vodní páry obsažené ve vzduchu  $p$ , ku parciálnímu tlaku nasycené vodní páry  $p''$ .

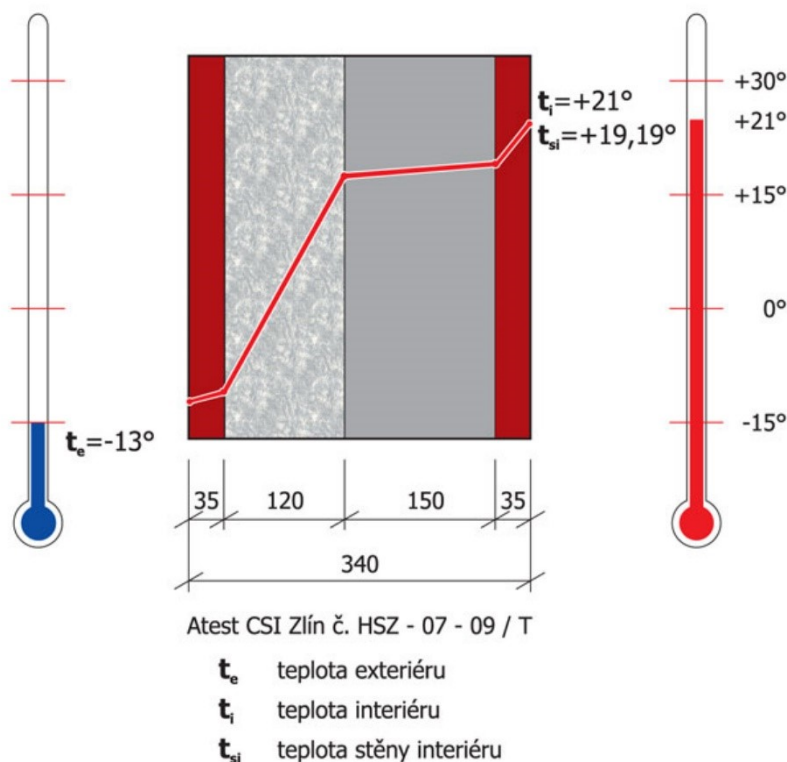
$$\varphi = \frac{p}{p''} * 100 [\%] \quad (4)$$

Samotný fakt, že vlhkost je funkcí teploty, vede k zásadní informaci. Rozdílná teplota interiéru a exteriéru, zejména v zimních měsících, kdy venkovní teploty dosahují vysokých záporných hodnot, vede k vysokému rozdílu parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu. Přestože musíme uvažovat hodnoty relativní, jelikož vzduch za standardních klimatických podmínek není v exteriéru ani interiéru zcela nasycen, musíme vnímat při pohledu na graf závislosti  $p''$  na teplotě vzduchu značný rozdíl parciálních tlaků.

Jelikož tento fyzikální děj vede k vyrovnání hodnot, dojde následně v zimním období k difuznímu toku z interiéru skrz opláštění objektu do exteriéru.

## 2.2 Průběh teploty v konstrukci

Pro názornost je předložen obrázek č. 9, poukazující na průběh teploty v jednotlivých částech obvodové konstrukce.



Obrázek 9 Průběh teploty v konstrukci Velox tloušťky 340 mm [14]

Sklon poklesu teploty ve vrstvách na obrázku č. 9. se mění vlivem materiálového složení. Díky vnější tepelné izolaci nedochází ke strmému poklesu teploty v jednotlivých částech konstrukce skrz samotnou skladbu. Takto zajišťujeme povrchovou teplotu v interiéru téměř shodnou s teplotou v místnosti. Následně dochází k pomalému poklesu až po styk obvodu s izolantem. Tím se zajišťují podmínky přesunutí rosného bodu co nejdříve „vně“. [14]

### 2.3 Rosný bod

Definovali jsme si, že vlhký vzduch může přijímat vodní páru až do momentu nasycení. Ve chvíli, kdy je vlhký vzduch plně nasycen, již vodní páru přijímat nemůže a jakýkoliv další přírůstek znamená přímou kondenzaci. Tuto teplotu označujeme jako rosný bod. Jelikož teplota v konstrukci postupem klesá, způsobuje to menší schopnost vlhkého vzduchu „nést“ dostatečné množství vodní páry a v určitém momentu narazí na teplotu hraniční, teplotu rosného bodu. [15]

Kondenzace ve vrstvách obvodové konstrukce ohrožuje dřevěné prvky, zvyšuje součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/(m\*K)] a tím zhoršuje vlastnosti celé konstrukce.

Norma ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky [16] (platná od 11/2011) požaduje kondenzační bilanci aktivní, to znamená, že v rámci časového intervalu jedné sezony je množství odpařitelné zkondenzované vodní páry větší než množství, které nám v rámci užívání objektu skutečně zkondenzuje. Stejně tak nesmí být přesaženo objemové množství na jednotku materiálu a typ konstrukce, či nesmí dojít k ohrožení funkčnosti ani stability vlivem kondenzace.

### 2.4 Difuzní vlastnosti vrstvy

Množství vodní páry, které skrz materiál prochází, je ovlivněno jeho samotným odporem či propustností. Tedy schopností tvořit bariéru, regulovat nebo propouštět molekuly vodní páry skrz. Vrstvu definujeme na základě použitého názvosloví difuzního odporu či paropropustnosti, proto je nutné uvádět přesný název nebo okrajové podmínky použití a neplést si funkci vytvářet odpor a propouštět, přestože se

jedná pouze o inverzní výklad (parotěsné folie, parobrzdy, paropropustné/difuzní folie).

Pokud nadefinujeme materiál rozdělující rozhraní dvou prostředí o rozdílném parciálním tlaku  $\Delta P$  [Pa], tak materiál o ploše  $A$  [m<sup>2</sup>] a tloušťce  $d$  [m] má schopnost propustit za čas  $\tau$  [s] více vodí páry  $m$  [kg], čím větší je jeho *součinitel difuze vodní páry*  $\delta$  [s]. Tato nejzákladnější definice (5) již v současnosti není téměř používána.

Pokud ale použijeme stacionární podmínky, pro dvě prostředí se stejným gradientem měřeným pro materiál či vrstvu (index A) a vzduch (index V), pak podíl nám vyjádří bezrozměrný *faktor difuzního odporu*  $\mu$  [-] (6). Alternativně schopnost vykonávat vrstvě či materiálu odpor proti průniku molekul vodní páry tolikrát horší nežli nehybný vzduch o stejné tloušťce a teplotě. Definováno na základě evropské normy ČSN EN ISO 9346 [17].

$$\delta = \frac{m \cdot d}{A \cdot \tau \cdot \Delta P} \quad (5)$$

$$\mu = \frac{\delta_V}{\delta_A} \quad (6)$$

V rámci materiálových listů se ve stavitelství v současné době setkáme nejčastěji s pojmem *ekvivalentní difuzní tloušťka*  $S_d$  [m], slouží to k nejčastější interpretaci difuzního odporu. Výraz znamená, že uvedený materiál má takový odpor proti průniku vodních par, jako uvedená tloušťka vzduchové vrstvy. Vypočítá se součinem faktoru difuzního odporu a tloušťky materiálu v metrech. [18]

Pro posuzování vysoce propustných membrán je možné použití PERMETESTU, který měří *výparný odpor* materiálu  $R_{et}$  [m<sup>2</sup>·Pa·W<sup>-1</sup>]. Tento kompaktní přístroj umožňuje rychlé měření. Podrobnější popis je uveden v praktické části jako jedna z metodik měření. [19]

Materiál nemusí být definován pouze na základě odporových vlastností, ale také pomocí označení jeho schopnosti vodní páry propouštět. Zcela nejběžnější je *MVTR - Moisture vapor transmission rate* [g/m<sup>2</sup>/24h]. Jedná se propustnost materiálu skrz jednotku plochy za časovou jednotku, alternativně lze vyložit jako rychlost propouštění vodních par. Metodika hodnocení vychází z nejběžnějších

gravimetrických metod a při dodržení stacionárních podmínek je možné ji použít pro přepočítání do dalších fyzikálních veličin. Pokud ne, zcela jistě ze znalostí předchozích kapitol usoudíme, že hodnoty MVTR se budou pro stejný materiál zřetelně měnit při změně teplot/tlaků. [20]

V rámci této kapitoly nejsou uvedena veškerá značení odporů a propustností z hlediska přenosu vodních par, pouze ta nejvhodnější z hlediska stavební fyziky a naší práce.

## 2.5 Praktické hledisko průběhu vlhkosti skrz konstrukci

Praktický dopad průchodu vlhkosti skrz stavební konstrukce v pojetí vlhkosti vzdušné či kapalně byl v rámci celé kapitoly z hlediska stavební fyziky a příslušných norem názorně objasněn. Věcně řešíme pouze období zimní, kdy na základě gradientu putuje vlhkost z interiéru, kde je prostředí nasycenější, do exteriéru, kde je prostředí nasycené méně. Jelikož je vlhkosti kladen při průchodu odpor na základě konkrétních vlastností a skladby materiálu, neprochází zpravidla konstantní množství, nýbrž klesající. Mohlo by se zdát, že klesajícím množstvím vodní páry bude relativní vlhkost klesat, nicméně teplota v konstrukci klesá, což má za následek pokles schopnosti vzduchu udržet vodní páru v plynné formě. Tím naopak způsobuje růst relativní vlhkosti. Pokud teplota v určitém místě poklesne na hladinu rosného bodu, vytvoří se zóna kondenzace a potenciální nebezpečí [21]. Ani dokonale vyhovující návrh ale neznamená jistotu funkčnosti, zejména u regulovaných typů konstrukčních řešení. Tuto problematiku řeší následující kapitoly.

### 3 Konstrukční problematika

Konstrukční téma je velmi obsáhlé a přesahuje rozsah této práce. Záběr je pro to zeštíhlen a jsou zahrnuty pouze efektivní informace včetně příspěvku autorovy desetileté praxe s řešením problematiky obvodových konstrukcí dřevostaveb svislých a šikmých. Následné principy postupů a aplikací je možné v řadě případů uplatnit i na další odvozené varianty. Konstrukce dále dělíme dle práce autora Solaře [22].

Základní konstrukční řešení je primárním podkladem pro návržení nové konstrukce v souladu s cílem práce. Hlavní obvodové konstrukce podle své funkce oddělují prostředí vnitřní od prostředí vnějšího. Mají zejména chránit před vlivy vnějšími, jako jsou vítr, voda, sluneční záření, hluk, nepříznivé teploty a vlhkost. Obecné členění šikmé obvodové konstrukce – střechy by bylo možné z hlediska konstrukčního dělit dle klíče níže (parozábrany je možné odmyslet si či nahradit):

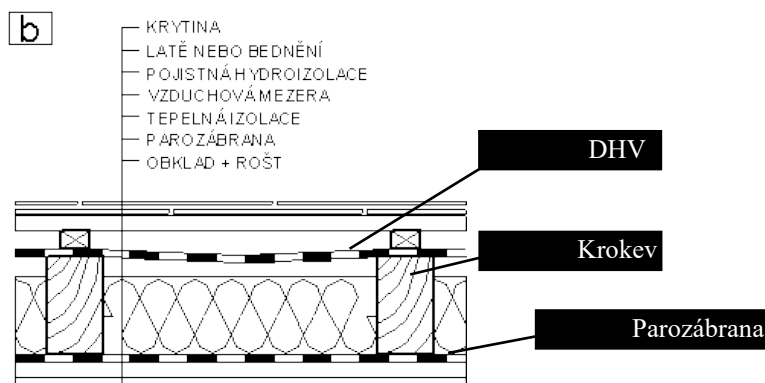
#### Střešní plášť bez tepelné izolace



Obrázek 10 Konstrukční řešení střešního pláště bez tepelné izolace [22]

Varianta zřídka viditelná. Nejčastěji nad prostým neobytným prostorem. Pokud je střešní prostor obydlen, je třeba využít variant následujících, které obsahují i zateplení pláště. V rámci cíle práce je toto možné řešení, avšak natolik okrajové, že investice do membránových a jiných vysoce difuzních materiálů by byla téměř zbytečná. Toto řešení nazýváme **dvouplášťové**, jelikož je prostor nad doplňkovou hydroizolační vrstvou (DHV) provětrávaný. Při absenci DHV (v obrázku označeno PHI či pojistná hydroizolace) by toto řešení bylo **jednoplášťové**.

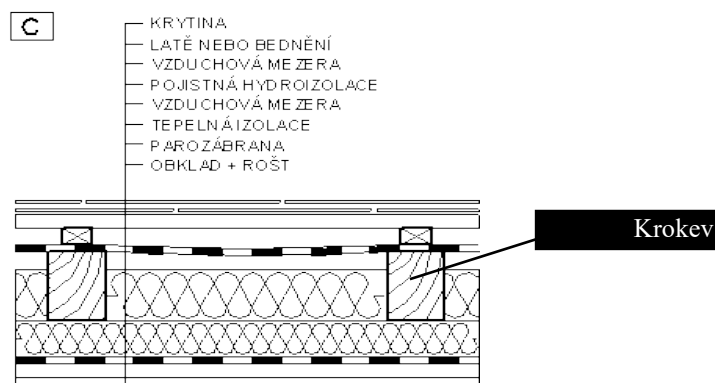
## Střešní plášť s mezikrokevní izolací



Obrázek 11 Konstrukční řešení střešního pláště s mezikrokevní izolací [22]

Základní varianta dle schématu difuzně uzavřená díky montáži parotěsné vrstvy. Krokve (nosné trámy) v tomto řešení způsobují zabudované (systematické/systemové) tepelné mosty. Technické řešení po úpravě na difuzně otevřený systém teoreticky využitelné. Systémové tepelné mosty (v tomto případě krokve, je třeba s nimi kalkulovat při posuzování celé skladby) ovšem nepreferujeme, přestože tato řešení jsou jednoduchá a tloušťka konstrukce je optimální. Toto řešení je **tříplášťové**. Vzduchová mezera není vždy nutná, kontaktní DHV jsou již standardní řešení. Takové řešení je **dvouplášťové**, jelikož tepelná izolace pak není odvětrávaná.

## Střešní plášť s mezikrokevní izolací doplněn o podkrokevní izolaci



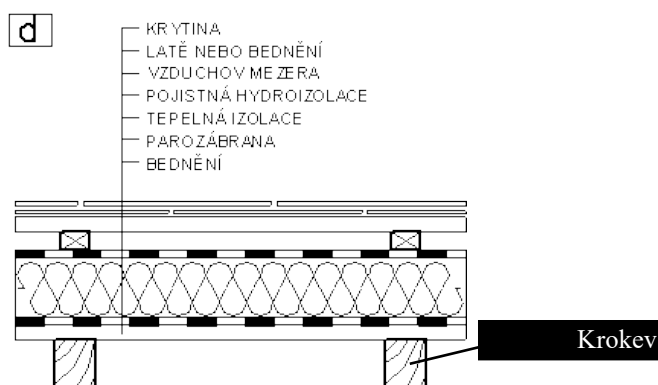
Obrázek 12 Konstrukční řešení střešního pláště s mezikrokevní a podkrokevní izolací [22]

Rozšířená varianta technologického řešení 3.3 o podkrokevní izolaci. Oproti předchozí variantě lépe řeší systémové tepelné mosty. Vzduchová mezera není vždy



nutná, kontaktní DHV jsou již standardním řešením. Toto řešení je **dvouplášťové**, stejně jako u 3.3 při kontaktní DHV, jinak **tříplášťové**.

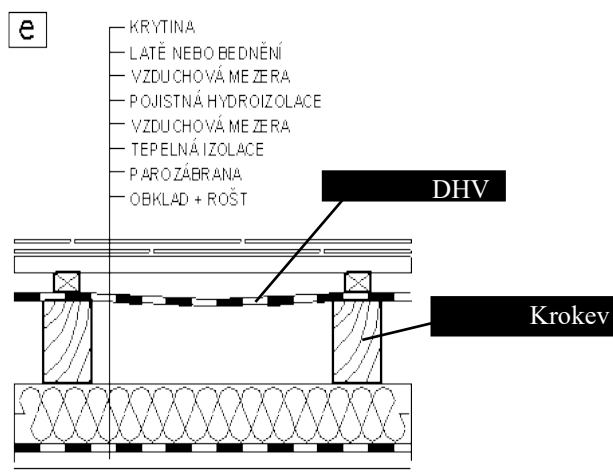
### Střešní plášť s nadkroevní izolací



Obrázek 13 Konstrukční řešení střešního pláště s nadkroevní izolací [22]

Toto technologické řešení hodnotíme jako nejvhodnější systém plánované difúzně otevřené konstrukce. Modifikací a návrhem vrstev do systému zcela difúzně otevřeného vzniká fyzikálně stabilní konstrukce bez systematických tepelných mostů. Toto řešení je **dvouplášťové**.

### Střešní plášť s podkroevní izolací



Obrázek 14 Konstrukční řešení střešního pláště s podkroevní izolací [22]

Je to jakási inverzní varianta řešení 3.5 bez systematických tepelných mostů, avšak DHV již nemůže být použita kontaktně. Řešení taktéž využitelné pro difúzně otevřenou konstrukci. Toto řešení je **tříplášťové**.

### 3.1 Svislé obvodové pláště dřevostaveb

Tato část je záměrně zestručněna, jelikož moderní trend rozvoje dřevařských konstrukcí vede k velmi širokému pásmu technologického členění. Jako základní pojetí nejlépe zachycuje rozdělení dle portálu TZBinfo [23], který ve svém článku dělí dřevostavby na skeletové (lehký a těžký skelet), panelové, roubenky a sruby. Poslední uvedené roubenky a sruby označujeme jako stavby masivní, u kterých je nejdůležitějším nositelem vlastností obvodového svislého pláště přímo dřevo. Pochopitelně může být doplněno o izolant a další funkční prvky, nicméně vždy bude masivní a opracované dřevo dominantou.

V této práci, zaměřené zejména na textilní lamináty s funkční membránou, budou aplikace vhodné do panelových a skeletových systémů. Zde, přestože jsou tloušťky vrstev jiné, mohou být použity jiné materiály a střešní plášť je nahrazen „fasádou“, můžeme vidět velkou podobnost s konstrukčním řešením obvodových konstrukcí šikmých. Proto i zde vyvstává analogie aplikací a navržených řešení obecně pro široké spektrum technologických řešení.

Skeletové systémy (někdy označované jako rámové) vidáme oprávněně v nabídkách obchodních společností velmi často. Tento systém nelze hodnotit jako nejobyčejnější nebo nejlevnější, lze jej označovat jako nejpochopitelnější pro širokou veřejnost. Skelet, který tvoří kostru takového domu, je vyplněn izolačním materiálem a zaklopen deskovým materiálem. Popis je velmi zjednodušen, jelikož na základě návrhové části obsahuje další prvky ochranné, funkční i vizuální. Vidíme zde jistou analogii mezi střešním pláštěm s mezikrokevní izolací, a tímto systémem. Zde jsou krokve nahrazeny sloupky. Rozlišujeme lehký skelet „Two by four“ ze subtilních tyčových prvků, kde plné pevnosti dochází až po doplnění rastru deskovým materiálem a těžký skelet, kde sloupy a průvlaky jsou tvořeny z masivních nebo složených průřezů. Nejčastější využití těžkých skeletů nalezneme u rozsáhlejších staveb. [24]

Panelové systémy, jako poslední uvedený zástupce konstrukčního řešení, jsou moderní alternativou vycházející ze skeletových systémů. Oproti nim mají výhodu, že jsou zcela prefabrikované včetně všech funkčních prvků. Hotové panely jsou

kladeny na připravené stavenišťe. Taková hrubá stavba trvá řádově několik dní. Menší tloušťka obvodového zdiva znamená větší užitnou plochu. [25]

Jelikož značná část technologických řešení je více či méně odvozena z rámové konstrukce skeletového systému, postačí nám dělení dřevěných obvodových konstrukcí pouze z hlediska difuzního toku na otevřené a uzavřené.

### 3.2 Difuzně uzavřené stavebně technické řešení

Primárním požadavkem dle autora Rypla [26] pro difuzně uzavřené stavby je maximální možné omezení průniku vodních par do vrstev stavební konstrukce umístěné za bariérový prvek. Bariérovým prvkem označujeme v souvislosti s technologií uzavřenou zpravidla parozábrany, jejichž umístění je vždy navrženo na vnitřním líci obvodu obvykle za první pohledovou vrstvou. Jsou to polymerní materiály, jejichž nejčastějším zástupcem vysokohustotní polyethylen.

Parozábrany dělíme na základě efektivity, respektive hodnoty difuzního odporu.

- Parozábrany o nízké efektivitě parotěsnosti – materiál s difuzním odporem větším než je hodnota  $100\ 000\ \mu$  a  $40\ m\ S_d$ .
- Parozábrany střední efektivitě – materiál s difuzním odporem větším než je hodnota  $500\ 000\ \mu$  a  $170\ m\ S_d$ .
- Parozábrany extrémní parotěsnosti – materiál s difuzním odporem extrémních hodnot nad  $1500\ m\ S_d$ .

Každá vrstva v konstrukci musí mít menší difuzní odpor než předešlá. Uzavřená konstrukce je velice efektivní u konstrukcí s kontaktním zateplovacím systémem. Řeší totiž problém s vysokým difuzním odporem polystyrenu v rámci regulace vodní páry puštěné do konstrukce.

### 3.2.1 Problémy difuzně uzavřených konstrukcí z hlediska teorie

Této podkapitole věnujeme značnou pozornost a větší rozsah, jelikož problematika navrhování, vad a havárií byla rozhodující při výběru řešeného tématu. Již v úvodu byla uvedena značná váha lidského faktoru na fungování konstrukcí. Vliv lidského faktoru na vnitřní mikroklima je nesporný a uvědomuje si ho snad každý. My si rozhodneme, zdali v obydlí máme desítky pokojových květin, zda ve sprše strávíme hodinu svého času, jestli si koupíme několik akvárií, nebo jestli si rádi přitopíme (z předešlé kapitoly víme, že vlhkost je funkcí teploty). Jak často větráme? Co vliv CO<sub>2</sub> na naše zdraví?

Námi vytvořené mikroklima při tomto technologickém řešení naráží na vrstvu bariérovou (parobrzdá, parozábrana). Zde se významně projevují všechny faktory zároveň.

- **Faktor provozovatele** – kolikrát bariérovou vrstvu perforují vlivem úprav interiéru (police, obrazy atp.).
- **Faktor zhotovitele** – jak kvalitně tuto vrstvu provedu.
- **Faktor navrhovatele** – jak zhodnotil rizika předešlých faktorů. Toto je klíčové v celém řetězci, jelikož z praxe víme, že i při návrhu správného materiálu a dodržení veškerých norem může špatným zhodnocením rizik dojít k fatálním problémům. Umístění a orientace místností je zásadním článkem zmíněného faktoru.
- **Kombinace faktorů** – riziko záporného synergického efektu. Např. vzniklá vlhkost poškodí neodborně provedenou parotěsnou vrstvu, která způsobí větší průnik vodních par. Tato vlhkost kondenzuje v izolaci obvodového pláště a sníží její tepelný odpor. V řetězové reakci nadále vzniká riziko povrchové kondenzace a růst nákladů za tepelné energie.
- **Řetězení faktorů** – viz popis předchozího bodu.

### 3.2.2 Faktor provozovatele

Provozovatel svým chováním a užíváním výrazně ovlivňuje funkčnost konstrukcí. Pro jasnější představu je přiložena tabulka č. 1, definující produkci vlhkosti na základě materiálů autora Gertise a Erhorna [27].

*Tabulka 1 Zdroje vodní páry a množství produkce [27]*

Člověk při lehké činnosti	30 - 60	g/h
Člověk při středně těžké práci	120 - 200	g/h
Člověk při těžké práci	200 - 300	g/h
Koupelna s vanou	700	g/h
Koupelna se sprchou	2600	g/h
Kuchyně při vaření	600 - 1500	g/h
Kuchyně průměrně denně	100	g/h
Sušení prádla (pračka na 4,5 kg)	50 - 200	g/h
Sušení odstředěného, mokrého kapajícího	100 - 500	g/h
Bazény (volné vodní plochy)	40	g/m <sup>2</sup> .h
Pokojové květiny, např. fialka (Viola)	5 - 10	g/h
Rostliny v květináči, např. kapradina (Comptonia asplenifolia)	7 - 15	g/h
Fikus střední velikosti (Ficus elastica)	10 - 20	g/h

Provozovatel díky zařizení nemovitosti, svým vlastním provozováním a vlastní aktivitě produkuje vlhkost ve formě vodní páry. Nejen normy mají své požadavky, ale i ochrana zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí obsažené v zákoně č. 268/2009 [28] ve svém § 10. udává, že vlhkost povrchu stavebních konstrukcí nesmí ohrožovat zdraví či zdravé podmínky uživatelů budov.



### 3.2.3 Faktor navrhovatele

Navrhovatel, v tomto případě projektant, stojí jako první v řadě celé problematiky. Právě zde je výchozí pozice realizace a opomenutí vlivu provozovatele (člověk užívající dotyčnou nemovitost) a zhotovitele (dodavatel, vlastník, uživatel) způsobuje jeden z fatálních problémů. Mimo navrhování konstrukcí na základě předepsaných norem je zde značná část predikování a dle toho formulace okrajových podmínek návrhu. O predikování, v tomto případě na základě subjektivního pohledu, při navrhování, mluví i autor Solař ze stavební fakulty ČVUT [22]. Jeho poznatky shrneme v této podkapitole.

Perforace parozábrany v konstrukci, ať již vlivem mechanického kotvení, nebo poškozením provozovatele, snižuje její funkci. Díky tomu následně není možné v rámci posuzování počítat její plnou funkci, ale je třeba počítat se snížením faktoru difuzního odporu.

Jelikož tato oblast není stále dostatečně popsána, není tato záležitost vedena normově, nýbrž řešení je na subjektivitě ze strany projektanta.

Autor Solař v rámci řešení uvádí snížení účinnosti faktoru difuzního odporu pro tuto vrstvu procentuálně na základě podílu plochy otvorů. Do budoucna je třeba provést experimentální zhodnocení každého materiálu samostatně, nicméně níže uvádíme tabulku pro nejběžněji využívaný materiál. Experiment byl proveden perforací PE folie tloušťky 0,085 mm sevřené mezi deskové materiály.

*Tabulka 2 Závislost podílu plochy kotevních prvků na hodnotě součinitele podmínek působení "z" [22]*

Podíl plochy otvorů [%]	Součinitel podmínek působení "z"	Faktor dif. odporu [-]	Ekvivalentní dif. tl. [m]
0,00	1,00	500000,00	250,00
0,10	0,30	150000,00	75,00
0,20	0,08	40000,00	20,00
0,30	0,06	30000,00	15,00
0,40	0,03	15000,00	7,50
0,60	0,02	10000,00	5,00
1,00	0,01	5000,00	2,50

V tabulce č. 2 můžeme vidět pokles difuzních vlastností vlivem perforace. Stačí desetina jednoho procenta poškození parotěsné vrstvy ke snížení její funkce o 70 %.

Pokud poškození dosáhne jednoho procenta, je vrstva téměř nefunkční. Pokud použijeme analogii, tak jedno procento poškození sníží schopnost parozábrany (původně střední parotěsnost!) na hodnotu OSB desky o tloušťce cca 15 mm. Perforaci není možné vyloučit, ale pokud budeme ošetřovat perforovaná místa a návaznosti na konstrukce včetně spojů budou provedeny řádně, můžeme snížení difuzního odporu optimalizovat. Nicméně nikdy nedosáhneme 100 % deklarovaných výrobcem parotěsné folie (spojovací materiál má horší bariérové vlastnosti).

Musíme si uvědomit, jak autor Solař upozorňuje [22], že požadavky na minimální hodnotu difuzního odporu parotěsné vrstvy nejsou definovány v žádné české normě. Poškozením parozábrany vyloučíme její funkci, ale neporušíme normu. Ta poškození nekalkuluje.

### 3.2.4 Faktor zhotovitele

Provedení parotěsnicí vrstvy je pro konstrukční řešení difuzně uzavřených staveb klíčovou záležitostí. Pokud neselže vliv zpracovatele, řádně bude reagovat na faktor provozovatele, tak přestože parotěsnicí vrstva nemůže plnit 100 % deklarované vlastnosti (na základě předchozí podkapitoly), může správným a odborným provedením regulovat průnik v maximální možné míře.

Nejčastější praktické chyby faktoru zhotovitele dle autora Rypla [26]:

- Fatální absence provedení bariéry
- Záměna zhotovitele parotěsnicího materiálu za materiál difuzní
- Záměna zhotovitele za materiál s nízkou účinností
- Perforace vrstvy zhotovitelem
- Přeložení materiálu bez spojení
- Využití špatných komponent pro spojování
- Neošetření prostupů
- Absence napojení na okolní konstrukce
- Vložení neizolovaných prvků
- Kombinace uvedených chyb



### 3.2.5 Vlhkostní poruchy obvodových konstrukcí

Drtivá většina objektů má dřevěnou obvodovou konstrukci, a to alespoň ve formě střechy. Úkolem je mít okolo svého objektu takovou skladbu, že v případě dřevěných konstrukcí bude kondenzace uvnitř konstrukce vyloučena ( $M_c = 0$ ). Bohužel v reálném světě je tento stav mnohdy vyloučený, proto je z hlediska kondenzace vodní páry v objektu žádaný stav minimální ( $M_c = \min$ ). I při splnění podmínek ČSN 0540 – 2 [16], kdy aktivní roční bilance vodní páry ( $M_c < M_{c,v}$ ) a zároveň kondenzace nepřekročí 0,5 kg/(m<sup>2</sup>.rok) nebo 5 % plošné hmotnosti materiálu, respektive 0,1 kg/(m<sup>2</sup>.rok) nebo 3 % plošné hmotnosti materiálu. Jde o to, že několikaměsíční vliv kondenzátu na dřevěné prvky může znamenat vznik dřevokazných hub, plísní, hnilob atp.

Teoretické důvody vzniku jsou popsány jak z hlediska fyzikálního, tak z hlediska prováděcího v předchozích kapitolách a podkapitolách. Níže se podíváme na poruchy prováděných staveb.

Inspektor nemovitostí Radim Mařík [30] uvádí, že problém s kondenzací je velmi rozšířen zvláště na šikmých střechách u obytných podkroví. Zásadní problém vidí v provedení parozábrany. Toto je zobrazeno v obrázku č. 17.



Obrázek 17 Špatné napojení parozábrany, následné poškození dřevěných prvků [30]

Druhou praktickou ukázkou popisuje autor Kokta [31]. ATELIER DEK je často konfrontován s vlhkostními problémy staveb s dvouplášťovými střechami. Ve svém článku ukazuje dopad vlhkostního defektu na budovu občanské vybavenosti. Při poklesu teplot v exteriéru se objevily vlhkostní problémy značného rozsahu ve formě vlhkých map povrchu v interieru. Opět je viníkem nefunkční barierová vrstva, která pouští nadměrné množství vodních par, které na plechové části kondenzují zejména díky nedostatečnému provětrání vrstvy. Kondenzát následně putuje přes izolaci zpět do interieru. Samotná voda snižuje tepelný odpor izolace a tím více situaci komplikuje.



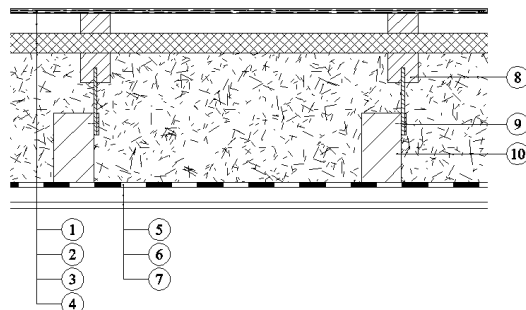
*Obrázek 18 Kondenzace na spodní straně pláště vlivem porušené parotěsné vrstvy [31]*

Dva uvedené případy upozorňují na velkou slabinu konstrukčního řešení této podkapitoly. Tím je častá nefunkčnost parotěsné vrstvy. Difuzně otevřená skladba měla být odezvou (variantou) a řešením. Tento předpoklad nebyl zcela naplněn díky úplné absenci české normy pro otevřené skladby. Trh dostal zejména marketingový nástroj.

### **3.3 Difuzně otevřené stavebně technické řešení**

Pokud vynecháme environmentální, marketingové a tržní vlivy, tak významným důvodem pro vznik difuzně otevřeného řešení bylo právě selhávání hlavního principu parotěsnosti konstrukce uzavřené. Mohli bychom se nechat zavádět terminologií „otevřenosti“, jež se stala doménou marketingových oddělení výrobců

systémů, nicméně díky absenci české normy pro definici difuzně otevřené konstrukce se variabilita technologického řešení posunula pouze k určité regulaci, nikoliv k otevřenosti, jak uvádí název [32].



Obrázek 19 Detail otevřené skladby obvodové konstrukce [33]

Na webových stránkách CAD detail [33] nalezneme volně dostupné skladby konstrukčních řešení s pravidelnou aktualizací. Uvedený otevřený systém má za sádrovláknitou deskou [7] místo parozábrany vloženu parobrzdu [5]. Instalační dutina [6] či zbylé prvky jsou navrženy vždy v souladu s normou ČSN 73 0540 [16].

Parozábranou rozumíme prvek, který opět zasahuje do regulace průniku vodních par. Dle autora Rypla [26] mají tyto vrstvy faktor difúzního odporu až 50.000 [-]. Takové hodnoty nejsou v souladu s představou otevřené konstrukce. Pro představu autor Böhm [10] uvádí schopnost nanovlákněných membránových laminátů dosahovat hodnot faktoru difúzního odporu  $\mu < 7$  [-] a v případě běžných pojistných hydroizolací hodnot  $\mu = 100$  [-]. Výsledné nahrazení nepropustné vrstvy jinou vrstvou těžce propustnou není možné hodnotit jako dostatečně efektivní. Rizika popsaná v předchozích podkapitolách (perforace, provedení) budou v případě parotěsné/brzděné folie v mnoha případech stejná. Pokud folii nahradíme jinou formou parobrzdy (vrstvení deskových materiálů), nedostává se dle našeho hodnocení efektu otevřenosti a taková vrstva pro změnu zvyšuje riziko nedostatečné vzduchotěsnosti.

Absence české normy nebrání rozporovat validitu konstrukčního řešení difuzně otevřených staveb v české republice. Pro inspiraci nemusíme vůbec chodit daleko. Německá norma DIN 68800-2 [34] označuje konstrukci jako difuzně otevřenou, pokud alespoň jeden povrch vykazuje hodnotu difúzního odporu menší nebo rovnou  $0,2 \text{ m S}_d$ . Dle této podmínky je použití standardních materiálů vyloučené. Nyní stačí

jednoduché počty, kdy materiál tloušťky 0,2 mm s faktorem difuzního odporu  $\mu = 50000$  [-] vykazuje ekvivalentní difuzní tloušťku rovnou  $S_d = 10$  m. Předpokladem „slabé“ parobrzdy může být vrstvený dřevěný deskový materiál. Tato deska tloušťky 18 mm s faktorem difuzního odporu  $\mu = 150$  [-] je ekvivalentem  $S_d = 2,7$  m. Přestože oba materiály se často vyskytují v technologii difuzně otevřených staveb, ani jeden neplní požadavky normy DIN 68800-2 [34].

Nejblíže myšlence v souladu s konceptem a cílem této práce se dostal autor Krňanský v kapitole 3.9 [35]. Přestože záměrem autora bylo konstruovat difuzně otevřený systém, nedošlo k stoprocentnímu souladu s cílem autora této kvalifikační práce.

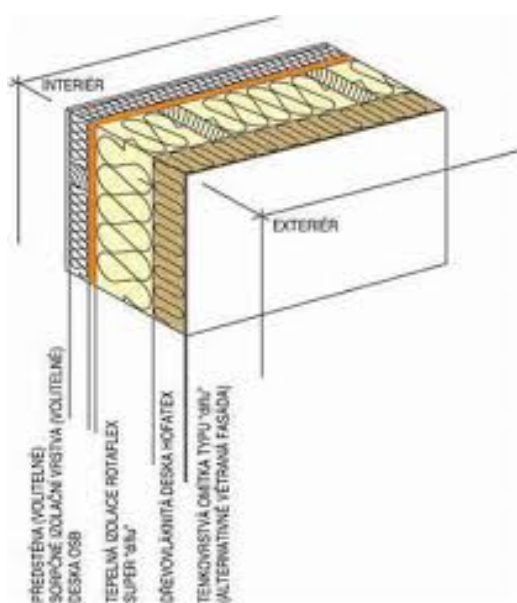
### 3.4 Koncepce dle Krňanského – konstrukce Diffuwall®

Konstrukční odpovědí na problematiku udržitelného rozvoje dřevostaveb za využití atributů difuzně otevřeného řešení byla z pera autora patentovaná konstrukce Diffuwall®. Záměr byl povolit v rozumné míře přenosové děje na rozhraní interiéru a exteriéru z hlediska difuze vodních par odstraněním parozábrany. Záměrem této práce je nejen odstranit parozábranu, kterou označujeme za problematickou a nákladnou investici, ale i samotný deskový materiál zvolit maximálně propustný v souladu s německou normou DIN 68800-2. Pouhé odstranění paroregulační vrstvy považujeme za nedostatečné již jen z objasňovaného hlediska funkčnosti deskových materiálů s vysokým difuzním odporem. Pokud nám první vrstva vytváří odpor průniku vodních par (v rozumné míře, regulovaný atp.), dá se o ní hovořit jako o parozábraně taktéž. V ostatních bodech dochází ke konsenzu s myšlenkou Krňanského. *Aplikace bio či recyklovatelných materiálů, důraz na tepelnou a vlhkostní akumulaci v souladu s příslušnou normou.* K tomu maximální zjednodušení konstrukce, kdy je primární minimalizovat počet vrstev.

Jistý nesoulad s řešenou problematikou také naznačuje samotná skladba spolu s autorovým popisem. Interiérový záklop je navržen jako tuhá deska plošné hmotnosti okolo 600-700 kg/m<sup>3</sup> (typově OSB). Systémově plní funkci parobrzdy, jak ji autor sám označuje.

Celá konstrukce je koncipována jako obvodová svislá bez pojistné hydroizolace. Právě pojistná hydroizolace může díky vysoké hydrostatické odolnosti řešit havárie průniku vody z exteriéru do konstrukce a kompenzovat poruchy vzduchotěsnosti obvodového pláště. Průnik vody, stejně tak průnik vzduchu, snižuje tepelný odpor a má za následek degradaci dřevěných prvků.

Využití izolací ze skelných vláken či biologicky recyklovatelných materiálů je jedinou možností, jak budoucnost difuzně otevřených konstrukcí koncipovat za podmínky stávajících znalostí materiálů a stávajícího rozvoje technologií.



Obrázek 20 Skladba Diffiwall® [35]

## Praktická část

### 4 Definice materiálů

#### 4.1 Třívrstvé lamináty

Membrány využitě při konstrukci testovaných laminátů mají samostatně velice nízké mechanické vlastnosti, čímž bez nosiče jsou pro účely stavitelství takřka nepoužitelné. Zprvu byli testovány dvouvrstvé lamináty, nicméně spojení s jednou nosnou vrstvou nevedlo k dostatečným „mechanickým“ vlastnostem (zatížení vodním sloupcem znamenalo brzké protržení celé textilie). Laminace třetí vrstvy byla do značné míry kompromisním řešením posílení parametrů pevnosti, zlepšení „neprodyšnosti“ a hydrostatické odolnosti při zachování vysokých hodnot paropropustnosti.

Nosná vrstva laminátů první série je tvořena polypropylenovou netkanou textilií vyrobenou technologií spunbond o plošné hmotnosti  $16 \text{ g/m}^2$ . Nosná vrstva vyrovnává nízké mechanické vlastnosti membrán. Nevýhodou dvouvrstvých laminátů je riziko poškození membrány, která je primární nositelkou hodnocených vlastností. Hydrofobizace byla provedena pomocí fluorocarbonu C8.

- Spunbond PP + hydrofilní membrána + spunbond PP (Hydrobond)
- Spunbond PP + mikroporézní membrána + spunbond PP (Microbond)
- Spunbond PP + nanovláknenná membrána + spunbond PP (Nanobond)

Nosná vrstva laminátů druhé série je vytvořena polyesterovou netkanou textilií vyrobenou technologií spunlace o plošné hmotnosti  $50 \text{ g/m}^2$ . Hydrofobizace laminátu byla provedena fluorocarbonem C8.

- Spunlace PL + hydrofilní membrána + spunlace PL (Hydrolace)
- Spunlace PL + mikroporézní membrána + spunlace PL (Mikrolace)
- Spunlace PL + nanovláknenná membrána + spunlace PL (Nanolace)

## Hydrofilní membrána

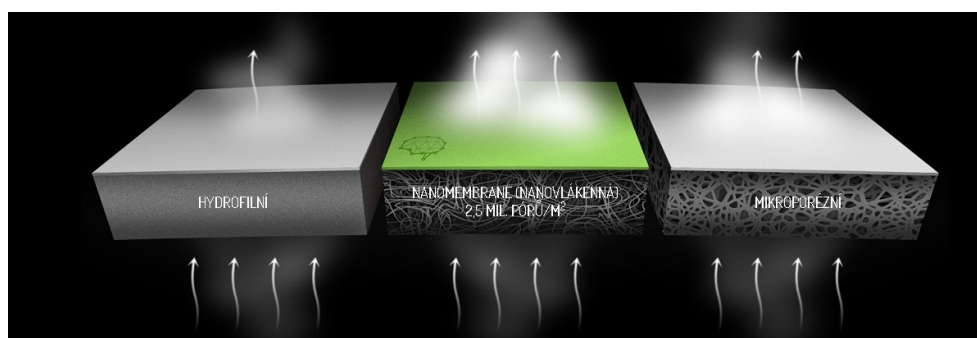
Souvislá polyuretanová vrstva tvořící celistvou membránu bez pórů, ve které transport vodních par probíhá chemickou cestou. Molekuly jsou adsorbovány na interiérové straně membrány, kde principem difuze v pevných látkách na základě rozdílu koncentrací parciálních tlaků uvnitř a vně dochází k transportu molekul  $H_2O$  na povrch a následně k difuzi (odparu) do okolí. Jelikož membrána neobsahuje póry, dosahuje vysokých hodnot hydrostatické odolnosti a „neprodyšnosti“. Nevýhodou je, že difuzní odpor roste s tloušťkou. Ztenčování vrstvy omezuje mechanické vlastnosti a zvyšuje náchylnost k poškození. [36]

## Mikroporézní membrána

Mikroporézní membrána vyrobená z polytetrafluorethylenu původně vyvinutá pro windproof lamináty deklarující vynikající hodnoty paropropustnosti. Použitý materiál od společnosti NANOMEMBRANE umožňující vynikající hodnoty propustnosti vodních par je složen z několika velmi slabých vrstev.

## Nanovláknenná membrána

Membrána vyrobená českou společností Nanomembrane z polyuretanu vyniká průměrem vláken pouhých 150 nm. Tato unikátní vláknenná struktura má o 25 % více pórů oproti ostatním porézním membránám. Taková technologie výroby umožňuje získání unikátních vlastností spojením vynikající paropropustnosti a vysoké hydrostatické odolnosti. [37]



Obrázek 21 Difuze skrz jednotlivé membrány [37]

Testované membrány byly původně vyvinuty a využívány v oděvním průmyslu. Jedná se o tenké homogenní struktury umožňující takřka volnou difuzi vodních par (výparný odpor některých membrán se blíží k 0,0 Ret), při odolnosti vodního sloupce až 30 m a odolnosti proti větru. Při nahrazení oděvního textilního nosiče vhodnou netkanou textilií se nabízí aplikace do stavebních konstrukčních řešení. Je tak teoreticky možné čerpat při stále dostupné ceně vlastnosti v kvalitách doposud neuskutečněných. Základní informace o vrstvách laminátu přikládáme v tabulce č. 3.

*Tabulka 3 Souhrn vrstev laminátu*

Označení vrstvy	Označení technologie	Polymer
Nosná vrstva	Spunlace	Polyester
Nosná vrstva	Spunbond	Polypropylen
Membrána	Nanovláknenná	Polyuretan
Membrána	Mikroporézní	Polytetrafluorethylen
Membrána	Hydrofilní	Polyuretan

## 4.2 Doplnková hydroizolační vrstva

Původně označovaná jako pojistná hydroizolace, v běžném názvosloví využívaná difuzní folie či střešní membrána. Tento materiál, nejčastěji vyráběný z polypropylenových a polyethylenových polymerů, technologií nejčastěji způsobem mikroperforace, či jako laminát s difuzním filmem/membránou, funkčně zabraňuje průniku vody z exteriéru do střešních izolací a následně do interiéru. Po své montáži v intervalu několika týdnů může přebrat funkci dočasného střešního pláště. Mimo hydrostatické odolnosti vyžadujeme absenci průniku vzduchu do tepelných izolací při zachování vynikajících difuzních vlastností. Standardní textilie pro DHV (PHI či DF) nahrazujeme lamináty vedené v části 4.1.

Regresní modely obsahují širokou škálu různých standardních materiálů, pro které jsou základní parametry popsány každý zvlášť.

Pro výpočty průchodu vlhkosti skrz stavební konstrukci v programu teplo 2017 založené na empirických i teoretických hodnotách využíváme materiálů od výrobce Juta a.s., konkrétně výrobku Jutadach 115.



## Jutadach 115

Doplňková hydroizolační vrstva vhodná ke kontaktní i nekontaktní montáži v šikmých střešních systémech o sklonu minimálně 17°. Tato difuzní folie o plošné hmotnosti 120 g/m<sup>2</sup> čítá tloušťku 0,4 mm a odpovídá difuznímu odporu 0,02 m S<sub>d</sub>.

Produkt se skládá z dvou vrstev polypropylenové netkané textilie, které v sendvičovém řešení mají nanesen difuzní film zajišťující paropropustnost a hydrostatickou odolnost. [38]

### 4.3 Tepelná izolace

Jako tepelné izolace využíváme primárně desky a rouna ze skelných a basaltových (čedičových) vláken. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  je pro tyto materiály ve stavitelství na průměrných hodnotách, přesto díky difuzním vlastnostem je pro tuto práci nejvhodnější. Pro stručný přehled slouží tabulka č. 4, dle které můžeme stanovit tloušťku konstrukce při užití alternativního materiálu a zhodnotit dopad na difuzní parametry. [39]

Tabulka 4 Porovnání difuzních parametrů tepelných izolací [39]

Alternativní tepelná izolace pro konstrukci o parametrech $d = 0,3 \text{ m}$ a $\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$				
	Součinitel tepelné vodivosti	Faktor difuzního odporu	Alternativní tloušťka	Ekvivalentní difuzní tloušťka
Název	$\lambda \text{ [W/mK]}$	$\mu \text{ [-]}$	$d_{\text{alt}} \text{ [m]}$	$S_d \text{ [m]}$
Polyisokyanurát	0,022	60,000	0,165	9,900
Fenolycká pěna	0,020	35,000	0,150	5,250
EPS 70F	0,039	30,000	0,293	8,775
Izolace z minerálních vl.	0,035	1,000	0,263	0,263

### 4.4 Dřevěné konstrukce

Popis materiálu je stanoven dle informací na stránkách prodejce a zveřejněných materiálových listů [40] [41].

## **Dřevoštěpková deska (OSB)**

Standardní materiál o objemové hmotnosti  $600 \text{ kg/m}^3$  hojně využívaný pro zaklopení konstrukce difuzně uzavřené a případně využíván jako parobrzdá konstrukcí difuzně otevřených. Dřevoštěpkové materiály běžně užívané mají násobně větší faktor difuzního odporu. V případě testovaného materiálu od výrobce značky EDGER bylo  $\mu$  stanoveno na hodnotu 250 [-]. Vzorky k testování mají tloušťku 12 mm, což odpovídá 3 m  $S_d$ .

## **Dřevovláknitá deska**

Dřevovláknitá deska od výrobce EDGER s označením DHF tloušťky 15 mm deklarující výborné difuzní vlastnosti, kdy faktor difuzního odporu  $\mu$  deklaruje na hodnotu 11 [-], což v přepočtu na ekvivalentní difuzní tloušťku  $S_d$  znamená 0,165 m. Z obecné definice je hojně používaná k vnějšímu opláštění dřevěných konstrukcí. Objemová hmotnost materiálu leží v intervalu  $600\text{-}625 \text{ kg/m}^3$ . Odolná proti vlhkosti v souladu s normou EN 14964 a se schválením stavebního dohledu (abZ) Z-9.1-454 je vhodná pro nosné účely. Štěpky a vlákna jsou z jehličnanů, lepidlový systém je bez formaldehydu.

Druhou testovanou komponentou typologicky taktéž dřevovláknitou je deska od společnosti Steico. Jedná se o následovníka materiálu typu Hobra. I přes tloušťku 22 mm vyniká difuzním odporem  $\mu$  hodnoty 5 [-], což v přepočtu znamená hodnotu  $S_d$  0,11 m. Tyto hodnoty mohou znamenat bezstarostný záklop svislých obvodových konstrukcí. Ta je po montáži zatížena objemovou hmotností pouhých  $270 \text{ kg/m}^3$ . Součinitel tepelné vodivosti byl atestován na hodnotu  $0,048 \text{ W/mK}$ , které znamenají ve výsledku následných 22 mm tepelné izolace navíc.

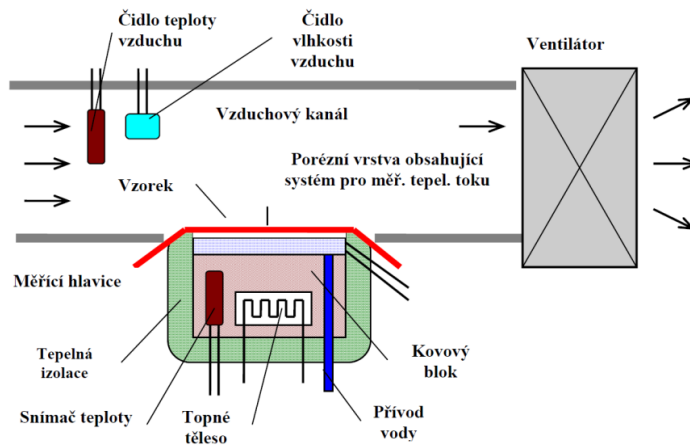
## 5 Metodika

Za předpokladu, že se po experimentální úsečce chceme dostat z bodu A, kde leží stávající model konstrukce difuzně otevřených staveb se stále vysokou regulací, do bodu B, kde se nachází cíl práce, tím je vytvoření nové konstrukce bez jakékoliv regulace navíc schopné minimalizovat rizika uvedených faktorů, musí dojít ke stanovení modelu testování na laboratorní a vlastní. Pro účely posouzení vhodnosti primárních užitných vlastností jsou sledovány hodnoty paropropustnosti, prodyšnosti a hydrostatické odolnosti, naměřené v laboratořích katedry hodnocení textilií Technické univerzity v Liberci za pomoci přístrojů Permetest, Hydrostatic head tester a FX 3300. Následně je stanovena vlastní metodika testování paropropustnosti pro neklimatizované prostory. Podrobné informace zobrazují následující podkapitoly.

### 5.1 Permetest

Pro laboratorní měření sledovaného znaku propustnosti pro vodní páry byl zvolen malý skin model, vyvinutý profesorem Lubošem Hesem na katedře hodnocení textilií Technické univerzity v Liberci. Umožňuje rychlé měření v řádu minut bez destrukce vzorku v souladu s normou ČSN EN ISO 11092 - Textilie - Fyziologické účinky - Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek (zkouška pomocí vyhřívané desky simulující efekt pocení).

Dle autora Hese [19] je přístroj založen na měření tepelného toku  $q$  [ $W/m^2$ ]. Izotermické podmínky zajišťujeme tak, že je hlavice při měření za pomoci topné spirály a regulátoru vlivem nasávaného okolního vzduchu na téže teplotě. Následně vlhkost změněná na páru prochází skrz separační folii a měřený vzorek. Speciální snímač měří hodnotu příslušného výparného tepelného toku, který je přímo úměrný paropropustnosti nebo nepřímě úměrný výparnému odporu. Měření vždy probíhá nejprve bez vzorku a následně se vzorkem. Přístroj zaznamená oba příslušné tepelné toky.



Obrázek 22 Schéma přístroje Permetest [19]

Prvním ukazatelem přístroje je relativní paropropustnost vzorku  $p$  [%], který sice není normalizován, nicméně ukazuje poměr tepelných toků procházejících hlavicí zakrytou  $q_v$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] a nezakrytou  $q_0$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] měřeným vzorkem na základě vzorce:

$$p = \frac{100 \cdot q_v}{q_0} \quad (7)$$

Druhou, pro plánované laboratorní měření důležitější veličinou, je výparný odpor  $R_{et}$  [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ ]. Stanovuje se na základě rozdílu parciálních tlaků vodní páry obsažené ve vzduchu. Nasycený parciální tlak na povrchu hlavice  $P_m$  [Pa] a parciální tlak vodní páry ve zkušební m prostoru jako funkce teploty. Výpočet je dán vztahem:

$$R_{et} = (P_m - P_a)(q_v^{-1} - q_0^{-1}) \quad (8)$$

Vzhledem k výhodám, jako je rychlost měření a nedestruktivnost vzorků u této metodiky očekáváme, že pro dobře propustné materiály má tento malý a přenosný přístroj vysoký potenciál využití. Zejména z hlediska ověřování paropropustnosti doplňkových hydroizolačních vrstev.

## 5.2 Prodyšnost

Pro měření prodyšnosti laminátů byl zvolen přístroj švýcarské firmy TEXTTEST s označením FX 3300. Prodyšnost, v našem případě jako zápornou vlastnost, hodnotíme množstvím vzduchu prošlým skrz materiál za předem definovaných podmínek. Pro hodnocení využíváme normy ČSN EN ISO 9237, kde

pro technické textilie využíváme tlakového spádu 200 Pa. Pokud je textilie při tomto tlakovém spádu neprodyšná, testujeme následně spád větší. Nastavujeme rozměr, v kterém je prováděno měření skrz vzorek 5–20 cm<sup>2</sup>. [19]

### 5.3 Hydrostatická odolnost

V případě doplňkové hydroizolační vrstvy, jak již sám název napovídá, je jednou z primárních vlastností odolnost textilie proti průniku vody. Tuto odolnost zpravidla vyjadřujeme výškou vodního sloupce, kterou materiál udrží do proniknutí vody či destrukce (protržení) textilie. Samotné měření podléhá normě ČSN EN ISO 811 (800818) - Textilie - Stanovení odolnosti proti pronikání vody - Zkouška tlakem vody [42].

Zkouška se provádí postupným navyšováním tlaku destilované vody působící zespodu na kruhový vzorek o průměru 10 cm do doby průniku prvních tří kapek nebo dojde k protržení. Tlak, který působí ve chvíli průniku na základě normy či destrukce vzorku, definuje hydrostatickou odolnost materiálu. Možné je i působení tlakem z vrchu. Naměřené hodnoty se pro lepší orientaci následně převádí na výšku vodního sloupce nejčastěji v milimetrech či metrech.

Testování si můžeme představit jako kruhový válec o průměru 10 cm v přímém kontaktu s textilií s vzrůstající výškou vodního sloupce. Po průniku prvních tří kapek je výsledná výška hydrostatickou odolností v jednotkách např. mH<sub>2</sub>O.

### 5.4 Vlastní metodika

Stanovení vlastní metodiky měření stavebních materiálů ovlivnily limitované možnosti standardních dostupných metod v rámci laboratoří KHT a složité vytváření klimatizovaných prostor. V rámci zamýšleného experimentu je testována možnost dlouhodobého pozorování propustnosti vodních par skrz zkoumaný vzorek různého složení a tloušťky. Výchozím bodem jsou základy fyzikálních (okrajových) podmínek, poznatků obsažených v teoretické části druhé kapitoly této práce a vlastních navržených modifikací vycházejících ze standardních gravimetrických metod.

Oproti standardu zde nejsou přímo definované teploty a relativní vlhkosti prostředí klimatické komory ani zajištěné stacionární proudění vzduchu. Pomocí cyklického záznamu v pětiminutových intervalech jsou zpracovány okrajové podmínky měření z hlediska teploty v místnosti a relativní vlhkosti. Vedle toho jsou sledovány hmotnostní úbytky měřících sestav. V intervalu 24 hodin po dobu sedmi dnů probíhá vážení. Ve chvíli nejlepší aproximace lineární funkcí hmotnostního úbytku sestavy za časovou jednotku se dostáváme ke stavu nejbližšímu ke stacionárnímu difuznímu toku skrz materiál (viz. graf č. 31-33 na straně 77).

Skleněná nádoba tvořící první prostředí testovací sestavy simuluje interiér objektu. Integrovaná kapalina díky uvolňování (odpařování) molekul vody z povrchu nasycuje objem nádoby do vysokých hodnot relativní vlhkosti. Tím vzniká rozdíl částečných tlaků v testovacím prostředí (interiérové) a místností (exteriérové) simulující exteriér. Na rozhraní je příslušný testovaný materiál, který svým difuzním odporem brání prostupu vodních par.

Při pohledu na vzorec součinitele difuze vodní páry (9), vidíme veličiny závislé. Základní ukazatel, jímž je změna hmotnosti sestavy, nám zobrazuje hmotnostní množství vodní páry prošlé skrz vzorek na rozhraní. Řecké písmeno „ $\tau$ “ ve jmenovateli definuje čas, který je s difuzí vázán. V kombinaci s hmotností „ $m$ “ v čitateli nám vzniká hmotnostní změna, veličina, která definuje změnu hmotnosti za časovou jednotku. Tato hmotnostní změna nabývá hodnoty průchodem molekul vodní páry skrz definovanou tloušťku „ $d$ “ konkrétního materiálu o konkrétní ploše „ $A$ “ za rozdílu parciálních tlaků „ $\Delta P$ “ testovaného prostředí interiéru a exteriéru dle našeho značení. Všechny potřebné veličiny v rámci našeho experimentálního testování měříme, přičemž informaci o rozdílu parciálních tlaků zjistíme na základě znalosti relativní vlhkosti a teploty.

$$\delta = \frac{m \cdot d}{A \cdot \tau \cdot \Delta P} \quad (9)$$

#### 5.4.1 Parciální tlak vodní páry simultánního interiérového prostředí

První vytvořené prostředí analogicky simuluje prostředí interiéru. Do něj je vložena kapalina v objemovém vyjádření 100 ml pro každou sestavu. Při hustotě

destilované vody pro  $t = 19 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\rho_v = 998,406 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) činí hmotnostní zastoupení kapaliny přibližně 99,84 g.

První den měření je prostředí silně nestacionární z hlediska relativní vlhkosti. Pro různé materiály na rozhraní je předpoklad sycení v rámci hodin. Po ustálení přiřazujeme v rámci naší metodiky relativní vlhkost v závislosti na pozorovaném materiálu. Pro vysoce propustné materiály připadají hodnoty od 55-80 % RH, u nepropustných materiálů až 95-99 %. Konkrétní hodnoty jsou zvoleny na základě prováděných sond vlhkoměrem. Teplota vzduchu je předpokládána analogicky k okolnímu prostředí, jelikož ve fázi ustálení dochází k vyrovnání teplot sestavy s teplotou místnosti.

Na základě exponenciálního Magnusova vzorce (10), zobrazeného níže, určíme na základě znalosti teploty a odhadu relativní vlhkosti parciální tlak prvního prostředí.

$$p'' = \exp\left(27,376 - \frac{5745,31}{T}\right) \quad (10)$$

#### 5.4.2 Parciální tlak vodní páry druhého exteriérového prostředí

Za pomoci vlhkoměru a teploměru je měřena kontinuálně teplota a relativní vlhkost v místnosti. První měřicí zařízení zabezpečuje záznam uvedených veličin každých pět minut, což v praxi znamená 288 záznamů za den. K experimentu je k dispozici zařízení, které umožňuje pomocí sondy měřit vlhkost ve skleněné nádobě.

Znalost hodnot v pětiminutových intervalech nám dává možnost určení střední hodnoty relativní vlhkosti a teploty.

Parciální tlak vodní páry u druhého prostředí je následně stanoven přepočtem z Magnusova vzorce. Přesnost všech dat jsou omezeny pouze přesností měřicího přístroje Testo 635-2, tedy  $\pm 0,1 \text{ } \%$  RH a  $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Export dat pomocí nativního SW.

#### 5.4.3 Princip zkoušky

Kapalina je umístěna v prvním testovacím prostředí tvořeným skleněnou nádobou zakrytou testovaným vzorkem. Z hladiny této kapaliny probíhá postupné

odpařování za každé teploty. Molekuly vodní páry zprvu nestacionárně pronikají zkušebním vzorkem a zároveň nasycují prostor skleněné nádoby. Po ustálení, tedy po nasycení prostoru pod vzorkem na konstantní relativní vlhkost, probíhá ustálený difuzní tok směrem do prostředí méně nasyceného. Tento děj zaznamenáváme graficky jako přibližnou přímku složenou z kumulativních úbytků kapaliny v čase (graf č. 31-33, str. 77). Doba ustálení je závislá na samotné propustnosti materiálu a teplotě, proto tento jev může trvat v řádu hodin až dní.

Měření probíhá v čase  $t_0$  až po  $t_7$  každých 24 hodin. Rozdíl v naměřené hmotnosti sestavy mezi  $t_x$  a  $t_{x+1}$  je analogický k propustnosti v gramech za 24 hodin.

$$m_{t_x} - m_{t_{x+1}} = \Delta m \quad (11)$$

Se znalostí parciálních tlaků, propustnosti, tloušťky a plochy, vázáno k časovému úseku 24 hodin, určujeme výpočtem součinitele difuze vodní páry (12) pro daný materiál. Následně dopočítáváme faktor difuzního odporu (13) a ekvivalentní difuzní tloušťku (14).

$$\delta = \frac{m \cdot d}{A \cdot \tau \cdot \Delta P} \quad (12)$$

$$\mu = \frac{\delta_V}{\delta_A} \quad (13)$$

$$s_{d,w} = \frac{\delta_V}{\delta_A} \cdot d \quad (14)$$

#### 5.4.4 Příprava vzorků

Textilní vzorky není třeba připravovat s přílišnou pečlivostí, jelikož po montáži sestavy zastrihujeme na místě přečnívajících rohy, aby pod parotěsnou izolepou nevznikaly „knoty“, které by omezovaly parotěsnost. Nejlépe se osvědčil postup přípravy čtvercového vzorku o rozměrech přibližně 20 x 20 cm.

Dřevěné a deskové materiály je třeba připravit v přesném kruhovém provedení, aby se zamezilo vzniku mezer při montáži do hrdla skleněné nádoby.

Jelikož příprava vzorků pro toto měření byla prováděna ručně, bylo v prvním kroku potřeba připravit co nejdokonalejší kruhovou šablonu. Tato šablona byla



překreslena na deskové materiály a vzorky byly ručně vyřezány. Následná korektura tvaru probíhala na pásové brusce a z každého materiálu jsme použili pouze čtyři tvarově nejdokonalejší vzorky.

Vzorky extrudovaného polystyrenu vyřezáváme ručně nožem a také využíváme pouze dvou tvarově nejlepších vzorků.

Celkem bylo připraveno pět vzorků od každého z šesti laminátů, čtyři vzorky od každého ze tří dřevěných materiálů, tři vzorky od standardní doplňkové hydroizolační vrstvy a dva vzorky extrudovaného polystyrenu. Původní záměr byl vytvoření nejméně tří sestav každého vzorku, nicméně při montáži došlo k prasknutí skleněné nádoby, čímž muselo dojít k redukci u materiálu s nejmenší experimentální vahou.

*Tabulka 5 Parametry sestav pro vlastní experiment*

Název vzorku	Počet sestav	Počet dní
Lamináty dle autorského návrhu	5	7
Steico 22 mm 270 kg/m <sup>3</sup>	4	7
Edger DHF 15 mm 600-625 kg/m <sup>3</sup>	4	7
Edger OSB 15 mm 600 kg/m <sup>3</sup>	4	7
XPS	2	7
Doplňková hydroizolační vrstva	3	7

Plocha, skrz kterou v rámci testované sestavy procházela vodní pára, byla stanovena na základě znalosti průměru hrdla měřeného posuvným měřidlem ( $d = 69,98$  mm) s přesností na setiny mm.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,141592654 \cdot 0,06998^2}{4} = 0,00385 \text{ m}^2 \quad (15)$$

Měříme 37 sestav v časech od  $t_0$  po  $t_7$ , což činí celkově 296 měření. Jelikož první den (interval od  $t_0$  po  $t_1$ ) není možné považovat za stacionární, je z vyhodnocení vyloučen, čímž výsledné parametry testovaných materiálů určujeme na základě 259 měření v časech (měření hmotností sestav v intervalu  $t_1$  až po  $t_7$ ).

Znalost průměrné relativní vlhkosti a teploty v místnosti určujeme na základě 288 hodnot rovnoměrně rozdělených v intervalu  $t_x$  až po  $t_{x+1}$ , což znamená každých pět minut.

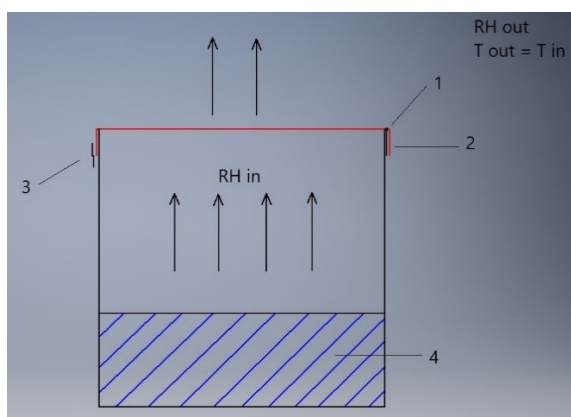
Tloušťka a plocha vzorku je konstantní. Metodika měření je příbuzná metodice wet cup, čili vypočtené hodnoty označujeme jako mokré.

#### 5.4.5 Příprava sestavy

Prvním krokem bylo umístění dostatečného objemu destilované vody [4] do skleněné nádoby, pro tento experiment jsme zvolili hodnotu 100 ml, dávkováno injekční stříkačkou s maximální pečlivostí. Primární pro celou testovací sestavu bylo zajištění průchodu vodních par pouze skrz plochu testovaného vzorku. Toho bylo dosahováno třemi bezpečnostními prvky v sestavě pro textilní materiály.

- ✓ Těsnění silikonovým spojem – nanesení nepropustného polymeru na hrdlo skleněné nádoby [1].
- ✓ Oboustranná parotěsnicí páska – umístění parotěsnicí pásky sloužící k spojování parotěsných folií pod hrdlo z vnější strany skleněné nádoby [2].
- ✓ Jednostranná parotěsnicí páska – montáž těsnicí pásky na konec vzorku k dotěsnění celé sestavy z vnější strany [3].

Ostatní kruhové vzorky byly vloženy přímo do hrdla nádoby a ta byla po obvodu utěsněna silikonem. V textu je odkazováno na obrázek č. 23.



Obrázek 23 Schéma experimentu

## 5.5 Statistické zhodnocení výsledků

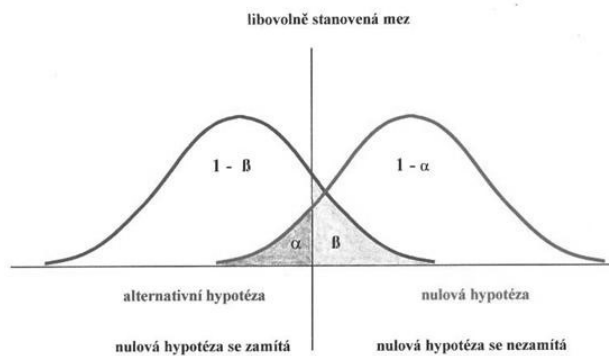
Data měřených znaků byla zpracována a vyhodnocena za pomoci softwaru Tibco Statistica 13 a Microsoft Excel pomocí popisných statistik výběrového souboru, regresní analýzy a analýzy rozptylu.

### Testování hypotéz

Nezbytnou součástí výzkumu je vyhodnocování získaných experimentálních dat. Sledovaná náhodná veličina je pomocí statistické analýzy využita k obhajobě platnosti obecného tvrzení pro úroveň populace na základě výběrových dat. Test statistických hypotéz a metody teorie odhadu řadíme k primárním postupům statistické indukce. Její úlohou je na základě dat z náhodných výběrů přijímat či zamítat určitou hypotézu, která odhaduje či popisuje úroveň populace.

Hypotézu, jejíž platnost ověřujeme, značíme  $H_0$ . Proti této vždy klademe hypotézu  $H_1$ , která popírá platnost existence nulové hypotézy jednostranně nebo oboustranně. Ukázkou může být, že difuzní odpor navrženého PHI je stejný jako u původního. Proti tomu klademe alternativu, že je odpor lepší/horší (jednostranná) nebo že se liší (nerovnost, oboustranná).

Jelikož výběr je náhodný a my nemůžeme výsledky prezentovat s naprostou jistotou, volíme předem hladinu spolehlivosti  $\alpha$ . Jedná se o míru nejistoty, že námi zamítnutá nulová hypotéza bude platná. Takto se vyznačuje chyba prvního druhu. Míru nejistoty  $\alpha$  obvykle stanovujeme na hodnotu 0,05 či 0,01. Snižování hladiny dává větší jistotu zamítnutí nulové hypotézy, nicméně zvyšuje riziko přijetí neplatné nulové hypotézy, tedy chyby druhého druhu  $\beta$ . Vždy je třeba myslet na to, že poklesem alfa roste beta. Graficky situaci zobrazuje obrázek č. 24 na následující straně. [43]



Obrázek 24 Chyba prvního a druhého druhu [43]

Díky modernímu softwaru již nemusíme srovnávat testovací kritérium s kritickou hodnotou. Využíváme hodnotu významnosti (p-hodnota, p-value), která nám říká, jaká pravděpodobnost ještě více svědčí proti  $H_0$ . Výhodou této hodnoty je nezávislost na hladině významnosti, jelikož nám podává informaci pro všechny hladiny zároveň. Zkratka p hodnota menší než 0,05 značí statisticky významný rozdíl a pokud je menší než 0,01, tak značí statisticky velmi významný rozdíl. [44]

## Regresní analýza

Případy, v kterých sledujeme závislost jedné kvantitativní proměnné na jedné nebo více dalších kvantitativních proměnných, nazýváme regresní analýzou. Předem je dáno, která proměnná je vysvětlující neboli nezávislá a která vysvětluje jako nezávislá nebo jako odezva. Výsledek provedené regrese je v ideálním případě vhodný matematický model, který zkoumanou volnou závislost převádí na závislost matematickou popsanou rovnicí (funkcí). Tato funkce tvoří ideální osu korelačního pole. Koefficient determinace  $R^2$  nám pak v rozmezí -1 až 1 poukazuje na sílu závislosti, což nám pomáhá zvolit vhodné proložení. Popis nám nejčastěji tvoří funkce lineární, exponenciální, logaritmické a polynomiální. Níže přikládáme dva příklady. [44] [45]

$y' = a + bx$  - jako regresní funkce, kdy osou korelačního pole je přímka.

$y' = a + \log.bx$  – konstantní zvyšování hodnot regresoru způsobuje zpomalení růstu závisle proměnné.

## Analýza rozptylu

Analýza rozptylu, neboli test rozdílů více středních hodnot, sleduje účinky jednoho nebo více faktorů na různé skupiny sledovaných objektů (přímo závislou zkoumanou proměnou).

Stanovení podmínek pro nulovou a alternativní hypotézu:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_m \quad (16)$$

Alternativní hypotéza znamená, že se nejméně jedna dvojice středních hodnot liší.

Přijetí nulové hypotézy značí, že na hladině významnosti alfa není mezi skupinami statisticky významný rozdíl. V případě jejího zamítnutí přistupujeme na multiplikativní „post-hoc“ testování pomocí metod Scheffého, Turkeyho a Fischera.  
[46]

## 6 Výsledky a diskuze

### 6.1 Difuzní odpor

Na katedře hodnocení textilií technické univerzity v Liberci bylo provedeno laboratorní měření primární vlastnosti doplňkové hydroizolační vrstvy. Jako hlavní užitečnou vlastnost hodnoceného laminátu je difuzní odpor uveden záměrně, jelikož hydroizolační vlastnosti se u podobných materiálů řídí poměrně snadno. Oproti tomu při vhodných parametrech hydrostatické odolnosti dosahovat nízkých hodnot odporu proti prostupu vodních par je nadmíru složité. V kombinaci na cílené vlastnosti konstruovaného souvrství je velice důležité dosahovat hodnoty blížíící se nule v případě výparného odporu a jedné v případě faktoru difuzního odporu.

V rámci měření výparného odporu na malém skin modelu PERMETEST jsme se zaměřili pouze na hodnoty výparného odporu  $R_{et}$  [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ ]. Tento přístroj měří alternativně hodnoty relativní  $P$  [%], nicméně tyto nenormované ukazatele nepovažujeme pro další zpracování za vhodné. Byly testovány třívrstvé lamináty popsané v kapitole 4.1 a doplňkové hydroizolační vrstvy uvedené v kapitole 4.2. Někteří zástupci skupiny doplňkových hydroizolačních vrstev deklarují jedny z nejlepších difuzních vlastností na trhu.

Standardní materiály se stejným účelem použití jsou v rámci vyhodnocení použité pouze k sestavení kalibračního (regresního) modelu. Nicméně i z našeho regresního modelu je možné vyčíst hodnoty standardních PHI a porovnávat s výsledky laminátů. Pro základní představu je toto dostatečné a o významném rozdílu není možné vést polemiku, jelikož variabilita je poměrně nízká a průměry velmi rozdílné. Analýzou DHV se poměrně do hloubky zabýval autor Böhm ve své kvalifikační práci se jménem „Aplikace nanovláknenné membrány do vrstev stavební konstrukce“.

Před zpracováním dat byla kontrolována normalita pomocí histogramů, Q-Q grafů, P-P grafů a Shapiro-Wilk testem (Všechny soubory p-hodnota  $> 0,05$ . Normalita tedy nebyla zamítnuta). Taktéž byly ověřeny extrémy a vybočující měření pomocí krabicových grafů. Data jsou tedy vhodná pro další zpracování. V případě regresního

modelu byla prověřena residua a bylo uvedeno jakou část variability vysvětluje tento model. Součástí regresní analýzy je test koeficientů získaného modelu, jelikož předpoklad normality byl splněn.

### Popisná statistika výparného odporu

Na základě výběrového souboru měřených hodnot z náhodně vybraných vzorků, měřeno na náhodně zvolených místech, kdy každé měření bylo vyznačeno tečkou v centru plochy, aby se zabránilo duplikaci získaných hodnot, dosáhl překvapivě nejlepší průměrné hodnoty laminát s mikroporézní membránou. Intervalové odhady jsou zobrazeny v grafické podobě u analýzy variace.

Tabulka 6 Popisná statistika spunlace materiálů – výparný odpor

Laminát	Popisná statistika - $R_{et}$ [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ ]					
	Průměr	Min	Max	Rozptyl	SO	CV
Spunbond/NM/Spunbond	2,743	2,300	3,200	0,042	0,204	7,434
Spunbond/MP/Spunbond	2,296	1,800	2,800	0,079	0,280	12,218
Spunbond/HF/Spunbond	10,230	8,600	11,800	0,804	0,897	8,767

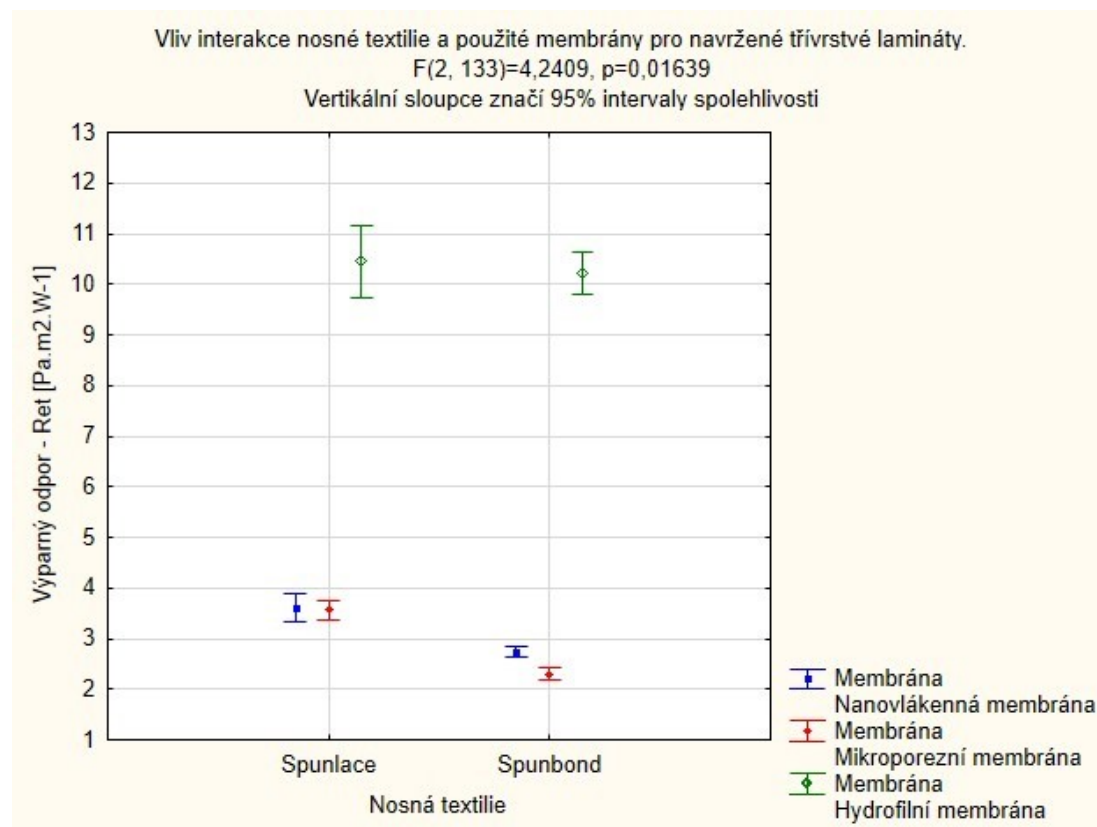
Výběrový soubor měřených hodnot náhodně vybraných vzorků. Měřeno na náhodně zvolených místech, kdy každé měření bylo vyznačeno tečkou v centru plochy, aby se zabránilo duplikaci získaných hodnot. I u spunbond laminátů dosáhl opět nejlepší průměrné hodnoty laminát s mikroporézní membránou. Jelikož bodové odhady jsou velice blízko v obou skupinách laminátů, přecházíme na vícefaktorovou analýzu rozptylu.

Tabulka 7 Popisná statistika spunbond laminátů – výparný odpor

Laminát	Popisná statistika - $R_{et}$ [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ ]					
	Průměr	Min	Max	Rozptyl	SO	CV
Spunlace/NM/Spunlace	3,609	2,400	4,600	0,402	0,634	17,564
Spunlace/MP/Spunlace	3,565	2,800	4,400	0,208	0,456	12,790
Spunlace/HF/Spunlace	10,448	7,100	13,100	2,956	1,719	16,456

## Vícefaktorová analýza variace

Výparný odpor ovlivňovaný dvěma primárními faktory byl podroben analýze rozptylu dvojitého třídění. Je zde předpoklad, že toto rozlišení může mít za následek zpřesnění výstupů a poukázat na důležité interakce, které by jednofaktorová ANOVA mohla skrýt. Prvním faktorem je samotná membrána, která v sendvičové konstrukci zajišťuje ochranu před průnikem kapalné vlhkosti při vysoké propustnosti pro vodní páry. Nosné vrstvy laminátu jako druhý faktor s určitostí ovlivňují difuzní odpor konečného produktu. Zajímá nás, jak tyto interakce ovlivňují výslednou charakteristiku na hladině  $\alpha = 0,05$ . Grafický výstup analýzy rozptylu nalezneme v obrázku č. 25 a jelikož je  $H_0$  zamítnuta, tak následné post-hoc testování pomocí Turkeyho unequal HSD testu v tabulce č. 8.



Obrázek 25 Vliv interakce nosné textilie a membrány

Sledované interakce vykazují statisticky významný vliv následkem přijetí hypotézy  $H_1$  při  $p = 0,01639$ . Prokázání alternativní hypotézy znamená statisticky



významný vliv faktoru či faktorů pro tuto i ostatní analýzy rozptylu jednoduchého či dvojného třídění v této práci.

K podrobnějšímu vyhodnocení analýzy využíváme post-hoc testování pomocí HSD testu pro různé velké soubory, v tabulce č. 8 jsou uvedené interakce pomocí homogenních skupin.

Tabulka 8 Post-hoc test – výparný odpor,  $\alpha = 0,05$ , Turkey Unequal N HSD

Číslo buňky	Unequal N HSD; proměnná $R_{et}$ [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ ] Homogenous Groups, $\alpha = 0,05$					
	Membrána	Nosná textilie	Výparný odpor [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ ] Průměr	1	2	3
4	Mikroporézní	Spunbond	2,296	****		
2	Nanovláknenná	Spunbond	2,743	****		
3	Mikroporézní	Spunlace	3,565		****	
1	Nanovláknenná	Spunlace	3,609		****	
6	Hydrofilní	Spunbond	10,230			****
5	Hydrofilní	Spunlace	10,448			****

Interakce jsou v post-hoc testování rozříděny vzestupně dle hodnot výparného odporu a vytváří celkem tři skupiny, kde rozdíly uvnitř neprokazujeme jako významné, ale skupiny mezi sebou ano. V první skupině vidíme, že pro spunbond lamináty nehraje roli volba porézní membrány, výsledný laminát není významně odlišný. Stejná situace nastává ve druhé skupině pro spunlace porézní lamináty. Dle prvních dvou skupin není pro výparný odpor signifikantní použitá membrána, ale nosná vrstva. Poslední skupina sdružuje neporézní membránu při použití libovolného z obou nosičů, zde se jejich vliv po vzoru předchozích skupin neprokázal. Nejmenšího odporu dosáhneme volbou porézní membrány a spunbond netkané textilie při parametrech laminátů použitých pro analýzu se spolehlivostí 95 %.

Největší zobrazovaný odpor náleží třetí skupině, která obsahuje oba lamináty s neporézní membránou. Výsledek ale není možné označit za nedostatečný. Bez obav můžeme zavést tvrzení, že neporézní membrána má v konstruovaném laminátu přibližně o 10  $R_{et}$  lepší odporové hodnoty oproti nejlépe vycházející standardní doplňkové hydroizolační vrstvě námi měřené a přibližně o 30  $R_{et}$  lepší odporové

vlastnosti oproti analýze v práci autora Böhma [10]. To jí dává vhodný předpoklad využití v konstrukčním systému.

### Predikce difuzních vlastností

Pokud budeme dosažené výsledky měření konfrontovat s normou ISO 11092 [47], tak dosahují třívrstvé lamináty s porézní membránou na základě tabulky č. 9 klasifikace „velmi dobrá“ a v případě neporézní membrány klasifikace „dobrá“. Standardní materiálové položky dosahují úrovně neuspokojivá. Určitě je možné namítat, že klasifikace z pohledu citované normy není stavěná pro běžně užívané stavební textilie, nicméně pro jakéhokoliv pozorovatele může být tato tabulka návodná k tomu, že jsme schopni konstruovat textilie násobně propustnější, nežli tomu aktuálně na běžně dostupném trhu je.

*Tabulka 9 Klasifikace paropropustnosti dle výparného odporu*

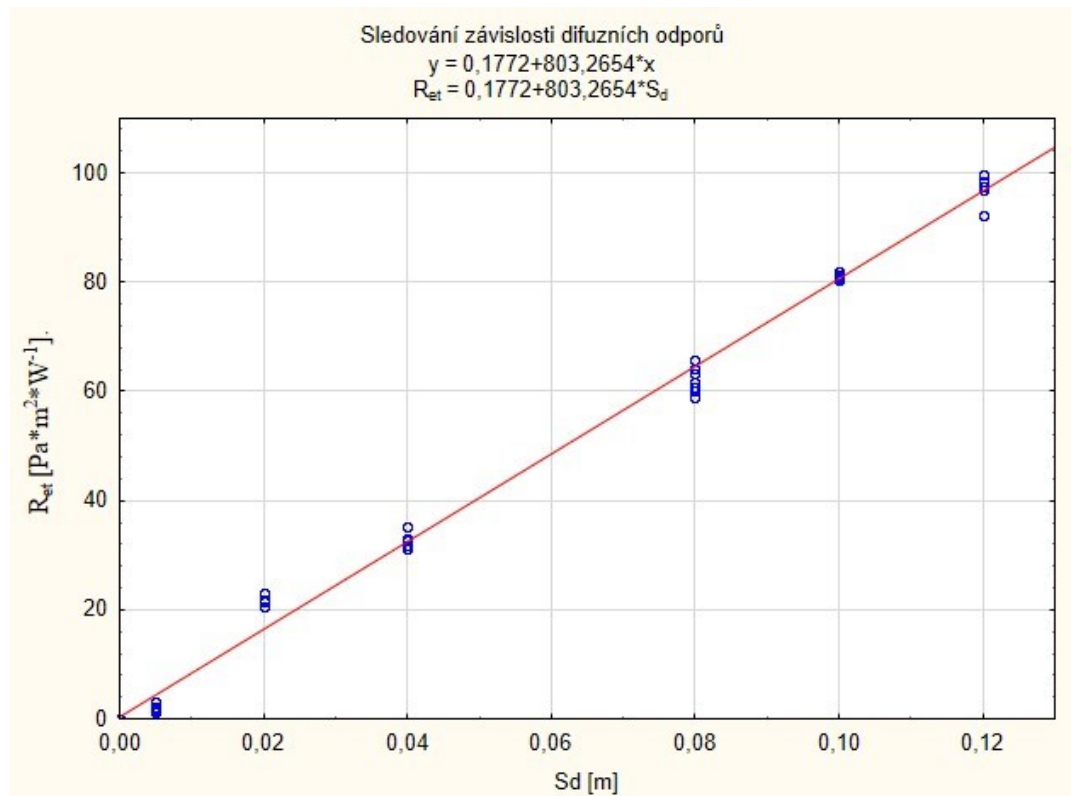
Hodnota $R_{et}$ [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ ]	Paropropustnost
$R_{et} < 6$	Velmi dobrá
$R_{et} 6 - 13$	Dobrá
$R_{et} 13 - 20$	Uspokojivá
$R_{et} > 20$	Neuspokojivá

Autor Knížek [48] ve své publikaci uvádí převodní tabulku pro hodnoty výparného odporu a moisture vapor transmission rate (MVTR). Pochopitelně předpokládáme, že tyto hodnoty náleží poměrně velkému rozdílu tlaků na rozhraní. Podle tabulky č. 10 je rozdíl v propustnosti minimálně čtyřnásobný oproti nejlepším naměřeným standardním materiálům.

*Tabulka 10 MVTR dle výparného odporu*

Hodnota $R_{et}$ [ $\text{Pa}\cdot\text{m}^2\cdot\text{W}^{-1}$ ]	MVTR [ $\text{g}/\text{m}^2\cdot 24 \text{ hod}$ ]
$R_{et} < 6$	nad 20 000
$R_{et} 6 - 13$	20 000 – 9 000
$R_{et} 13 - 20$	9 000 – 5 000
$R_{et} > 20$	pod 5 000

Pochopitelně při sledování různých převodových tabulek vyvstává zajímavá otázka, zdali a jak je možné efektivně získávat díky rychlému a dostupnému měření na malém skin modelu informace o jiných veličinách kalkulujících difuzní odpor. Je nutné párovat výparný odpor s veličinou, která v sobě ponese informaci o tloušťce textilie. Pokud by tomu tak nebylo, znamenalo by to více hodnot pro jeden výparný odpor, protože by výparný odpor  $R_{et} = x$  mohl náležet materiálu o tloušťce 3 mm i 3 cm. Oproti tomu v případě ekvivalentní difuzní tloušťky, která v sobě tloušťku materiálu nese zakotvenou, získáme pro jedinečnou hodnotu  $R_{et} = x$  jedinečnou hodnotu  $S_d = y$ . Hledáme inverzní funkci modelu  $R_{et} = f(S_d, a) + \epsilon_{Ret}$  při  $\sigma_{Ret}^2$ , jelikož kalibrovat budeme dle textilií s větším rozptylem (chybou) nežli je odezva  $y$ . Predikce následné hodnoty  $\hat{y}_{\{S_d\}}$  bude inverzní k funkci z regresního modelu.



Obrázek 26 Regresní model závisle proměnné měřené pomocí skin modelu PERMETEST

Tabulka 11 ANOVA pro regresní model, výparný odpor

Efekty	ANOVA; Závisle proměnná: $R_{et}$				
	Součet čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	F	p-hodnota
Regress.	55100,28	1	55100,28	6969,173	0,00
Residual	347,88	44	7,91		
Celkové	55448,16				

Tabulka 12 Výsledky regrese, výparný odpor - významnost koeficientů

N=46	Výsledky regrese pro závisle proměnnou: $R_{et}$ $R= 0,99685811$ $R^2= 0,99372609$ Adjusted $R^2= 0,99358350$ $F(1,44)=6969,2$ $p<0,0000$ Std.Error of estimate: 2,8118					
	$b^*$	Std.Err. (of $b^*$ )	b	Std.Err. (of b)	t(44)	p-value
Intercept			0,1772	0,627202	0,28258	0,778820
Sd	0,996858	0,011941	803,2654	9,622068	83,48157	0,000000

Sledujeme změnu závisle proměnné  $R_{et}$ , na základě regresorů  $S_d$  u nalezeného lineárního modelu proloženého přímkou na základě funkce  $y = 0,1772+803,2654x$ . V tomto modelu se nám podařilo vysvětlit přibližně 99,4 % celkové variability závisle proměnné. Pomocí Shapiro-Wilk testu byla ověřena normalita residuů a zjistili jsme statistickou významnost koeficientu směrnice. Ekvivalentní difuzní tloušťka  $S_d$  má statisticky velmi významný vliv na výparný odpor, oproti tomu absolutní koeficient není statisticky významně odlišný od nuly, což je v souladu s úvodním předpokladem, kdy absolutní nula jedné odporové veličiny se rovná absolutní nule druhé odporové veličiny. Nicméně z modelu tento koeficient z důvodu zachování nulové střední hodnoty residuů vynechávat nesmíme. Jak by vypadala predikce  $S_d$  a  $\mu$  při měření výparného odporu na základě inverzní funkce zobrazuje tabulka č. 13 na následující stránce.

Inverzní model pro predikci se zdá být relevantní jak po statistické stránce, tak po stránce praktické, protože tabulkové hodnoty jsou blízké hodnotám získávaným skrz měření, experimenty a praktickou zkušenost.

Tabulka 13 Predikce ekvivalentní difuzní tloušťky a faktoru difuzního odporu na základě výsledku regresního modelu

Výparný odpor [Pa·m <sup>2</sup> ·W <sup>-1</sup> ]	Ekvivalentní difuzní tloušťka [m]	Faktor difuzního odporu [-] (při tl. 0,0005 m)
1	0,001	2,05
3	0,004	7,03
4	0,005	9,52
5	0,006	12,01
10	0,012	24,46
20	0,025	49,36
40	0,05	99,15
100	0,124	248,54

## 6.2 Prodyšnost

Na katedře hodnocení textilií Technické univerzity v Liberci byla provedena série měření našich laminátů spolu se zástupcem standardních doplňkových hydroizolačních vrstev na přístroji FX 3300. Naměřené výsledky prodyšnosti v jednotkách l/m<sup>2</sup>/s byly podrobeny statistické analýze.

Prodyšnost z hlediska zamyšlené aplikace chápeme jako velmi zápornou vlastnost, pokud materiál propouští plyn (je prodyšný). Pro tlakový spád 100 Pa, určený pro oděvní textilie byla prodyšnost u všech materiálů nulová, při 200 Pa určených pro technické textilie byla prodyšnost opět rovna nule. Tímto pro všechny testované materiály došlo ke splnění podmínky „neprodyšnosti“. Aby bylo možné získat srovnání, došlo k navýšení tlakových spádů v intervalu 300-500 Pa s nulovým výsledkem. Měřitelné hodnoty pro tyto technické textilie byly nalezeny až při tlakovém spádu 900 Pa.

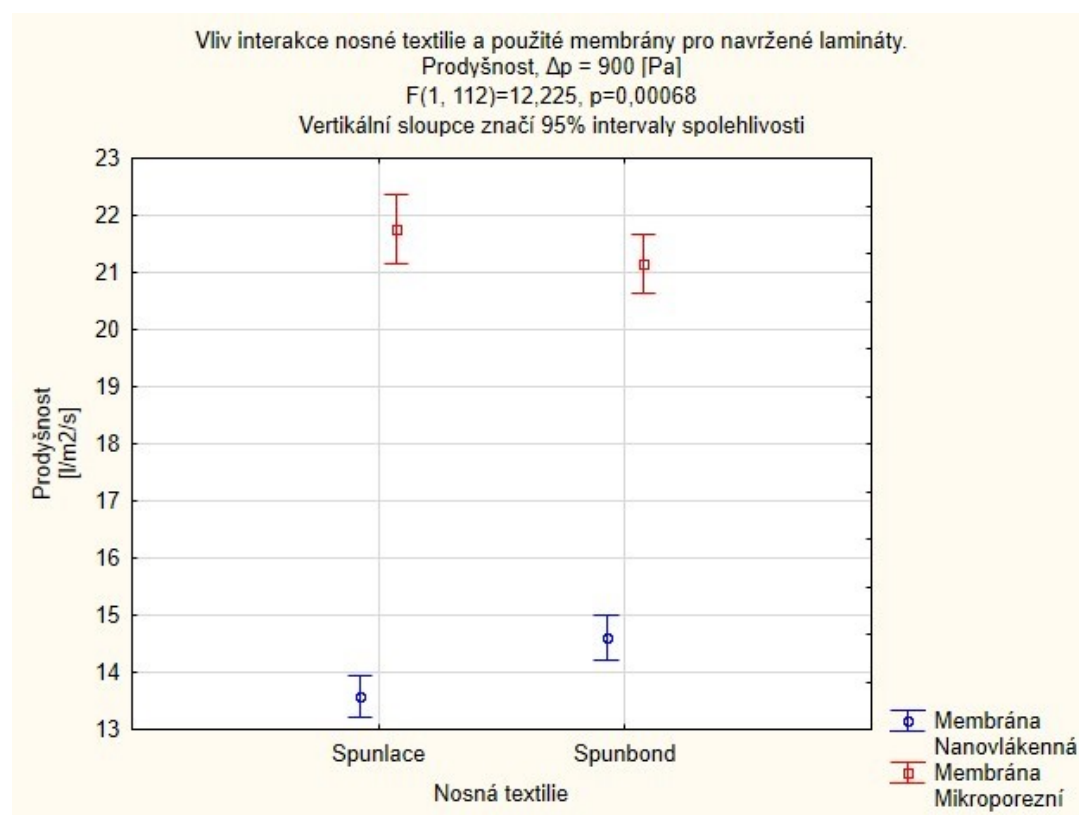
Před zpracováním dat byla kontrolována normalita pomocí histogramů, Q-Q grafů, P-P grafů a Shapiro-Wilk testem (Všechny soubory p-hodnota > 0,05. Normalita tedy nebyla zamítnuta). Taktéž byly ověřeny extrémy a vybočující měření pomocí krabicových grafů. Data jsou tedy vhodná pro další zpracování. Dále nalezneme naměřené hodnoty včetně statistického zpracování.

Tabulka 14 Popisná statistika – prodyšnost

Proměnná	Popisná statistika - prodyšnost [ $l/m^2/s$ ]					
	Průměr	Minimum	Maximum	Rozptyl	SO	CV
Spunlace/NM/Spunlace	13,517	11,800	15,600	0,953	0,976	7,223
Spunlace/MP/Spunlace	21,760	18,800	24,600	2,558	1,599	7,350
Spunlace/HF/Spunlace	2,290	2,000	2,600	0,023	0,153	6,686
Spunbond/NM/Spunbond	14,607	12,800	16,600	1,185	1,088	7,452
Spunbond/MP/Spunbond	21,156	18,700	23,800	1,699	1,303	6,161
Spunbond/HF/Spunbond	1,772	1,560	1,990	0,009	0,096	5,405
DHV	2,486	2,100	2,900	0,033	0,181	7,296

Jelikož rozdíl mezi průměry při poměrně nízké variabilitě je velmi signifikantní (predikujeme statisticky významný rozdíl na základě znalosti průměru a směrodatné odchylky), ANOVU rozdělíme do dvou částí. Námi vyrobené porézní membrány analyzujeme zvlášť od standardního materiálu a Hydrolace laminátu. Nejvíce neprodyšný je na základě bodového odhadu laminát s neporézní membránou a spunbond nosnou textilií.

### Faktorová analýza variace porézních membránových laminátů



Obrázek 27 Vliv interakce nosné textilie a použité porézní membrány na prodyšnost

Na základě analýzy rozptylu dvojitého třídění na hladině  $\alpha = 0,05$  prohlašujeme statisticky významný vliv interakce použité nosné textilie a membrány na prodyšnost materiálu. Z tohoto důvodu provádíme následné post-hoc testování pomocí Tureyho HSD unequal N testu a materiály opět třídíme pomocí homogenních skupin.

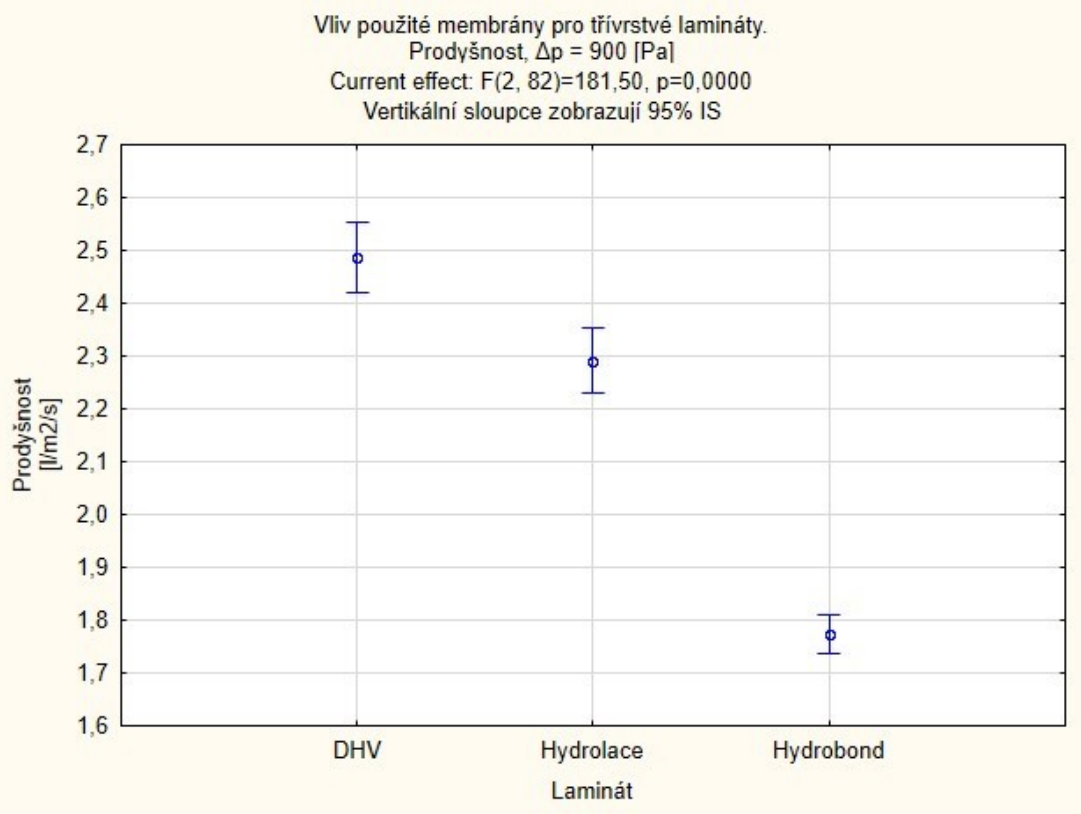
Tabulka 15 Post-hoc test – prodyšnost u porézních membrán,  $\alpha = 0,05$ , Turkey Unequal N HSD

Číslo buňky	Unequal N HSD; proměnná "prodyšnost" [l/m <sup>2</sup> /s] (statistica) Homogenous Groups, alpha = 0,05					
	Membrána	Nosná textilie	[l/m <sup>2</sup> /s] Průměr	1	2	3
1	Nanovláková	Spunlace	13,57586		****	
2	Nanovláková	Spunbond	14,60667			****
4	Mikroporézní	Spunbond	21,15556	****		
3	Mikroporézní	Spunlace	21,76000	****		

Homogenní skupina nám poukazuje na bodové odhady, které s 95% pravděpodobností nejsou významně odlišné uvnitř, ale mezi sebou (vně) ano. Nejmenší prodyšnost vykazuje nanovláková membrána s významným vlivem nosné textilie. Mikroporézní v tomto případě sekunduje, ale vliv nosiče díky větší variabilitě nebyl prokázán.

### **Analýza variace neporézních membránových laminátů a DHV**

V případě hydrofilní membrány, která dosahuje hodnot prodyšnosti ještě výraznějších v porovnání s DHV, používáme analýzu rozptylu jednoduchého třídění. Prokazujeme statisticky významný vliv použité textilie na prodyšnost. Nejvhodnější konfigurace materiálu dosahujeme využitím neporézních membrán v kombinaci se spunbond netkanou textilií (dle interpretace grafického výstupu ANOVY v grafu č. 28 a post-hoc testování pomocí HSD unequal testu v tabulce č. 16).



Obrázek 28 Jednofaktorová analýza rozptylu neporézní membrány

Tabulka 16 Post-hoc test – prodyšnost u neporézních membrán,  $\alpha = 0,05$ , Turkey Unequal N HSD

Číslo buňky	Unequal N HSD; proměnná "prodyšnost" [l/m²/s] Homogenous Groups, alpha = 0,05				
	Membrána	[l/m²/s] Průměr	1	2	3
3	Hydrobond	1,772	****		
2	Hydrolace	2,290		****	
1	DHI	2,486			****

Na základě zjištěných poznatků se jako vhodnější nosná textilie v laminátu jeví spunbond, přestože zvýšenou variabilitou mikroporézní membrány se významný vliv neprokázal. Tvrzení zakládáme na signifikantních rozdílech při záměně nosiče u hydrofilních membrán. Díky absenci pórů předpokládáme nejmenší variabilitu samotného materiálu. Obecně jsou všechny materiály dostatečně neprodyšné a vhodné pro implementaci do souvrství.



### 6.3 Hydrostatická odolnost

Na katedře hodnocení textilií Technické univerzity v Liberci bylo provedeno měření hodnocených laminátů z hlediska hydrostatické odolnosti. Přestože tato práce neprovádí analýzu mechanických vlastností pevnosti a tažnosti, můžeme již ze samotného vizuálního pozorování s jistotou tvrdit, že rozdíly v (neznámé) pevnosti laminátů mají jistě prokazatelný vliv na hydrostatickou odolnost. Ani jedno měření nebylo přerušeno prosáknutím prvních třech kapek, nýbrž v celé řadě případů došlo k protržení textilie. Subjektivně pevnější spunlace materiály dosahují řádově vyšších hodnot. Kompletně popsané výsledky měření nalezneme v tabulce č. 17.

Před zpracováním dat byla kontrolována normalita pomocí histogramů, Q-Q grafů, P-P grafů a Shapiro-Wilk testem (P-hodnota > 0,05. Normalita tedy nebyla zamítnuta). Taktéž jsme ověřovali extrémy a vybočující hodnoty pomocí krabicových grafů. Data jsou tedy vhodná pro další zpracování. Dále nalezneme naměřené hodnoty včetně statistického zpracování.

Tabulka 17 Popisná statistika – hydrostatická odolnost

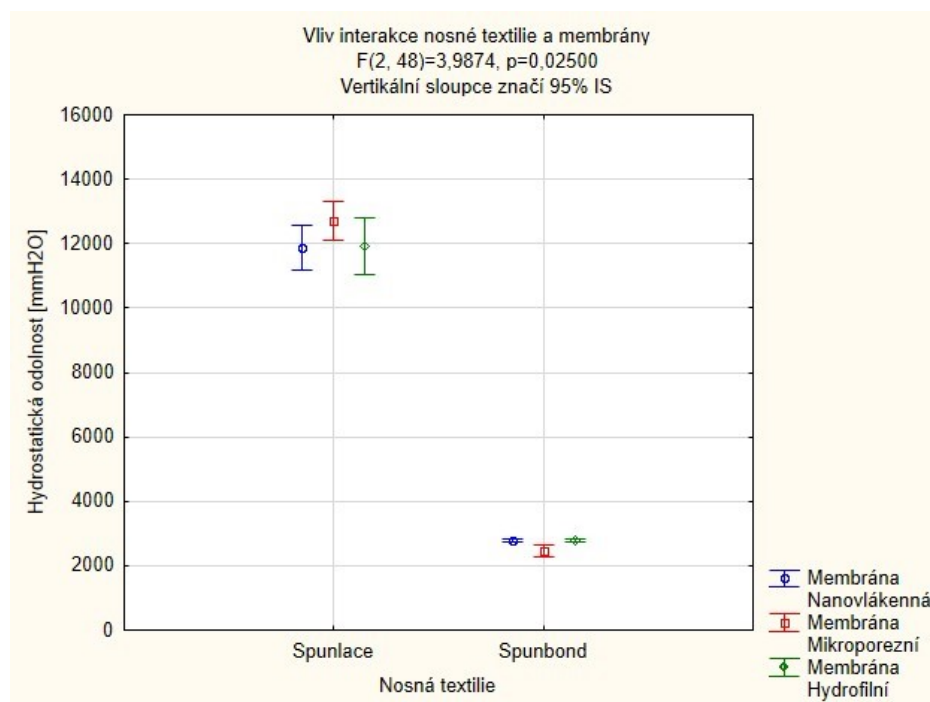
Materiál	Popisná statistika - Hydrostatická odolnost [mmH <sub>2</sub> O]					
	Průměr	Minimum	Maximum	Rozptyl	SO	CV
Spunlace/NM/Spunlace	11855,26	10778,70	12838,58	569640,44	754,75	6,4
Spunlace/MP/Spunlace	12696,95	11441,53	13858,32	593470,17	770,37	6,1
Spunlace/HF/Spunlace	11927,95	9850,73	13858,32	1546115,49	1243,43	10,4
Spunbond/NM/Spunbond	2779,37	2671,73	2865,48	4110,41	64,11	2,3
Spunbond/MP/Spunbond	2473,90	2070,08	2773,70	61519,21	248,03	10,0
Spunbond/HF/Spunbond	2780,50	2661,53	2875,68	5199,39	72,11	2,6

Všechny lamináty mají pro zamýšlené aplikace vhodné parametry hydrostatické odolnosti. S rostoucí pevností vyvstává hypotéza, že membránové textilie mohou dosahovat maximálních tříd těsnosti. Tato práce ale není zaměřena na mechanické charakteristiky.

#### Vícefaktorová analýza variace

Pro posouzení vlivu nosné textilie a použité membrány na hydrostatickou odolnost využíváme vícefaktorové analýzy rozptylu. Na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  zamítáme hypotézu  $H_0$ , interakce dvou šetřených faktorů je statisticky významná.

Grafický výstup zobrazujeme dále jako obrázek č. 29. Přijmutím alternativní hypotézy automaticky přistupujeme k post-hoc testování.



Obrázek 29 Vliv interakce membrány a nosné textilie na hydrostatickou odolnost

Multiplikativní test v tabulce č. 18 nakonec určuje jako jediný významný faktor nosnou textilii. V rámci měření jsme nenalezli limitu membrán, pouze limitu použité nosné části. První skupina materiálů má řádově nižší hydrostatickou odolnost, ovšem s ohledem na plánované aplikace je bez rizika použití jakéhokoliv testovaného laminátu.

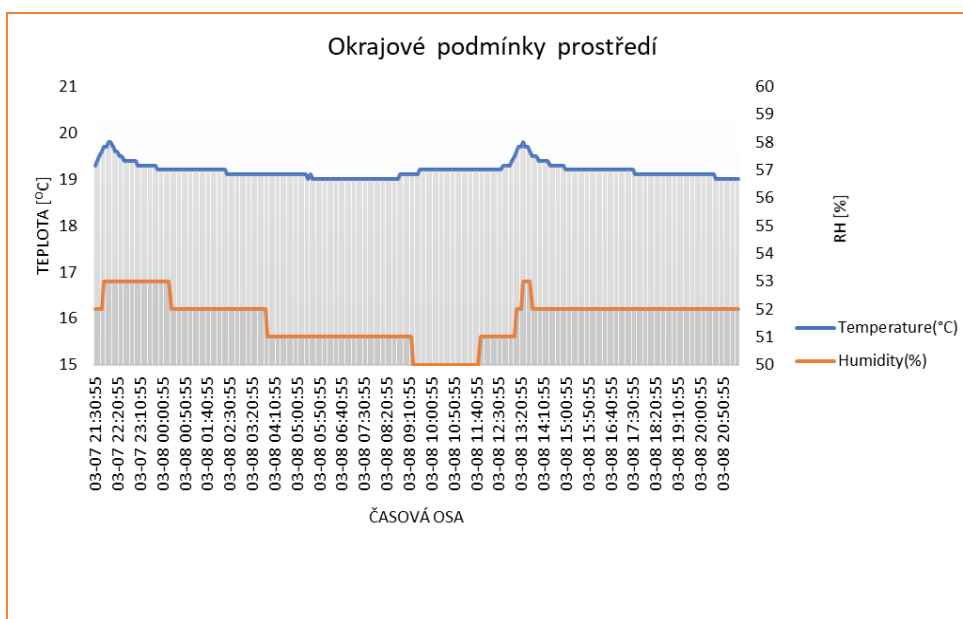
Tabulka 18 Post-hoc analýza hydrostatické odolnosti,  $\alpha = 0,05$ , Scheffeho test

Číslo buňky	Scheffe test; proměnná Hydrostatika [mmH <sub>2</sub> O] Homogenous Groups, alpha = 0,05				
	Membrána	Nosná textilie	mmH <sub>2</sub> O průměr	1	2
4	Mikroporézní	Spunbond	2473,90	****	
2	Nanovláknenná	Spunbond	2779,37	****	
6	Hydrofilní	Spunbond	2780,50	****	
1	Nanovláknenná	Spunlace	11855,26		****
5	Hydrofilní	Spunlace	11927,95		****
3	Mikroporézní	Spunlace	12696,95		****

## Vlastní metodika měření difuzních parametrů

Vlastní metodika je využita kurčení difuzních parametrů propustnosti materiálu, koeficientu difuzní vodivosti, faktoru difuzního odporu a ekvivalentní difuzní tloušťky.

Měření probíhalo v rozmezí sedmi dní od 6. 3. 2020 do 13. 3. 2020, přičemž stacionární stav nastal odhadem v rozmezí prvních hodin. Z těchto důvodů je první den vyřazen z vyhodnocení. Sběr dat o relativní vlhkosti a teplotě v místnosti provádíme a vyhodnocujeme pro každý den. Příkladem je obrázek č. 30, kde rozsah teplot minima a maxima je pouhých 0,8 °C a rozsah relativních vlhkostí pouze 3 % v rámci jednoho dne. Období měření uvádíme pro případné doložení venkovních klimatických podmínek v průběhu experimentu.



Obrázek 30 Okrajové podmínky experimentálního měření

Průměrné hodnoty teplot a částečných tlaků vodní páry pro jednotlivé dny v exteriérovém prostředí (vůči testovací sadě) zobrazuje tabulka číslo 19. Střední hodnoty teplot a relativních vlhkostí (tím i částečných tlaků) jsou si velmi blízké. Relativní vlhkost se od druhého dne liší maximálně o tři procenta, což v přepočtu znamená rozdíl maximálně 104,559 Pa částečného tlaku vodní páry ve vzduchu při rozdílech teplot 0,54 °C. Přestože se jedná o domácí experiment, tyto průměrné

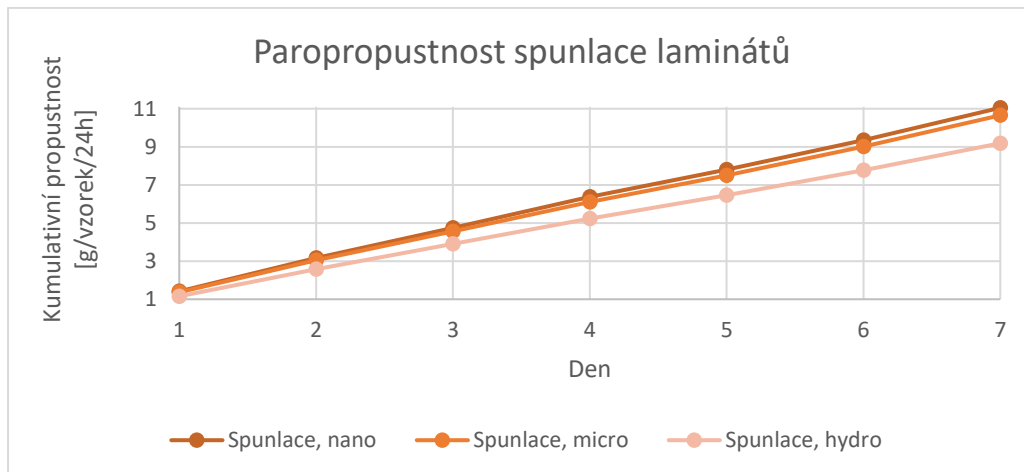
hodnoty vyhovují normě ČSN EN ISO 12572 [49], která požaduje rozdíl relativních vlhkostí maximálně tři procentní body a u teploty maximálně 0,5 °C (v případě zaokrouhlení). Tato norma také požaduje nejméně tři měření od jednoho vzorku a nejméně pět od jednoho materiálu. My pro každý vzorek máme 6 relevantních měření, což pro lamináty znamená třicet hodnot, pro deskové materiály dvacet čtyři, pro DHV osmnáct a pro XPS dvanáct.

Pro určení částečných tlaků vodní páry v testovací sadě nebyl v případě textilních materiálů využit odhad, nýbrž byla provedena sondáž pro přesnější určení.

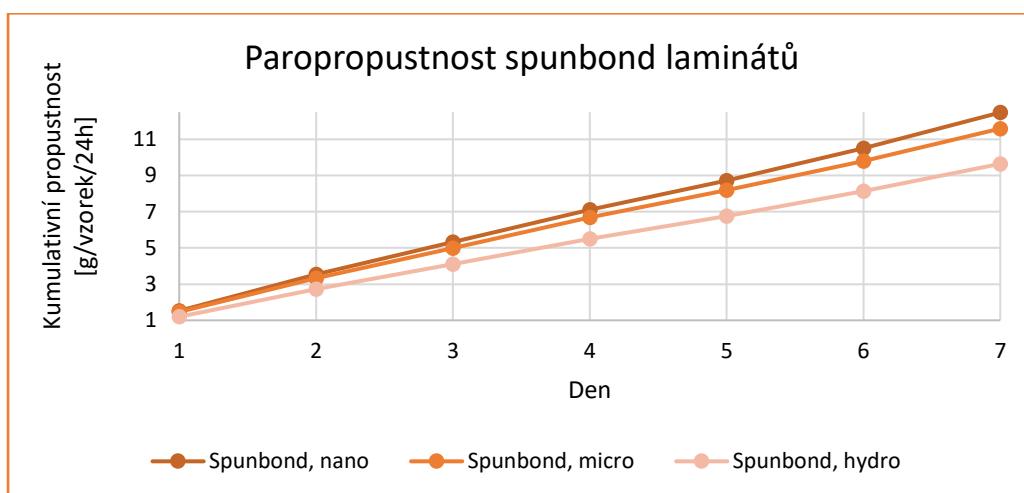
*Tabulka 19 Specifikace okrajových podmínek pro jednotlivé dny*

RH [%] - místnost - den (data zadány v setinném formátu)						
1	2	3	4	5	6	7
0,52	0,52	0,52	0,52	0,54	0,55	0,53
p" [Pa] - místnost - den						
1	2	3	4	5	6	7
2204,59	2294,24	2259,35	2241,74	2245,36	2299,27	2325,50
p [Pa] - místnost - den						
1	2	3	4	5	6	7
1146,81	1195,00	1166,47	1165,01	1208,67	1269,63	1228,40
Teplota [°C] - místnost - den						
1	2	3	4	5	6	7
18,82	19,41	19,19	19,07	19,09	19,45	19,61

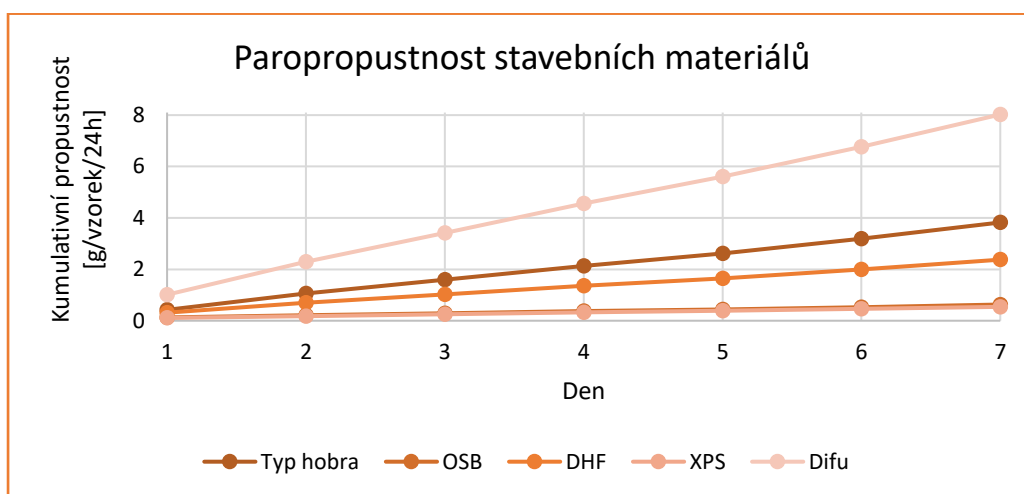
Grafy č. 31, 32 a 33 přiložené na následující stránce nám zobrazují přibližný přímkový trend kumulativní propustnosti počínaje druhým dnem. Tímto jevem můžeme difuzní tok označit za stacionární a provést hodnocení na základě průměrů pro jednotlivé hodnocené dny.



Obrázek 31 Kumulovaná propustnost spunlace laminátů



Obrázek 32 Kumulovaná propustnost spunbond laminátů



Obrázek 33 Kumulovaná propustnost stavebních materiálů

### 6.3.1 Moisture vapor transmission rate

Jako první naprosto základní údaj o hodnocených materiálech poslouží prostá propustnost vodní páry skrz měřený materiál bez definice rozdílu parciálních tlaků. Přestože se jedná o poměrně prostý údaj, od kterého se nyní poměrně často upouští, v rámci tohoto měření se podmínky měnily naprosto minimálně. Díky tomu je v tabulce 20 uvedeno poměrně signifikantní prosté hodnocení materiálů.

Propustnost měřená v intervalu 24 hodin pro každý vzorek byla přepočtena na 1 m<sup>2</sup> a popsána v tabulce č. 20. Nejpropustnějším materiálem se v rámci měření stal spunbond laminát s nanovláknennou membránou. Je třeba si ale uvědomit, že tyto lamináty jsou nezanedbatelně tenčí oproti spunlace laminátům. V případě spunlace laminátů nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl v propustnosti porézních membrán. Jejich 95% intervalové odhady se překrývají. Každý z šesti laminátů bez ohledu na technologii výroby membrány či nosného materiálu je významně propustnější při párovém porovnání jednotlivých intervalů spolehlivosti.

V případě difuzně otevřených konstrukcí se hojně využívá deskový materiál typu OSB, který dosahuje pouze 24,3 % propustnosti desky typu DHF, kterou v naší práci navrhujeme do nového složení a oproti materiálu typu Hobra pouze 14,7 % (přestože DHF i Hobra desky mají větší tloušťku).

Tabulka 20 MVTR dle vlastní metodiky

Moisture vapor transmission rate [g/m <sup>2</sup> /24h]						
Materiál	Průměr	Rozptyl	SO	95% IS -	95% IS+	CV
Nanobond	474,748	1598,938	39,987	459,817	489,679	8,423
Microbond	427,852	972,995	31,193	416,204	439,499	7,291
Nanolace	417,506	1323,037	36,374	403,924	431,088	8,712
Microlace	402,296	1126,151	33,558	389,766	414,827	8,342
Hydrobond	366,027	895,268	29,921	354,855	377,200	8,175
Hydrolace	348,044	655,213	25,597	338,486	357,603	7,355
DHV	303,759	560,057	23,666	294,922	312,596	7,791
D_typ hobra	147,275	265,754	16,302	141,188	153,363	11,069
D_typ DHF	89,373	120,829	10,992	85,268	93,477	12,299
D_typ OSB	21,720	45,772	6,765	19,194	24,247	31,148
Izolace_XPS	18,633	2,868	1,693	18,001	19,265	9,088

### 6.3.2 Součinitel difuze vodní páry materiálu

Součinitel difuze vodní páry stanovený na základě vzorce č. 5 v kapitole č. 2.4 charakterizuje schopnost materiálu propouštět molekuly vodní páry s tím, že čím vyšší hodnoty dosahuje, tím difuznější sledovaný materiál je. Tato materiálová konstanta může být určitými faktory ovlivněna, nicméně je třeba si uvědomit jaké informace nám podává. Například deskový materiál typu hobra, který obsazuje první pozici tabulky č. 21, nepropustí více vodní páry nežli laminát Nanolace, jelikož jeho tloušťka je přibližně 110x větší. Tento rozdíl ale neznačí 110x větší absolutní hodnotu hmotnosti propuštěné vodní páry! Veličina nám říká, že při stejné tloušťce materiálu bude tolikrát lépe/hůře propustnější, kolik je hodnota jejich podílu. V tomto případě je Nanolace přibližně dvakrát hůře propustný, nebo alternativně propouští přibližně stejně jako typ hobra o tl. 0,8 mm (uveden typ „hobra“, nikoliv označení výrobce Hobra).

Překvapivé může být zjištění parametrů extrudovaného polystyrenu XPS, deskového materiálu OSB a DHV. Tyto hodnoty si lépe objasníme až v následující podkapitole.

Tabulka 21 Součinitel difuze vodní páry pro měřené materiály

Součinitel difuze vodní páry [kg/(s·m·Pa)]						
Materiál	Průměr	Rozptyl	SO	95% IS -	95% IS+	CV
D_typ hobra	3,95767E-11	1,9191E-23	4,38076E-12	3,7824E-11	4,13293E-11	11,1
Nanolace	1,94298E-11	2,86539E-24	1,69275E-12	1,88241E-11	2,00356E-11	8,7
Microlace	1,8934E-11	2,49454E-24	1,57941E-12	1,83689E-11	1,94992E-11	8,3
D_typ DHF	1,6375E-11	4,05626E-24	2,01402E-12	1,55693E-11	1,71808E-11	12,3
Microbond	1,0868E-11	9,23211E-25	9,60839E-13	1,05242E-11	1,12118E-11	8,8
Nanobond	1,07591E-11	8,2122E-25	9,06212E-13	1,04348E-11	1,10834E-11	8,4
Hydrolace	6,42597E-12	2,23352E-25	4,72602E-13	6,25686E-12	6,59509E-12	7,4
Izolace_XPS	4,16437E-12	1,43245E-25	3,78477E-13	3,95023E-12	4,37851E-12	9,1
Hydrobond	3,25686E-12	7,08802E-26	2,66233E-13	3,1616E-12	3,35213E-12	8,2
D_typ OSB	2,91264E-12	8,23073E-25	9,07234E-13	2,54968E-12	3,2756E-12	31,1
DHV	1,13988E-12	7,8867E-27	8,88071E-14	1,09886E-12	1,18091E-12	7,8

### 6.3.3 Faktor difuzního odporu

Na základě vzorce č. 6 z kapitoly 2.4 byl proveden přepočítání na bezrozměrnou veličinu charakterizující kolikrát je daný materiál hůře propustný pro vodní páru nežli stejně tlustá vrstva vzduchu. Pořadí se v tomto případě nemění, přestože byla převedena charakteristika propustnosti na charakteristiku odporu. Tato hodnota je opět materiálovou konstantou, která se sice částečně určitými vlivy může měnit (nebo je materiál s variabilním odporem vyroben), nicméně o DHV budeme stále prohlašovat že má faktor difuzního odporu 166, ať má tloušťku dvě desetiny milimetru či dvě desetiny metru.

V tabulce č. 22 můžeme vidět, že standardní DHV nejsou zrovna až tak propustné, jelikož vytváří větší odpor oproti polystyrenové desce XPS veřejnosti označované jako nepropustné. Opět podstatný je rozdíl v tloušťkách, nicméně v porovnání s našimi lamináty zde nalézáme značný rozdíl. Tím je stanoven přímý důkaz, že i DHV mohou při vysoké hydrostatické odolnosti být maximálně difuzní. Tato tabulka také validuje výsledky stanoveného experimentu, jelikož získané hodnoty až na jeden případ korespondují s deklarací výrobců některých standardních materiálů, nebo se potkávají s výsledky kalibračního modelu. Jediný případ, kde jsou výsledky vychýleny, není následkem chyby či špatného měření. Jedná se o potvrzení vlivu faktoru zhotovitele a navrhovatele z teoretické části této práce.

Deska typu OSB má výrobcem deklarovaný vysoký odpor  $\mu = 250 [-]$ , ale v tomto experimentu byla naměřena průměrná hodnota pouhých 72 (intervalově 61-83, zaokrouhleno při 95% spolehlivosti). Faktor navrhovatele praví, že je třeba navrhovat konstrukce s ohledem na snížení difuzního odporu parotěsné vrstvy o slabá místa (spoje, složité detaily atp.) a faktor zhotovitele praví (zjednodušeně), že funkčnost parotěsné vrstvy je dána kvalitou provedení a použitým materiálem. Zkrátka pokud narazíme na styk detailu či použitý materiál s horšími parametry oproti funkčnímu prvku, tento funkční prvek znehodnotíme o vliv faktoru na něj působícího. Tento experiment nepřímě potvrdil vše výše uvedené. Přestože bylo provedeno vše s maximální precizností, styk dřevěného materiálu s vysokým odporem se skleněnou nádobou ve složitém kruhovém detailu za pomoci silikonového spoje



„degradoval“ difuzní vlastnosti této vrstvy o přibližně 75 %. Tomuto tvrzení přispívá i vysoká variabilita měření.

Tabulka 22 Faktor difuzního odporu měřených materiálů

Faktor difuzního odporu [-]						
Materiál	Průměr	Rozptyl	SO	95% IS -	95% IS+	CV
D_typ hobra	4,805	0,271	0,521	4,597	5,013	10,8
Nanolace	9,747	0,726	0,852	9,442	10,052	8,7
Microlace	9,995	0,668	0,817	9,702	10,287	8,2
D_typ DHF	11,657	2,272	1,507	11,054	12,260	12,9
Microbond	17,428	2,320	1,523	16,883	17,973	8,7
Nanobond	17,595	2,264	1,505	17,057	18,134	8,6
Hydrolace	29,408	4,582	2,141	28,642	30,174	7,3
Izolace_XPS	45,496	17,952	4,237	43,099	47,894	9,3
Hydrobond	58,095	22,214	4,713	56,408	59,781	8,1
D_typ OSB	72,126	727,824	26,978	61,332	82,919	37,4
DHV	165,877	167,131	12,928	159,904	171,849	7,8

#### 6.3.4 Ekvivalentní difuzní tloušťka

Posledním charakterem odporu je veličina, která nám udává, že materiál určité tloušťky vykonává difuzní odpor o určité tloušťce vzduchové vrstvy (ekvivalent). Zde již máme konkrétní hodnotu kalkulující přímo dimenzi materiálu tak, jak vidíme v tabulce č. 23. Hodnoty nejsou přímo materiálovou konstantou, jelikož se se změnou hodnoty  $d$  [m] mění. Takto dojde ke změně pořadí v reakci na tento rozměr.

Také si můžeme všimnout přímé názornosti. Díky této hodnotě můžeme snadno porovnávat, jak „tento konkrétní“ výrobek si vede oproti ostatním výrobkům. Jak tento „konkrétní výrobek“ si vede v jednotkách „tloušťky vzduchové vrstvy“. S označením materiálu dle ekvivalentní difuzní tloušťky se na trhu v dnešní době setkáváme nejčastěji.

Oproti měření na Permetestu je zde signifikantní předpoklad, že dle 95% intervalů spolehlivosti je laminát Nanobond významně difuznější z hlediska aplikace v porovnání s laminátem Microbond. Pro navrhování systémového složení není pro nás nyní důležitá analýza rozptylu. My jsme získali předpoklad, že konstrukce v následujících kapitolách dle zjištěných parametrů budou fungovat bez rizika kondenzace a měřené lamináty splňují parametry difuze, prodyšnosti a hydrostatické odolnosti.

*Tabulka 23 Ekvivalentní difuzní tloušťka měřených materiálů.*

Ekvivalentní difuzní tloušťka [m]						
Materiál	Průměr	Rozptyl	SO	95% IS -	95% IS+	CV
Nanobond	0,0038	1,05E-07	0,00032	0,00367	0,00390	8,6
Microbond	0,0041	1,28E-07	0,00036	0,00397	0,00422	8,7
Nanolace	0,0043	1,41E-07	0,00038	0,00417	0,00444	8,7
Microlace	0,0045	1,33E-07	0,00036	0,00433	0,00459	8,2
Hydrobond	0,0128	1,08E-06	0,00104	0,01241	0,01315	8,1
Hydrolace	0,0134	9,55E-07	0,00098	0,01307	0,01377	7,3
DHV	0,0332	6,69E-06	0,00259	0,03198	0,03437	7,8
D_typ hobra	0,1057	0,000131	0,01145	0,10113	0,11030	10,8
D_typ DHF	0,1749	0,000511	0,02261	0,16581	0,18390	12,9
D_typ OSB	0,8655	0,104807	0,32374	0,73599	0,99503	37,4
Izolace_XPS	0,9099	0,007181	0,08474	0,86198	0,95787	9,3

### 6.3.5 Porovnání získaných hodnot, parametry materiálů

Pro názornost celého postupu měření difuzních veličin pro dané materiály je přiložena tabulka č. 27 na následující stránce. Hodnoty faktoru difuzního odporu mezi sebou korespondují s minimálními rozdíly. Jestliže atestace materiálů od výrobců bereme jako relevantní, vypovídá to o relevanci výsledků vlastní metodiky. Jestliže je vlastní metodika relevantní, pak to naznačuje relevantnost kalibračního modelu. Jediné významné difference spatřujeme u DHV, kdy není výjimkou získání hodnot odlišných od parametrů výrobce. Velký vliv má totiž způsob skladování, stáří materiálu a kvalita vzorku. Stejně tak autor Böhm (10) ve své práci zjistil vysokou variabilitu výsledků

měření právě u DHV. Rozdíl ve výsledku měření u materiálu typu OSB jsme vysvětlili v předcházející podkapitole.

Tabulka 24 Porovnání zjištěných hodnot difuzního odporu

Faktor difuzního odporu [-]			
Materiál	Výrobce	Kalibrace	Experiment
D_typ hobra	5,00	-	4,81
Nanolace	-	9,68	9,75
Microlace	-	9,45	9,99
D_typ DHF	11,00	-	11,66
Microbond	-	11,22	17,43
Nanobond	-	14,86	17,60
Hydrolace	-	28,01	29,41
Izolace_XPS	50,00	-	45,50
Hydrobond	-	56,89	58,09
D_typ OSB	250,00	-	72,13
DHV	100,00	-	165,88

Tabulka 25 Parametry materiálů

	Nanobond	Microbond	Hydrobond	Nanolace	Microlace	Hydrolace
m <sub>v</sub> [g/m <sup>2</sup> ]	49,88	51,76	52,82	127,24	130,55	133,24
d [mm]	0,22	0,24	0,22	0,44	0,45	0,46
	DHV	D_typ hobra	D_typ DHF	D_typ OSB	Izolace_XPS	
m <sub>v</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	-	270	600	600	45	
d [mm]	0,2	22	15	12	20	

Poslední souhrn uvádí tabulka č. 25, v které uvádíme důležité materiálové parametry. Tyto hodnoty byly použity pro kalkulování veličin v předcházejících podkapitolách.

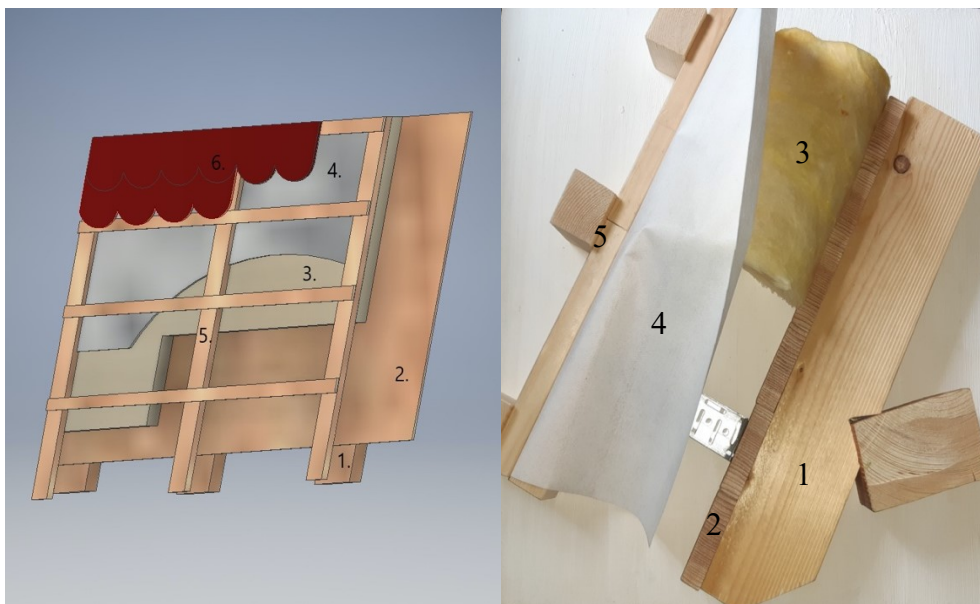
## 6.4 Návrh konstrukčního řešení

Na základě definic v teoretické části, požadavků norem českých, evropských i v Česku absentujících (nahrazeno Německou normou) a parametrů zjištěných či deklarovaných ze strany výrobců materiálů proběhlo sestavení třech odlišných konstrukcí. Difuzně otevřená Diffurooff, Difuzně regulovaná (ovšem se skvělými parametry) Hydrorooff a obvodová Wallf (spíše koncept pro obvodové řešení s provětrávanou fasádou).

Jako důkaz relevance použití membránových laminátů přikládáme parametry při použití standardního difuzního DHV.

Faktor zhotovitele řeší samotné navržení konstrukce. Jednotlivé protokoly jsou přílohou této práce.

## 6.5 3D model



Obrázek 34 3D model difuzně otevřené skladby dle návrhu řešitele, model konstrukce v řezu

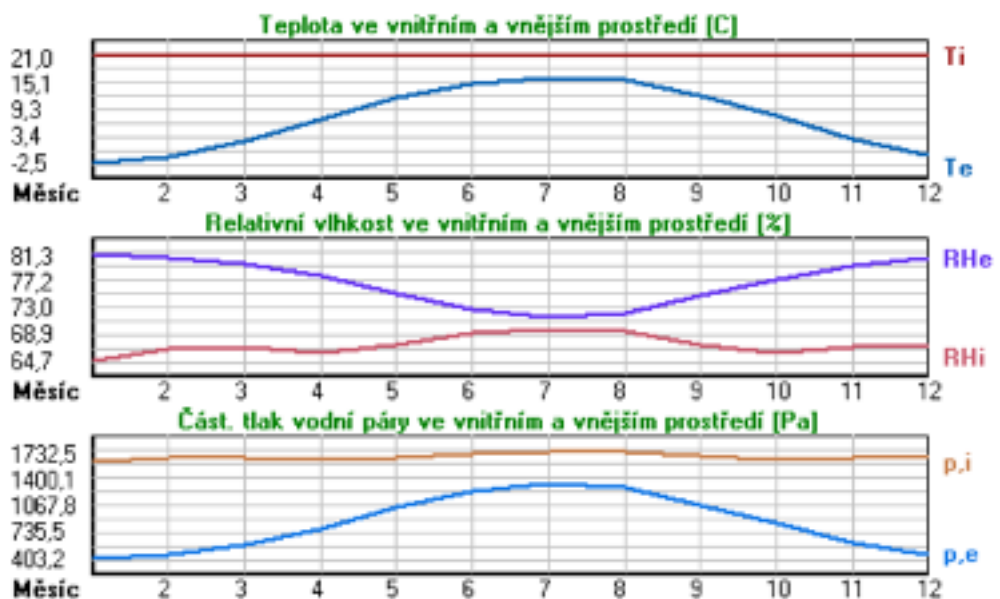
Komplexní rozbor vrstev nalézáme pro každý systém v příslušné podkapitole. Systém je pojat jako zcela difuzně otevřený s nadkrokevní izolací. Krokev |1| nesoucí otevřené deskové bednění |2|, difuzní izolant |3|, navržený laminát |4|, laťování |5| a krytinu |6|. Mezi krytinou a lamináty nalézáme provětrávanou mezeru.

### 6.5.1 Okrajové podmínky

K eliminaci faktoru navrhovatele a uživatele došlo ke zpřísnění vstupních podmínek pro testovaná řešení. Difuzi skrz celou konstrukci provádíme v oblastních podmínkách pro Liberecký kraj.

- Čtvrtý stupeň vlhkosti interiéru (vysoký stupeň – kuchyně, jídelny) dle normy ČSN EN ISO 13788 [50].
- Bezpečnostní vlhkostní přírážka 5 % dle ČSN 730540-3 [51].

Grafické znázornění v obrázku č. 35 zobrazuje konstantní teplotu v interiéru  $|T_i|$  21 °C a proměnnou teplotu exteriéru  $|T_e|$  dle příslušného měsíce. Nejmenší gradient připadá pro letní období, jelikož křivka relativních vlhkostí exteriéru  $|RH_e|$  a interiéru  $|RH_i|$  je nejvíce přiblížena (okrajový důkaz), obdobně jako křivka tlaku syté vodní páry interiéru  $|p_{i}|$  a exteriéru  $|p_{e}|$  (přímý důkaz).



Obrázek 35 Okrajové podmínky pro posouzení konstrukčního řešení

## 6.5.2 Střešní difuzně otevřená konstrukce Diffurooff

Konstrukce Diffurooff splňuje přísné požadavky norem citovaných v průběhu celé této práce, nabízí maximální dosažitelnou otevřenost vodním parám (tím i CO<sub>2</sub>) v rámci znalostí řešitele. Systém je navržen jako dvouplášťový s nadkroevní izolací s kontaktním DHI (laminátem). Tato systémová řešení umožňují záměnu některých prvků, čímž díky částečné variantnosti stoupá tržní atraktivita.

Nad pohledovou krokví je umístěné bednění tvořené z dřevěných desek typu DHF. Tyto dřevěné desky při vhodném rozmístění krokví zvládnou požadavky na statiku střešního pláště v místě této vrstvy. Materiál vykazuje skvělé difuzní parametry  $\mu = 11$  [-], což při tl. 0,018 či 0,015 a tím  $S_d = 0,198$  či 0,165 [m] při požadavku Německé normy DIN 68800 [34] znamená splnění přísného požadavku na ekvivalentní difuzní tloušťku. Skladbu takto můžeme označit za otevřenou.

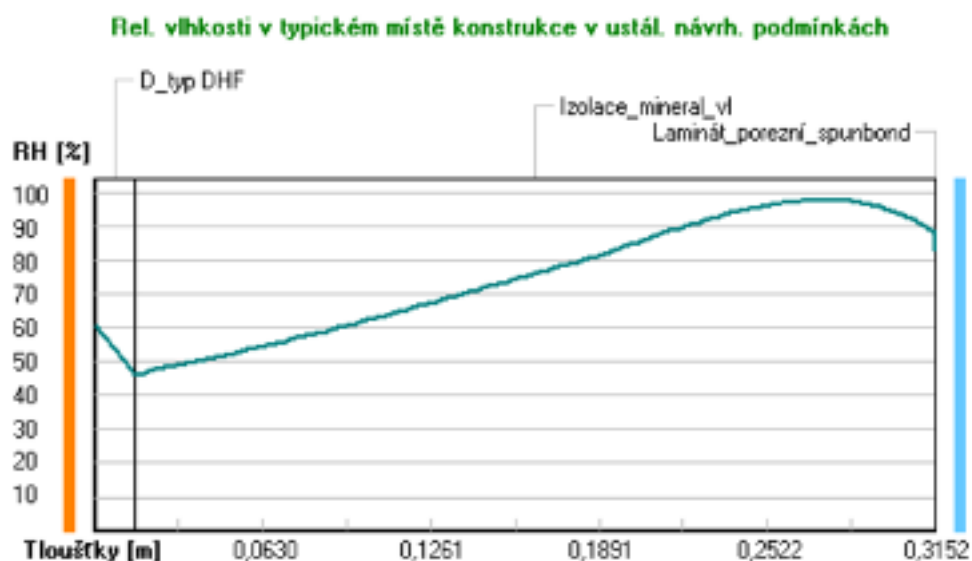
Materiál izolace je zvolen s ohledem na účel použití i difuzní parametry jako měkký výplňový s možností snadno ošetřovat různé detaily vzniklé členěním a vloženými prvky. Vhodné je například minerální vlákno. Tloušťka je variabilní s ohledem na požadavky norem a investora. Jako základní parametr uvažujeme  $d = 0,3$  [m] a  $\mu = 1$  [-].

Funkci doplňkové hydroizolační vrstvy plníme pomocí porézních laminátů (zde máme možnost vlastní volby mezi nano x micro). Pro tuto vrstvu je v návrhu variabilní možnost volit materiál limitně do  $\mu = 20$  [-] při  $d \cong 0,0002$  [m] (splňuje Microbond i Nanobond).

Nad DHV je již provětrávaná mezera, zde systém končí z hlediska posuzování. Na kontralatě je možné umístit latování či bednění pro různé typy krytiny při splnění požadavku dostatečně provětrané mezery.

Tabulka 26 Průběh teplot a tlaků na rozhraní vrstev pro Diffurooff konstrukci

rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	20.6	19.9	-14.6	-14.6
p [Pa]:	1367	935	149	138
p,sat [Pa]:	2418	2320	172	172



Obrázek 36 Průběh relativní vlhkosti skrz konstrukci Diffuroof za okrajových podmínek pro Liberecký kraj

Při sledování teplot a tlaků na rozhraní vrstev (tabulka č. 26) a průběh relativní vlhkosti skrz navrženou konstrukci (graf č. 36) přehledně vidíme, že i při velmi přísných podmínkách je kondenzace vyloučena. Tím je splněn požadavek, kdy  $M_{c,a}$  musí být minimalizováno. Zde  $M_{c,a} = 0$ , v konstrukci tím pro modelový rok nedochází k žádné kondenzaci vodní páry.

Vzhledem k tomu, že se jedná o dřevěnou konstrukci, musíme na základě normy ČSN 730540-2/Z1 [52] plnit maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Toho lze dosáhnout při co nejmenších hodnotách průběhu relativní vlhkosti za roční období v rozmezí 80-90 %. Tento výpočet neprobíhá za krajních podmínek jako můžeme vidět na obrázku č. 36, nýbrž dle průměrných hodnot pro danou oblast. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 27 a rozřizeny dle potřebných intervalů. Záměrem je vyloučit rel. vlhkost nad 90 % a minimalizovat počet dní v intervalu 80-90 %. Hraničně můžeme odhadovat, že hodnota by neměla nabývat více než 150 dní. Toto systémové řešení podmínku plní při devadesáti dnech relativní vlhkosti v rozmezí 80-90 % za přísných okrajových podmínek.

Tabulka 27 Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu skladby Diffuroooff pro roční období

Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok						
Císlo	Název	pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	D_typ DHF	---	365	---	---	---
2	Izolace_minera	---	---	275	90	---
3	Laminát_porezn	---	---	275	90	---

Při běžném provozu můžeme očekávat ještě vhodnější zobrazované hodnoty v celé této podkapitole. Návrh zcela vyhovuje všem požadavkům.

### 6.5.3 Střešní difuzně otevřená konstrukce Hydrorooff

Konstrukce Hydrorooff se od předchozího systému liší v záměně laminátu a deskového materiálu. Tuto konstrukci můžeme v českém prostředí nazvat „otevřenou“, nicméně v německých normách již neobstojí. Proto bude vhodnější zavést název typu konstrukce označením difuzně regulovaná (mezičlánek běžného názvosloví).

Systém je navržen jako dvouplášťový s nadkroevní izolací s kontaktním DHI (laminátem). Konstrukce je navržena jako systémové řešení, což umožňuje variabilitu určitých prvků. Cenová diference provedení tkví zejména v levnějším laminátu s hydrofilní membránou.

Nad pohledovou kroví je umístěné bednění tvořené z dřevěných desek typu OSB či SDK. Je potřeba vybírat desky od vhodného výrobce, jelikož variabilita difuzních parametrů se velmi liší. V našem návrhu kalkulujeme s nejnižší hranicí  $\mu = 50 [-]$  což při tl. 0,018 [m] znamená  $S_d = 0,9 [m]$ . Takové desky při vhodném rozmístění kroví zvládnou požadavky na statiku střešního pláště v místě této vrstvy. Růst difuzního odporu může vlhkostní parametry následně vylepšit, ale také naprosto vychýlit základní koncept regulovaného přístupu. Ostatně dle tepelně/vlhkostního posouzení toto není v žádném případě nutné.

Materiál izolace je zvolen s ohledem na účel použití i difuzní parametry jako měkký výplňový s možností snadno ošetřovat různé detaily vzniklé členěním a vloženými prvky. Nejvhodněji volíme minerální vlákno. Tloušťka je variabilní



s ohledem na požadavky norem a investora. Jako základní parametr uvažujeme  $d = 0,3$  [m] a  $\mu = 1$  [-].

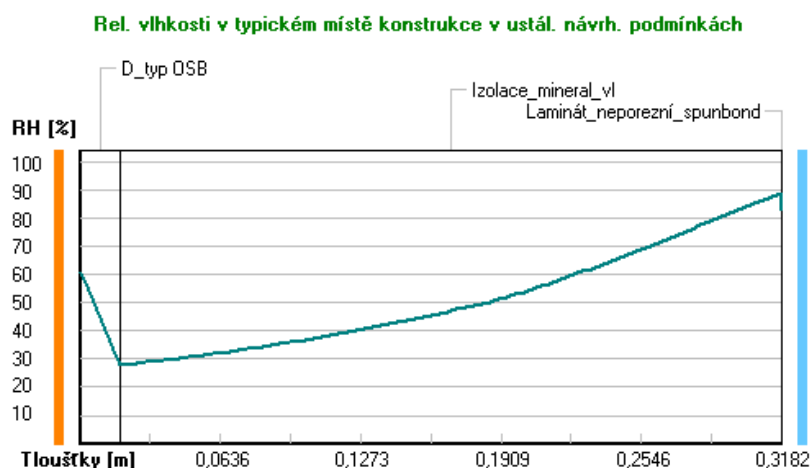
Funkci doplňkové hydroizolační vrstvy plníme pomocí neporézního laminátu s hydrofilní membránou (zde máme možnost alternativní volby mezi nano x micro, nicméně z ekonomického hlediska to postrádá smysl). Pro tuto vrstvu je v návrhu variabilní možnost volit materiál limitně do  $\mu = 60$  [-] při  $d \cong 0.0002$  [m] (splňuje Hydrobond).

Nad DHV je již provětrávaná mezera, zde systém končí z hlediska posuzování. Na kontralaťování je možné umístit laťování či bednění pro různé typy krytiny při splnění požadavku dostatečně provětrané mezery.

Tabulka 28 Průběh teplot a tlaků na rozhraní vrstev pro Hydrorooff konstrukci

rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	20.7	20.1	-14.7	-14.7
p [Pa]:	1367	524	150	138
p,sat [Pa]:	2434	2345	170	170

Na rozhraní dle tabulky č. 28 nedojde k nasycení parciálního tlaku. Průběh relativní vlhkosti skrz hodnocenou konstrukci zobrazuje obrázek č. 37. Zde vidíme, že v relativních hodnotách dosahujeme maxima 90 % před laminátem Hydrobond. Můžeme také vidět, jak OSB deska brzdí difuzi podstatně rychleji oproti DHF.



Obrázek 37 Průběh relativní vlhkosti skrz konstrukci Hydrorooff za okrajových podmínek pro Liberecký kraj

Tabulka 29 Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu skladby Hydrorooff pro roční období

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	D_typ OSB	---	365	---	---	---
2	Izolace_minera	---	---	244	121	---
3	Laminát_porezn	---	---	244	121	---

Obdobně jako v systémovém řešení Diffurooff i zde je splněn požadavek rel. vlhkosti. Návrh konstrukce hodnotíme jako úspěšný, přestože navržené okrajové podmínky jsou přísnější oproti běžným požadavkům.

#### 6.5.4 Obvodová difuzně otevřená konstrukce Wallf

Posledním navrhovaným otevřeným systémem je konstrukční řešení značené Wallf, nacházející se spíše ve stádiu konceptu. Problém obvodové konstrukce je takový, že v definovaném rozsahu řešené problematiky není možné kalkulovat vliv systematických tepelných mostů, které v návrhu mohou statické prvky rámové konstrukce způsobovat. Stejně tak oproti střešním konstrukcím je predikována větší variabilitu zejména u izolací a jejich tloušťek. Navrhované řešení je vhodné pouze pro obvodové konstrukce s provětrávanou mezerou (fasádou), jelikož kontaktní zateplovací systém by zhoršil difuzní vlastnosti natolik, že by systém byl nepoužitelný. Oproti většině obvodových konstrukcí zde dochází k montáži DHV, která řeší častý problém průniku vzduchu do vrstev konstrukce a tím k znehodnocení tepelně technických vlastností.

Záklop ze strany interiéru je tvořen z dřevěných desek typu DHF o parametrech popsaných v podkapitolách o systémech střešní konstrukce. I zde dochází ke splnění předpisů ze strany německé normy.

Materiál izolace je zvolen s ohledem na účel použití i difuzní parametry jako měkký výplňový s možností snadno ošetřovat různé detaily vzniklé členěním a vloženými prvky. Doporučujeme minerální vlákno. Tloušťka je variabilní s ohledem na požadavky norem a investora. Jako základní parametr je uvažováno s  $d = 0,2$  [m] a  $\mu = 1$  [-].

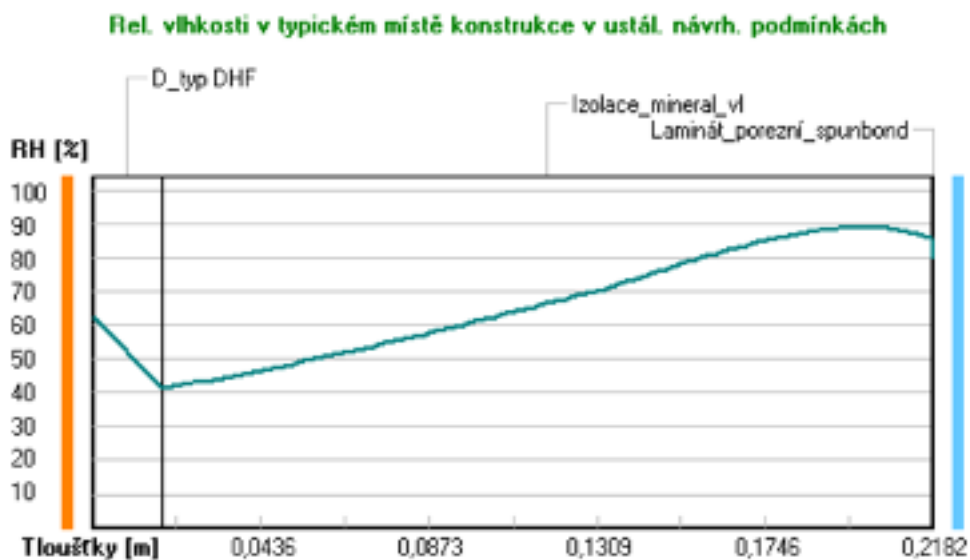
Funkci doplňkové hydroizolační vrstvy plní porézní laminát (zde je možnost volby mezi nano x micro). Pro tuto vrstvu je v návrhu variabilní možnost volit materiál limitně do  $\mu = 20$  [-] při  $d \cong 0,0002$  [m] (splňuje Microbond a Nanobond).

Za DHV je již provětrávaná mezera, zde systém končí z hlediska posuzování. Na kontralaťování je možné umístit provětrávanou skladbu fasády, při splnění požadavku dostatečně provětrané mezery.

Tabulka 30 Průběh teplot a tlaků na rozhraní vrstev pro Wallf konstrukci

rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	20.2	19.0	-14.2	-14.2
p [Pa]:	1367	761	149	138
p,sat [Pa]:	2360	2196	178	178

V tabulce č. 30 a grafu č. 38 potvrzujeme, že k nasycení vzduchu nedojde a kondenzace je vyloučena stejně jako v předchozích případech.



Obrázek 38 Průběh relativní vlhkosti skrz konstrukci Wallf za okrajových podmínek pro Liberecký kraj

S ohledem na počet dní, kdy relativní vlhkost u jednotlivých vrstev dosahuje intervalu 80-90 %, je stav této konstrukce dle tabulky č. 31. na následující straně vzorový. Z hlediska působení vlhkosti na dřevěné prvky se tato konstrukce do

sledovaného intervalu nedostane. Konstrukce je posouzena jako vyhovující a přímo difuzně otevřená.

Tabulka 31 Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu skladby Wallf pro roční období

Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok						
Číslo	Název	pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	D_typ DHF	---	334	31	---	---
2	Izolace_minera	---	---	365	---	---
3	Laminát_porezn	---	---	365	---	---

### 6.5.5 Potvrzení relevance užití membránových laminátů.

Tato podkapitola v krátkosti doloží důkaz o relevanci užití navrhovaných laminátů. Zde je stejná otevřená skladba konstrukce jako v případě 6.5.2, nicméně s použitím standardního materiálu DHV. Plný protokol pro každou hodnocenou skladbu je součástí příloh této práce.

Tento stav nejen porovnává jednotlivá řešení, ale také simuluje následující:

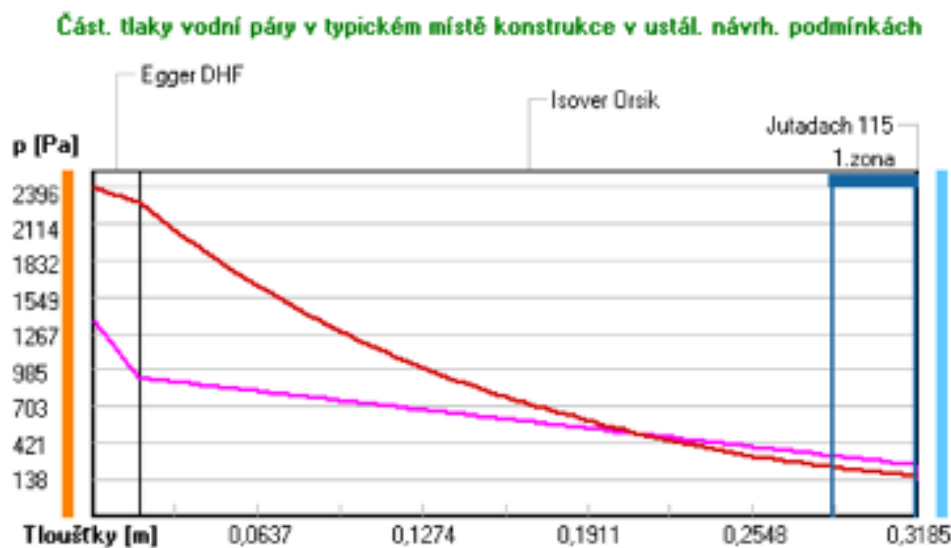
- Nárůst RH nad normové hodnoty vlivem provozovatele.
- Absenci parotěsné folie či parobrzdy (faktor zhotovitele).
- Perforaci parobrzdy/zábrany s vyřazením její funkce (faktor zhotovitele, provozovatele).
- Chybný návrh (faktor navrhovatele).

Důsledky pro stejné okrajové podmínky dle 6.5.2 - 6.5.4:

Tabulka 32 Průběh teplot a tlaků na rozhraní vrstev pro standardní DHV konstrukci

rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	20.4	19.6	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1367	923	250	138
p,sat [Pa]:	2396	2277	168	168

V tabulce č. 32 vidíme na pomezí vrstev 2–3 překročení parciálního tlaku nad hodnotu tlaku syté vodní páry, stejná situace je na rozhraní poslední vrstvy a exteriéru. Graf č. 39 ukazuje přímo zónu kondenzace. Situace potvrzuje stav vlhkostní poruchy při montáži standardní DHV. Konstrukce je nevyhovující.



Obrázek 39 Zóna kondenzace při standardním DHV

Posouzení z hlediska rizika pro dřevěné prvky je předloženo v tabulce č. 33. Ani zde nedochází k plnění normy a pro dřevěné prvky vzniká vysoké riziko. Také hodnota  $M_{c,a} > 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ , což značí, že přestože je celkové vypařitelné množství větší než zkondenzované, je konstrukce na základě normy nevyhovující.

Tabulka 33 Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu skladby se standardní DHV pro roční období

Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok						
Číslo	Název	pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	Egger DHF	---	334	31	---	---
2	Isover Orsik	---	---	153	61	151
3	Jutadach 115	---	---	153	61	151

## 6.6 Doporučení dalšího výzkumu

### 6.6.1 Doporučení k laminátům

Na základě výstupů z praktické části bude přínosné testování dalších variant nosných vrstev membránových laminátů. Zejména bude potřeba se zaměřit na mechanické vlastnosti, jelikož limitním prvkem v případě hydrostatické odolnosti byla pevnost laminátu (docházelo pouze k protržení). Vyjma změny samotného nosiče je možné vložení zpevňovací mřížky v perlinkové vazbě, která má potenciál vysokého zvýšení pevnosti s minimálním vlivem na difuzní parametry. U standardních materiálů se tento postup využívá velmi často vzhledem k jeho efektivitě a minimálním nákladům. Armovací mříž také mnohonásobně zvyšuje odolnost proti vytržení z hřebíku, bohužel za cenu ohybové tuhosti, což má neblahý vliv na zpracovatelnost materiálu při montáži okolo složitějších detailů.

V současné době jsou již v testování první vzorky spunbond textilií včetně různých modifikací.

Dalším krokem by bylo vhodné testovat odolnosti materiálu. Detergenty používané na stavbách mohou mít nepříznivý vliv na hydrostatickou odolnost, UV záření a vysoká teplota na životnost materiálů zejména do doby zakrytí. Obecné vlastnosti polymerů jsou již známy, ovšem na stavbách dochází ke kombinaci faktorů, které by bylo vhodné dále studovat. Na základě zjištěných odolností navrhnout případné stabilizace nosných vrstev (například přidáním sazí) a připravit produktový list na vhodné zpracování na stavbě.

### 6.6.2 Doporučení ke konstrukcím

Na základě navržených konstrukčních řešení by bylo vhodné provést testovací domek o jedné klimatizované místnosti a provést dlouhodobé sledování vlhkostních a tepelných opatření. Inspiraci by bylo možné čerpat v práci kolektivu autorů Štaffenové, Rybářika a Jakubčíka [53].

Jejich výzkum byl zaměřen na oblast vlhkostně-tepelného chování oken a vnějších stěn pomocí speciálních pavilonových laboratoří. Takto vytvořené

a klimatizované prostory umožňují v kontinuálním měření sledovat chování uvedených konstrukcí dlouhodobě přímo ve vrstvách různých fragmentů složených prvků v průběhu celého roku. Velkou výhodou jsou praktické výsledky oproti standardním přístupům založených na simulaci. Ve výstupech autorů vidíme časté odklonění reálných hodnot od vypočtených i přes to, že se jedná o složení regulující průnik vodních par skrz fragment. I tyto výstupy podporují uvedené vlivy ve třetí kapitole této práce.

## 7 Závěr

Velmi často je v práci odkazováno na důležitost nízkého difuzního odporu posledních konstrukčních vrstev před větranou mezerou. Pojistná hydroizolace je ve značné části konstrukčních řešení vrstvou poslední, teplota v tomto místě je již řádově nižší oproti interiéru, čímž nutnost maximalizovat paropropustnost významně roste. Toto je teoretickým i praktickým důkazem navrhovat skladbu primárně s vlhkostním a tepelně technickým přístupem a nalézat konsenzus těchto dvou parametrů. Předchozí tvrzení nalezne jistou analogii s konstrukcí materiálů pro různá průmyslová odvětví, nicméně tato práce nepopírá další požadované vlastnosti. Jediný důvod, proč nejsou zdůrazňovány stejně intenzivně, je velmi prostý. Nemají být totiž proměnnou, nýbrž standardem již z účelu použití.

Laboratorní měření na přístroji Permetest poukázalo na výborné hodnoty odporových charakteristik. Rozdíl mezi lamináty s nanovláknennou a mikroporézní membránou sice nebyl statisticky významný, nicméně jejich výsledky byly lepší v porovnání se standardními materiály nejméně o sedmkrát  $R_{et}$ . Podobně si stály i lamináty s hydrofilní membránou. Zjištěný odpor byl přibližně o sedmkrát  $R_{et}$  horší v porovnání s porézními lamináty, stále ale podstatně lepší než všechny měřené standardní difuzní folie, které se pod hodnotu dvacetkrát  $R_{et}$  nedostanou. Hodnocená paropropustnost byla významně ovlivněna typem nosné textilie, což bylo prokázáno u porézních membránových laminátů. Pokud bychom přičetli dodatečnou informaci o ceně a náročnosti výroby, byl by mikroporézní laminát se spunbond textilií na základě testu nejvhodnější. U technologie spunlace je totiž výrazná technologická spotřeba vody a mikroporézní membrána je přibližně o 35 % levnější nežli nanovláknenná. Hydrofilní dokonce téměř o polovinu.

Měřením různých vzorků standardních stavebních textilií s přiřazenou hodnotou ekvivalentní difuzní tloušťky na Permetestu byl stanoven kalibrační model pro predikci „stavebních“ odporových veličin. Předpokládám, že rychlé měření na tomto malém skin modelu má velký potenciál pro stavební sektor a relevantní funkce pro převod veličin usnadní spousty práce se složitými experimenty.



Požadavek vzduchotěsnosti byl splněn u všech analyzovaných materiálů. V praxi je vyloučena situace, kdy by došlo k tak vysokému tlakovému spádu, který jsme při měření museli pro získání měřitelných hodnot vytvořit. Kombinace spunbond netkané textilie a hydrofilní membrány měla ze všech materiálů nejlepší výsledky.

Podobně je možné hodnotit hydrostatickou odolnost. Všechny lamináty vydrží dostatečnou výšku vodního sloupce, ale díky spunlace netkané textili se laminát dostává dokonce nad deset metrů. Prozatím nebyla nalezena limita pro testované konfigurace, jelikož test pokaždé skončil destrukcí vzorku. Pokud by bylo možné nadále zvyšovat mechanické vlastnosti, hodnoty by dozajista stoupaly. Otázkou je, jestli toto je vůbec potřeba a jaké využití by bylo nalezeno. Tato oblast si nadále zaslouží pozornost, jelikož bude třeba najít konsenzus s dalšími mechanickými charakteristikami, jako je například odolnost proti vytržení z hřebíku.

Hodnotné výsledky přineslo experimentální testování vlastní metodikou. Díky vhodné volbě období, připravenosti a pečlivosti se podařilo vytvořit vhodné podmínky pro hodnocení difuzních vlastností pro textilní i deskové materiály, které by obstálo i před náležitou normou. Zjištěním hmotnostních úbytků testovací sady při stacionárním difuzním toku a kontinuálním měřením okrajových vlivů jsem získal hodnoty velice blízké atestům od výrobců standardních materiálů. Toto zjištění zvýšilo hodnověrnost hodnocení laminátů, které v žádné certifikované laboratoři doposud neproběhlo. Tento experiment byl také jediný, při kterém byly prokázány statisticky významné rozdíly mezi nanovláknennou a mikroporézní membránou.

Získané materiálové konstanty poukázaly na vysoký rozdíl mezi standardní DHV a všemi měřenými lamináty. Zástupce standardních materiálů byl přibližně 168x hůře paropropustný v porovnání se stejně silnou vrstvou vzduchu, oproti tomu lamináty v této relativní veličině nabývaly na hodnotách v intervalu 10-18 v zastoupení porézních membrán a 30-60 v případě hydrofilní membrány. V okamžiku, kdy jsme tyto konstanty rozšířili o vliv síly ( $d$ ) materiálu, jsme mohli stanovit pořadí dle odporu vyjádřené ekvivalentní difuzní tloušťkou.

Obecně většina testů, ve kterých jsme zkoumali vliv materiálového složení, poukázala na jeho statisticky významný vliv. Pro plánované aplikace se jeví vhodnější

využívat laminátů se spunbond nosnou textilií. K tomuto závěru vedou faktory měřené v praktické části, i ty neměřené, jako jsou cena, náročnost a dostupnost výroby. Ostatně tyto ekonomické faktory byly výše zmíněny.

Získané charakteristiky byly použity ke stanovení limit pro jednotlivé vrstvy a poskládány do třech odlišných systémových řešení. Autorova systémová řešení s označením Diffurooff, Hydrorooff a Wallf byla posouzena z tepelně technického a vlhkostního chování za velmi přísných podmínek vždy v souladu s konkrétní normou. Diffurooff získala označení nové difuzně otevřené konstrukce, která splňuje požadavky přísné německé normy, která v tuzemském prostředí chybí. Tato norma podmiňuje první vrstvu konstrukce v ekvivalentních hodnotách  $S_d = 0,2 \text{ m}$  maximálně. V případě Diffurooff a Wallf nabývá první vrstva hodnot v intervalu  $0,165 - 0,198$ . Kondenzace byla pro definované okrajové podmínky vyloučena a stejně tak nedošlo k ohrožení dřevěných prvků vlivem překročení přípustné hmotnostní vlhkosti. Hydrorooff využívá hydrofilní membrány ve svém laminátu, která je v porovnání s nanovláknennou membránou a mikroporézní membránou levnější téměř o padesát procent při stále vhodných parametrech, čímž si získala své místo v našem návrhu. Tato konstrukce by označení difuzně otevřeného řešení pro německý trh nezískala, stále ale reguluje průnik v minimální možné míře, což bylo naším primárním požadavkem. Poslední Wallf byl stanoven jako koncept svislého systémového řešení. Posouzení Hydrorooff a Wallf systému také vyloučilo kondenzaci a ohrožení dřevěných prvků stejně jako tomu bylo u systému Diffurooff. Důkazem o relevanci použití membránových laminátů byla poslední simulace, která demonstrovala vlhkostní chování při použití standardní doplňkové hydroizolační vrstvy. V takovém případě došlo ke vzniku kondenzačních zón a ohrožení dřevěných prvků.

Cílem celé práce byla implementace membránových laminátů do stavební konstrukce, přičemž na základě ověřených vlastností byl vybrán vhodný účel a sestava. Díky získaným výsledkům bylo možné konstruovat nejen modely prakticky nových konstrukčních řešení, ale i skutečně difuzně otevřené skladby, které nenarazí ani na striktní požadavky zahraničních norem. Na základě posouzení skladby se není třeba odkazovat na marketingové nástroje, ale mohou představit funkční model. Prozatím na teoretické rovině, jelikož doposud nebyl vyroben prototyp navrženého řešení.

Vytvořené konstrukční systémy s implementovanou membránovou textilií potvrzují na teoretické rovině svoji funkčnost, zjednodušují své souvrství a vytvářejí zdravější prostředí bez vlhkosti a plísně. Vlivy navrhovatele, zhotovitele a provozovatele navržené skladby vylučují či minimalizují. Hlavní hypotéza, zdali je možné za stávajících technologických možnostech navrhovat zcela otevřené konstrukce bez rizika vlhkostní havárie, je díky implementaci membránových laminátů potvrzena.

## Bibliografie

- [1] Nafigate a.s. O nanovlákněch. *nafigate.com*. [Online] [Citace: 21. Duben 2019.] <https://www.nafigate.com/cs/o-nanovlaknech>.
- [2] Ebbing, Darrel D. a Gammon, Steven D. *General Chemistry*. 9. vydání. Boston : Cengage Learning, 2007. ISBN 978-0-618-85748-7.
- [3] Lionetto, Francesca, a další. A methodology to orient carbon nanotubes in a thermosetting matrix. *Composite Science and Technology*. 2013, Sv. 96, 47-55.
- [4] Spiegel, Colleen. FuelCellStore. *Fuelcellstore*. [Online] 5. 8 2018. [Citace: 2. 5 2019.] <https://www.fuelcellstore.com/blog-section/carbon-nanotubes>.
- [5] Marek, Pavel. Nanotextilie v průmyslové praxi. *MM Průmyslové spektrum*. 2009, Sv. I - 04.02.2009, 28.
- [6] Feldman, Dorel. *Polymer Nanocomposites in Building, Construction*. 51, 2014, Sv. III. 1520-5738.
- [7] Knížek, Roman. *Teoretická a experimentální analýza struktury a vlastností polopropustných membrán pro oděvní účely*. Disertační práce. Liberec, 2016 [cit. 5. 5 2019]. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/25894/Disertacni\\_prace\\_Knizek.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/25894/Disertacni_prace_Knizek.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Liberec : Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, Školitel Oldřich Jirsák.
- [8] Mayerová, Karolína. *Využití nanovlákněné membrány pro ochranu dřevostaveb proti vlhkosti*. Diplomová práce. Liberec, 2016 [cit. 5. 5 2019]. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/124577/V\\_10516\\_T.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/124577/V_10516_T.pdf?sequence=4&isAllowed=y). Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, Vedoucí práce Ludmila Fridrichová.
- [9] Linková, Michaela. *Nová metodika měření hydro-zábrany na stavební kompozit*. Diplomová práce. Liberec, 2018 [cit. 5. 5 2019]. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/152421/Diplomova\\_prace\\_Linkova.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/152421/Diplomova_prace_Linkova.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, Vedoucí práce Ludmila Fridrichová.
- [10] Böhm, František. *Aplikace nanovlákněné membrány do vrstev stavební konstrukce*. Bakalářská práce. Liberec, 2018 [cit. 5. 5 2019]. Dostupné z: [https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/26483/BohmF\\_BP\\_final\\_pdfa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/26483/BohmF_BP_final_pdfa.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Technická univerzita v Liberci, fakulta textilní, Vedoucí práce Ludmila Fridrichová.
- [11] Krňanský, Jan. *Perspektivy využití nanotextilií na bázi polymerů ve stavebnictví: Prospects of using polymer based nanotextiles in building industry*. Praha : České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04273-1..
- [12] Anon. *tzb.fsv.cvut.cz. Web CVUT*. [Online] 2013. [Citace: 10. Listopad 2019.] <http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/14/vlhky-vzduch.pdf>.

- [13] Hejhálek, J. Stavebnictví3000. *Stavebnictví3000.cz*. [Online] 18. Prosinec 2010. [Citace: 11. Listopad 2019.] <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-veliciny-hodnoty-a-jednotky>.
- [14] Společnost Hoffmann. stavební systém velox. *Hoffmann.cz*. [Online] [Citace: 13. 12 2019.] <https://hoffmann.cz/stavebni-system-velox>.
- [15] Lallanilla, Marc. News. *Livescience*. [Online] 11. Únor 2014. [Citace: 29. 12 2019.] <https://www.livescience.com/43269-what-is-dew-point.html>.
- [16] ČSN 73 0540. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha : Centrum technické normalizace, Fakulta stavební ČVUT v Praze,, 2011.
- [17] ČSN EN ISO 9346. Tepelně vlhkostní chování budov a stavebních materiálů - Fyzikální veličiny pro přenos hmoty. Evropská norma : autor neznámý, 2008-12-01.
- [18] Kaňka, Jan a Svoboda, Zbyněk. *Stavební fyzika 31*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004, 2004. ISBN: 80-01-02861-5 .
- [19] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. Liberec : Technická univerzita, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [20] Mallard Creek Polymers. Explaining Moisture Vapor Transmission Rate. *mcpolymers.com*. [Online] 29. Leden 2019. [Citace: 28. 12 2019.] <https://www.mcpolymers.com/library/explaining-moisture-vapor-transmission-rate>.
- [21] IzolaceInfo. Rosný bod a kondenzace vodních par ve zdivu. *Izolace-info*. [Online] 1. Leden 2013. [Citace: 28. Prosinec 2019.] <https://www.izolace-info.cz/aktuality/9208-rosny-bod-a-kondenzace-vodnich-par-ve-zdivu-a.html#.XgjjgBdKiu4>.
- [22] Solař, Jaroslav. *Pozemní stavitelství IV*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita : VŠB-TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1475-9.
- [23] TZB-Info. Druhy dřevostaveb. *TZB-info.cz*. [Online] Datum zveřejnění neuveden. [Citace: 30. 12 2019.] <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/355-druhy-drevostaveb>.
- [24] Estav. Konstrukční systémy dřevostaveb: Lehký a těžký dřevěný skelet. *estav.cz*. [Online] Datum zveřejnění neuvedeno. [Citace: 30. Leden 2019.] <https://www.estav.cz/cz/3415.konstrukcni-systemy-drevostaveb-lehky-a-tezky-dreveny-skelet>.
- [25] Kaštanová, Andrea. Co je dřevostavba a jaké jsou její druhy. *drevostavby.cz*. [Online] 3. Prosinec 2014. [Citace: 4. Leden 2020.] <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/jak-na-drevostavbu/co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy/2987-sendvicove-panely>.
- [26] Rypl, Jan. Problematika a hrůzy při provádění parozábran v zateplených šikmých střeších. *tzb-info.cz*. [Online] 03. Červenec 2006. [Citace: 04. Leden 2020.] <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/3397-problematika-a-hruzy-pri-provadeni-parozabran-v-zateplenyh-sikmyh-strechach>.
- [27] Gertis, K., Erhorn. *Wohnfeuchte und Wärmebrücken*. 1985. HLH 36, 3.
- [28] Vyhláška č. 268/2009 Sb. *Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. 26.08.2009.

- [29] Solař, Jaroslav. Řešení problematiky povrchové kondenzace vodní páry. <https://stavba.tzb-info.cz>. [Online] 7. Červen 2010. [Citace: 12. Leden 2020.] <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/6541-reseni-problematiky-povrchove-kondenzace-vodni-pary>.
- [30] Mařík, Radim. Kondenzace ve skladbě – nejčastější nemoc obytných podkrovní. [www.novinky.cz](http://www.novinky.cz). [Online] 13. Listopad 2014. [Citace: 12. Leden 2020.] <https://www.novinky.cz/bydleni/nemoci-nemovitosti/clanek/kondenzace-ve-skladbe-nejcastejsi-nemoc-obytnych-podkrovi-254070>.
- [31] Kokta, Robert. Odstranění projevů kondenzace vodní páry ve dvouplášťové střeše s lehkými plášti. <https://atelier-dek.cz>. [Online] 2014. [Citace: 12. Leden 2020.] <https://atelier-dek.cz/odstran%C4%9Bn%C3%AD-projev%C5%AF-kondenzace-vodn%C3%AD-p%C3%A1ry-ve-dvoupl%C3%A1%C5%A1%C5%A5ov%C3%A9-st%C5%99e%C5%A1e-s-lehk%C3%BDmi-pl%C3%A1%C5%A1ti-638>.
- [32] Široká, Helena. Difuzně otevřená, či difuzně uzavřená stavba? [www.stavebnictvi3000.cz](http://www.stavebnictvi3000.cz). [Online] 15. Říjen 2018. [Citace: 04. Leden 2020.] <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuzne-otevrena-ci-difuzne-uzavrena-stavba>.
- [33] CAD detail®. Obvodová stěna dřevěná - foukaná celulózová izolace CLIMATIZER PLUS tl. <https://www.cad-detail.cz>. [Online] CAD detail®. [Citace: 17. Leden 2020.] [https://www.cad-detail.cz/pa\\_det/20700222.htm](https://www.cad-detail.cz/pa_det/20700222.htm).
- [34] DIN 68800-2:2012-02. Wood preservation - Part 2: Preventive constructional measures in buildings. *Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau*. Německo : autor neznámý, 2012/02.
- [35] Krňanský, Jan. *Difúzně otevřené konstrukce dřevostaveb. Diffusion - opened facade walls of wooden buildings*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN978-80-01-04201-4.
- [36] Českýráj. Hydrofilní, neporézní membrána. *Český ráj outdoor*. [Online] [Citace: 24. Únor 2020.] <https://www.ceskyraj.com/slovnicek-pojmu/hydrofilni-neporezni-membrana>.
- [37] Nanomembrane. Technologie NANOMEMBRANE. *Nanomembrane*. [Online] [Citace: 24. Únor 2020.] <http://www.nanomembrane.cz/cs/technologie>.
- [38] Juta, a.s. JUTADACH. [www.juta.cz](http://www.juta.cz). [Online] Juta, a.s., 2010. [Citace: 18. Leden 2020.] <http://www.juta.cz/vyrobní-programy/strechy-a-steny/vyroby/exterier-sikme-strechy/jutadach.html>.
- [39] Rochla, Jan. *Stavební tabulky*. Praha : SNLT - Nakladatelství technické literatury, 1987. 04-731-87.
- [40] Skupina EGGER 2020. <https://www.egger.com>. [Online] [Citace: 20. Leden 2020.] [https://www.egger.com/shop/cs\\_CZ/](https://www.egger.com/shop/cs_CZ/).
- [41] © 2020 STEICO SE . STEICO nabídka materiálů. [www.steico.com](http://www.steico.com). [Online] [Citace: 20. Leden 2020.] <https://www.steico.com/cz/produkty/prehled/>.
- [42] ČSN EN ISO 811. Textilie - Stanovení odolnosti proti pronikání vody - Zkouška tlakem vody. 1.12.2018.

- [43] Anon. Testování hypotéz ve statistice. [Online] [Citace: 2. Leden 2020.]  
<https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/hypotezy.htm>.
- [44] Kubíková, Jana, Beránková, Petra a Dyntar, Tomáš. *Základní kurz statistiky I s programem STATISTICA*. Praha : StatSoft, 2008. ISBN 978-80-903630-3-8.
- [45] Brabenec, Vladimír. *Statistika a biometrika: přednášky a cvičení pro AF a ITS*. Praha : Credit, 2004. ISBN 80-213-1138-X.
- [46] Anon. Analýza rozptylu (ANOVA). [Online] [Citace: 3. Leden 2020.]  
<https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/ANOVA.htm>.
- [47] (800819), ČSN EN ISO 11092. Textilie - Fyziologické účinky - Měření tepelného odporu a výparného odporu za stálých podmínek. místo neznámé : Textilní zkušební ústav, Brno, Březen 2015.
- [48] Knížek, Roman. *Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity*. Liberec : Technická univerzita v Liberci. Vyd. 1..
- [49] ČSN EN ISO 12572. Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení vlastností prostupu vodní páry - Misková metoda. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 12.11.2018.
- [50] 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. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [51] ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [52] ČSN 730540-2:2011/Z1. Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky - změna. 2012.
- [53] Staffenova, Daniela., Ján, Rybarik a Jakubcik, Miroslav. Intention, principle, outputs and aims of the experimental pavilion research of building envelopes including windows for wooden buildings. *Civil and Environmental Engineering*. 13 (1), 42-51. [Online] 2017. [Citace: 17. Únor 2019.]  
<https://content.sciendo.com/view/journals/cee/13/1/article-p42.xml>.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Schématické znázornění SWNT (vlevo) – MWNT (vpravo) [4].....	15
Obrázek 2 Porovnání nanovláknenné struktury s velikostí bakterie a molekul CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> [1].....	16
Obrázek 3 Třívrstvý laminát – řez [7] .....	18
Obrázek 4 Složení dle Mayerové - série 1 [8] .....	20
Obrázek 5 Složení dle Mayerové - série 2 [8] .....	20
Obrázek 6 Vliv interakcí na paropropustnost dle návrhu Mayerové [8] .....	20
Obrázek 7 Nanovláknenný filtr před filtrací (vlevo) a po filtraci (vpravo) [11] ..	23
Obrázek 8 Závislost p" na teplotě vzduchu .....	25
Obrázek 9 Průběh teploty v konstrukci Velox tloušťky 340 mm [14] .....	26
Obrázek 10 Konstrukční řešení střešního pláště bez tepelné izolace [22] .....	30
Obrázek 11 Konstrukční řešení střešního pláště s mezikrokevní izolací [22]....	31
Obrázek 12 Konstrukční řešení střešního pláště s mezikrokevní a podkrokevní izolací [22] .....	31
Obrázek 13 Konstrukční řešení střešního pláště s nadkrokevní izolací [22].....	32
Obrázek 14 Konstrukční řešení střešního pláště s podkrokevní izolací [22] .....	32
Obrázek 15 Konstantní teplota a zvýšení relativní vlhkosti – Mollieruv h-x diagram [29].....	37
Obrázek 16 Zvýšení teploty a změna relativní vlhkosti – Mollieruv h-x diagram [29].....	37
Obrázek 17 Špatné napojení parozábrany, následné poškození dřevěných prvků [30].....	40



Obrázek 18 Kondenzace na spodní straně pláště vlivem porušené parotěsné vrstvy [31].....	41
Obrázek 19 Detail otevřené skladby obvodové konstrukce [33].....	42
Obrázek 20 Skladba Diffuwall® [35] .....	44
Obrázek 21 Difuze skrz jednotlivé membrány [37] .....	46
Obrázek 22 Schéma přístroje Permetest [19] .....	51
Obrázek 23 Schéma experimentu .....	57
Obrázek 24 Chyba prvního a druhého druhu [43].....	59
Obrázek 25 Vliv interakce nosné textilie a membrány.....	63
Obrázek 26 Regresní model závisle proměnné měřené pomocí skin modelu PERMETEST.....	66
Obrázek 27 Vliv interakce nosné textilie a použité porézní membrány na prodyšnost .....	69
Obrázek 28 Jednofaktorová analýza rozptylu neporézní membrány.....	71
Obrázek 29 Vliv interakce membrány a nosné textilie na hydrostatickou odolnost .....	73
Obrázek 30 Okrajové podmínky experimentálního měření .....	74
Obrázek 31 Kumulovaná propustnost spunlace laminátů .....	76
Obrázek 32 Kumulovaná propustnost spunbond laminátů.....	76
Obrázek 33 Kumulovaná propustnost stavebních materiálů .....	76
Obrázek 34 3D model difuzně otevřené skladby dle návrhu řešitele, model konstrukce v řezu .....	83
Obrázek 35 Okrajové podmínky pro posouzení konstrukčního řešení.....	84

Obrázek 36 Průběh relativní vlhkosti skrz konstrukci Diffuroof za okrajových podmínek pro Liberecký kraj .....	86
Obrázek 37 Průběh relativní vlhkosti skrz konstrukci Hydrorooff za okrajových podmínek pro Liberecký kraj .....	88
Obrázek 38 Průběh relativní vlhkosti skrz konstrukci Wallf za okrajových podmínek pro Liberecký kraj .....	90
Obrázek 39 Zóna kondenzace při standardním DHV .....	92

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Zdroje vodní páry a množství produkce [27] .....	36
Tabulka 2 Závislost podílu plochy kotevních prvků na hodnotě součinitele podmínek působení "z" [22].....	38
Tabulka 3 Souhrn vrstev laminátu.....	47
Tabulka 4 Porovnání difuzních parametrů tepelných izolací [39] .....	48
Tabulka 5 Parametry sestav pro vlastní experiment.....	56
Tabulka 6 Popisná statistika spunlace materiálů – výparný odpor.....	62
Tabulka 7 Popisná statistika spunbond laminátů – výparný odpor .....	62
Tabulka 8 Post-hoc test – výparný odpor, $\alpha = 0,05$ , Turkey Unequal N HSD .	64
Tabulka 9 Klasifikace paropropustnosti dle výparného odporu.....	65
Tabulka 10 MVTR dle výparného odporu .....	65
Tabulka 11 ANOVA pro regresní model, výparný odpor .....	67
Tabulka 12 Výsledky regrese, výparný odpor - významnost koeficientů .....	67
Tabulka 13 Predikce ekvivalentní difuzní tloušťky a faktoru difuzního odporu na základě výsledku regresního modelu .....	68
Tabulka 14 Popisná statistika – prodyšnost.....	69
Tabulka 15 Post-hoc test – prodyšnost u porézních membrán, $\alpha = 0,05$ , Turkey Unequal N HSD .....	70
Tabulka 16 Post-hoc test – prodyšnost u neporézních membrán, $\alpha = 0,05$ , Turkey Unequal N HSD .....	71
Tabulka 17 Popisná statistika – hydrostatická odolnost.....	72

Tabulka 18 Post-hoc analýza hydrostatické odolnosti, $\alpha = 0,05$ , Scheffeho test	73
Tabulka 19 Specifikace okrajových podmínek pro jednotlivé dny .....	75
Tabulka 20 MVTR dle vlastní metodiky .....	77
Tabulka 21 Součinitel difuze vodní páry pro měřené materiály .....	78
Tabulka 22 Faktor difuzního odporu měřených materiálů .....	80
Tabulka 23 Ekvivalentní difuzní tloušťka měřených materiálů. ....	81
Tabulka 24 Porovnání zjištěných hodnot difuzního odporu.....	82
Tabulka 25 Parametry materiálů.....	82
Tabulka 26 Průběh teplot a tlaků na rozhraní vrstev pro Diffurooff konstrukci	85
Tabulka 27 Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu skladby Diffurooff pro roční období .....	87
Tabulka 28 Průběh teplot a tlaků na rozhraní vrstev pro Hydrorooff konstrukci .....	88
Tabulka 29 Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu skladby Hydrorooff pro roční období .....	89
Tabulka 30 Průběh teplot a tlaků na rozhraní vrstev pro Wallf konstrukci.....	90
Tabulka 31 Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu skladby Wallf pro roční období.....	91
Tabulka 32 Průběh teplot a tlaků na rozhraní vrstev pro standardní DHV konstrukci.....	91
Tabulka 33 Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu skladby se standardní DHV pro roční období .....	92

## Seznam příloh

Příloha 1 Vstupní data pro statistické vyhodnocení.....	109
Příloha 2 Protokol Diffurooff.....	117
Příloha 3 Protokol Hydrorooff.....	122
Příloha 3 Protokol Wallf.....	127
Příloha 4 Protokol Konstrukce se standardní DHV.....	132

## Vstupní data pro statistické vyhodnocení

Tabulka – přílohy 1 Výparný odpor Spunlace laminátů

Laminát	Spunlace/NM/Spunlace	Spunlace/MP/Spunlace	Spunlace/HF/Spunlace
Měření	Ret [Pa.m <sup>2</sup> .W <sup>-1</sup> ]	Ret [Pa.m <sup>2</sup> .W <sup>-1</sup> ]	Ret [Pa.m <sup>2</sup> .W <sup>-1</sup> ]
1	4,0	4,0	8,8
2	4,1	3,2	9,3
3	4,3	3,1	7,1
4	3,2	3,5	8,2
5	2,4	4,0	12,5
6	4,1	3,9	7,8
7	3,9	3,8	10,9
8	3,8	3,5	10,5
9	3,9	4,4	10,4
10	4,6	3,7	9,6
11	2,9	3,9	9,5
12	4,1	4,2	9,8
13	3,6	4,1	9,8
14	3,1	3,6	11,7
15	4,5	4,4	12,1
16	2,9	3,2	11,3
17	3,9	3,2	9,8
18	3,6	3,2	10,1
19	3,7	3,3	7,9
20	3,8	3,6	12,6
21	3,6	3,1	11,6
22	2,4	3,4	11,2
23	2,6	2,8	12,6
24		3,0	13,1
25		3,7	13,0
26		2,9	
27			
28			
29			

Tabulka – přílohy 2 Výparný odpor Spunbond laminátů

Laminát	Spunbond/NM/Spunbond	Spunbond/MP/Spunbond	Spunbond/HF/Spunbond
Měření	Ret [Pa.m <sup>2</sup> .W <sup>-1</sup> ]	Ret [Pa.m <sup>2</sup> .W <sup>-1</sup> ]	Ret [Pa.m <sup>2</sup> .W <sup>-1</sup> ]
1	3,0	2,1	8,6
2	2,8	2,7	10,2
3	2,7	2,7	9,9
4	2,8	1,9	9,8
5	2,3	1,9	8,9
6	2,4	2,0	10,7
7	2,9	2,8	10,7
8	2,9	2,1	10,1
9	2,5	2,2	10,4
10	3,2	1,8	10,5
11	2,6	2,3	10,2
12	2,9	2,0	11,4
13	2,6	2,2	11,8
14	2,9	2,5	10,9
15	2,7	2,5	9,1
16	2,7	2,3	10,9
17	2,8	2,6	9,4
18	2,8	2,2	8,9
19	2,6	2,3	11,0
20	2,8	2,5	11,2
21	2,7	2,1	
22		2,3	
23		2,6	
24		2,5	
25			
26			
27			
28			
29			

Tabulka – přílohy 3 Prodyšnost Spunlace laminátů, tlakový spád = 900 Pa

Laminát	Spunlace/NM/Spunlace [l/m <sup>2</sup> /s]	Spunlace/MP/Spunlace [l/m <sup>2</sup> /s]	Spunlace/HF/Spunlace [l/m <sup>2</sup> /s]
1	12,40	19,70	2,00
2	13,30	20,80	2,11
3	13,40	20,90	2,16
4	12,40	21,20	2,14
5	12,70	22,80	2,16
6	13,70	22,30	2,51
7	12,00	23,40	2,40
8	12,80	23,80	2,33
9	13,00	24,60	2,21
10	13,10	22,10	2,17
11	14,50	21,80	2,44
12	13,40	21,20	2,34
13	12,50	22,50	2,22
14	12,90	23,50	2,39
15	13,20	23,30	2,36
16	13,70	24,00	2,30
17	15,10	20,40	2,17
18	15,30	20,20	2,21
19	14,40	19,90	2,19
20	14,20	23,20	2,25
21	14,60	22,70	2,38
22	15,60	20,00	2,08
23	14,80	20,20	2,46
24	14,10	22,80	2,49
25	13,80	23,80	2,48
26	12,70	21,60	2,60
27	13,40	19,40	
28	13,80	19,70	
29	12,90	18,80	
30	11,80	22,20	



Tabulka – přílohy 4 Prodyšnost Spunbond laminátů a DHV, tlakový spád = 900 Pa

Lami nát	Spunbond/NM/Sp unbond [l/m <sup>2</sup> /s]	Spunbond/MP/Sp unbond [l/m <sup>2</sup> /s]	Spunbond/HF/Spu nbond [l/m <sup>2</sup> /s]	Doplňkov á hydroizol ační vrstva [Pa.m <sup>2</sup> .W- 1]
1	15,10	20,70	1,86	2,19
2	16,10	20,80	1,85	2,53
3	16,50	20,90	1,76	2,81
4	14,30	21,20	1,83	2,41
5	14,30	20,10	1,84	2,59
6	16,60	19,60	1,79	2,64
7	15,40	20,10	1,73	2,61
8	15,20	22,00	1,68	2,70
9	14,40	21,60	1,82	2,49
10	14,60	21,20	1,64	2,56
11	13,50	21,40	1,87	2,51
12	13,10	22,10	1,82	2,49
13	13,40	23,00	1,80	2,51
14	16,00	22,60	1,80	2,18
15	15,60	22,50	1,70	2,23
16	16,20	22,60	1,63	2,49
17	12,80	23,40	1,66	2,90
18	13,10	23,80	1,71	2,50
19	13,70	21,20	1,86	2,46
20	15,10	21,40	1,73	2,36
21	14,20	20,40	1,73	2,31
22	13,50	20,40	1,69	2,52
23	14,70	20,40	1,56	2,72
24	13,60	18,70	1,95	2,10
25	13,10	18,90	1,99	2,42
26	14,70	19,50	1,78	2,46
27	15,60	20,70	1,83	2,52
28	14,20		1,71	2,35
29	15,10		1,77	2,66
30	14,50			2,37

Tabulka – přílohy 5 Hydrostatická odolnost Spunlace laminátů

Laminát	Spunlace/NM/Spunlace [mmH <sub>2</sub> O]	Spunlace/MP/Spunlace [mmH <sub>2</sub> O]	Spunlace/HF/Spunlace [mmH <sub>2</sub> O]
1	12461,275	12767,198	9850,730
2	12410,288	13858,325	10829,684
3	11105,015	13113,912	10737,907
4	11737,257	13062,924	11247,780
5	10778,697	11645,480	12247,129
6	12838,581	11441,531	12593,842
7	11655,677	12777,396	11941,206
8		12369,498	12950,752
9		13236,281	13858,325
10			13022,135

Tabulka – přílohy 6 Hydrostatická odolnost Spunbond laminátů

Laminát	Spunbond/NM/Spunbond [mmH <sub>2</sub> O]	Spunbond/MP/Spunbond [mmH <sub>2</sub> O]	Spunbond/HF/Spunbond [mmH <sub>2</sub> O]
1	2814,494	2641,138	2875,679
2	2845,087	2773,704	2834,889
3	2732,915	2070,081	2712,520
4	2814,494	2630,940	2834,889
5	2712,520	2579,953	2743,112
6	2794,099	2498,374	2661,533
7	2763,507	2753,310	2732,915
8	2671,730	2161,858	2783,902
9	2865,481	2243,437	2845,087
10		2386,202	

Tabulka – přílohy 7 Kalibrační data, Permetest, DHV

Kalibrační lamináty - standardní DHV										
Sd [m]	Ret [Pa.m <sup>2</sup> .W-1]									
<b>0,005</b>	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,1	2,3	3,1
<b>0,02</b>	20,5	20,5	21,4	21,4	21,9	23,1				
<b>0,04</b>	31,1	31,7	31,9	32,6	32,9	35,2				
<b>0,08</b>	60	60,9	61,7	63,4	64,3	65,7	66			
<b>0,1</b>	80,5	80,8	80,9	81,2	81,4	82,1				
<b>0,12</b>	92,2	97	97,5	98,4	99,6					

Tabulka – přílohy 8 Data vlastního experimentu – Nanolace

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
Nanolace	1,48	1,68	1,595	1,63	1,43	1,535	1,655
Nanolace	1,405	1,67	1,52	1,55	1,335	1,46	1,6
Nanolace	1,385	1,7	1,555	1,53	1,34	1,515	1,62
Nanolace	1,355	1,735	1,58	1,605	1,42	1,545	1,695
Nanolace	1,445	1,945	1,705	1,78	1,61	1,75	1,885

Tabulka – přílohy 9 Data vlastního experimentu – Microlace

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
Microlace	1,415	1,655	1,555	1,575	1,395	1,51	1,65
Microlace	1,4	1,59	1,495	1,49	1,35	1,435	1,59
Microlace	1,32	1,615	1,46	1,455	1,355	1,43	1,55
Microlace	1,32	1,655	1,455	1,54	1,33	1,475	1,61
Microlace	1,39	1,85	1,63	1,69	1,495	1,705	1,83

Tabulka – přílohy 10 Data vlastního experimentu – Hydrolace

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
Hydrolace	1,19	1,415	1,345	1,36	1,21	1,295	1,41
Hydrolace	1,145	1,36	1,275	1,29	1,16	1,26	1,365
Hydrolace	1,115	1,365	1,265	1,275	1,16	1,265	1,355
Hydrolace	1,135	1,415	1,31	1,305	1,215	1,3	1,405
Hydrolace	1,195	1,565	1,43	1,425	1,355	1,44	1,565

Tabulka – přílohy 11 Data vlastního experimentu – Nanobond

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
Nanobond	1,59	1,895	1,795	1,805	1,6	1,715	1,915
Nanobond	1,47	1,94	1,74	1,7	1,535	1,69	1,93
Nanobond	1,475	2,025	1,775	1,76	1,55	1,815	2
Nanobond	1,505	2,05	1,775	1,785	1,595	1,815	2,005
Nanobond	1,595	2,145	1,895	1,88	1,745	1,86	2,045

Tabulka – přílohy 12 Data vlastního experimentu Microbond

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
Microbond	1,545	1,785	1,7	1,705	1,55	1,595	1,745
Microbond	1,455	1,76	1,615	1,62	1,44	1,505	1,73
Microbond	1,425	1,8	1,61	1,615	1,43	1,53	1,74
Microbond	1,405	1,87	1,64	1,67	1,47	1,585	1,785
Microbond	1,505	2,065	1,8	1,855	1,66	1,78	1,97

Tabulka – přílohy 13 Data vlastního experimentu – Hydrobond

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
Hydrobond	1,24	1,465	1,385	1,415	1,275	1,35	1,48
Hydrobond	1,165	1,425	1,32	1,325	1,175	1,3	1,465
Hydrobond	1,19	1,47	1,385	1,32	1,235	1,315	1,495
Hydrobond	1,155	1,57	1,385	1,38	1,27	1,365	1,52
Hydrobond	1,245	1,685	1,48	1,51	1,345	1,505	1,62

Tabulka – přílohy 14 - Data vlastního experimentu – Hydrobond – typ hobra

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
T_hobra	0,42	0,58	0,54	0,53	0,47	0,545	0,59
T_hobra	0,39	0,615	0,53	0,53	0,485	0,57	0,61
T_hobra	0,46	0,68	0,545	0,56	0,495	0,605	0,68
T_tobra	0,425	0,68	0,515	0,53	0,475	0,595	0,64

Tabulka – přílohy 15 Data vlastního experimentu-typ OSB

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
T_OSB	0,17	0,105	0,105	0,125	0,08	0,105	0,13
T_OSB	0,105	0,065	0,045	0,065	0,04	0,04	0,085
T_OSB	0,13	0,095	0,095	0,09	0,07	0,105	0,11
T_OSB	0,11	0,08	0,07	0,065	0,065	0,055	0,115

Tabulka – přílohy 16 Data vlastního experimentu - typ DHF

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
T_DHF	0,31	0,375	0,36	0,355	0,31	0,34	0,395
T_DHF	0,295	0,365	0,295	0,33	0,275	0,3	0,375
T_DHF	0,315	0,39	0,3	0,325	0,26	0,365	0,375
T_DHF	0,335	0,425	0,33	0,345	0,295	0,37	0,395

Tabulka – přílohy 17 Data vlastního experimentu - XPS

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
XPS	0,11	0,07	0,065	0,07	0,06	0,07	0,08
XPS	0,11	0,065	0,07	0,08	0,08	0,075	0,075

Tabulka – přílohy 18 Data vlastního experimentu - DHV

g/vzorek/24h							
	1	2	3	4	5	6	7
Difu	1,08	1,335	1,185	1,2	1,115	1,22	1,325
Difu	0,995	1,24	1,09	1,12	1,005	1,125	1,215
Difu	0,965	1,25	1,11	1,11	1,035	1,12	1,23

## Příloha 2, Konstrukce Diffurooff, Software Teplo 2017 – nekomerční verze LT

### SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kce DeltaT10 [C]	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření
Diffuroof... ---	střecha	7.843	0.124	nedochází ke kondenzaci v.p.	

#### 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 LT

Název úlohy : **Diffuroof**  
 Zpracovatel : TT 2017  
 Zakázka :  
 Datum : 21.04.2020

#### ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Střecha dvouplášťová nebo strop pod půdou  
 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	D_typ DHF	0,0150	0,1000	1700,0	650,0	11,0	0.0000
2	Izolace_minera	0,3000	0,0390	840,0	120,0	1,0	0.0000
3	Laminát_porezn	0,0002	0,3900	1700,0	375,0	20,0	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	D_typ DHF	---
2	Izolace_mineral_vl	---
3	Laminát_porezní_spunbond	---

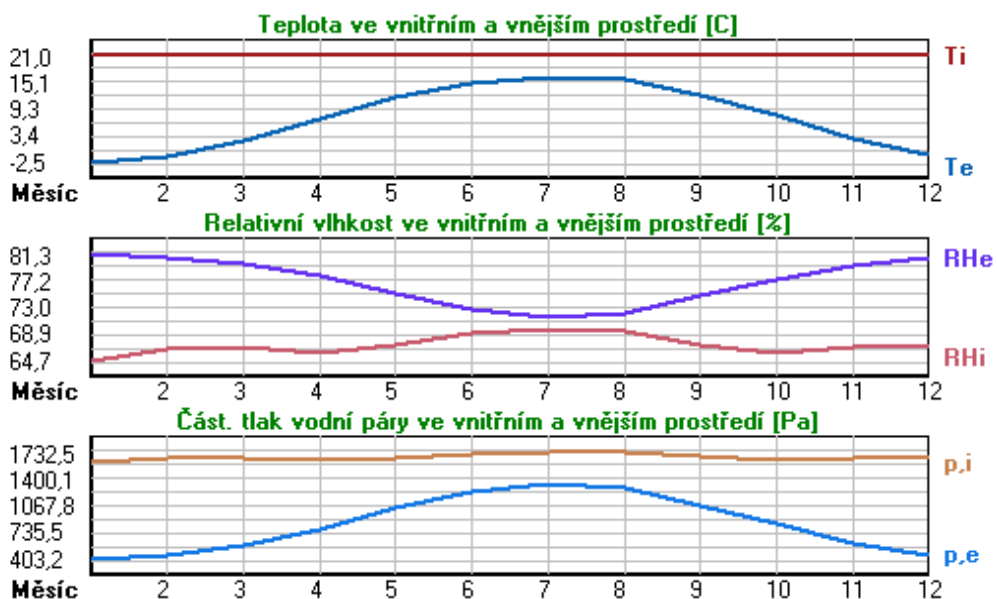
### Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru  $R_{si}$  : 0.10 m<sup>2</sup>K/W  
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty  $R_{si}$  : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru  $R_{se}$  : 0.10 m<sup>2</sup>K/W  
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty  $R_{se}$  : 0.10 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota  $T_e$  : -15.0 C  
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu  $T_{ai}$  : 21.0 C  
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu  $R_{He}$  : 84.0 %  
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $R_{Hi}$  : 55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	$T_{ai}$ [C]	$R_{Hi}$ [%]	$P_i$ [Pa]	$T_e$ [C]	$R_{He}$ [%]	$P_e$ [Pa]
1	31 744	21.0	64.7	1608.2	-2.5	81.3	403.2
2	28 672	21.0	66.5	1652.9	-1.1	80.7	449.8
3	31 744	21.0	67.0	1665.3	2.4	79.7	578.4
4	30 720	21.0	66.0	1640.5	6.9	77.8	773.7
5	31 744	21.0	67.1	1667.8	11.9	75.1	1045.8
6	30 720	21.0	68.9	1712.6	15.1	72.7	1247.1
7	31 744	21.0	69.7	1732.5	16.4	71.5	1332.9
8	31 744	21.0	69.4	1725.0	15.9	72.0	1300.1
9	30 720	21.0	67.3	1672.8	12.4	74.7	1075.1
10	31 744	21.0	66.1	1643.0	8.1	77.3	834.5
11	30 720	21.0	66.8	1660.4	2.9	79.5	597.9
12	31 744	21.0	67.2	1670.3	-0.7	80.7	465.0

Poznámka:  $T_{ai}$ ,  $R_{Hi}$  a  $P_i$  jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a  $T_e$ ,  $R_{He}$  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 :

### Teplný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplný odpor konstrukce R : 7.843 m<sup>2</sup>K/W  
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.124 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>k</sub>: 0.14 / 0.17 / 0.22 / 0.32 W/m<sup>2</sup>K  
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírázkou podle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

### Difúzní odpor a tepelně akumulční vlastnosti:

Difúzní odpor konstrukce Z<sub>pT</sub> : 2.5E+0009 m/s  
 Teplotní útlum konstrukce Ny\* podle EN ISO 13786 : 200.5  
 Fázový posun teplotního kmitu Psi\* podle EN ISO 13786 : 9.3 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.90 C  
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : **0.969**

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně R<sub>si</sub>=0,25 m<sup>2</sup>K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	----- 80% -----		----- 100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>			
1	17.6	0.855	14.1	0.706	20.3	0.969	67.6
2	18.0	0.865	14.5	0.707	20.3	0.969	69.3
3	18.1	0.846	14.6	0.658	20.4	0.969	69.4
4	17.9	0.781	14.4	0.532	20.6	0.969	67.8
5	18.2	0.689	14.7	0.304	20.7	0.969	68.3
6	18.6	0.592	15.1	-----	20.8	0.969	69.7
7	18.8	0.516	15.3	-----	20.9	0.969	70.3
8	18.7	0.550	15.2	-----	20.8	0.969	70.1
9	18.2	0.676	14.7	0.269	20.7	0.969	68.4
10	17.9	0.762	14.4	0.491	20.6	0.969	67.7
11	18.1	0.840	14.6	0.646	20.4	0.969	69.1
12	18.2	0.871	14.7	0.709	20.3	0.969	70.0

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

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

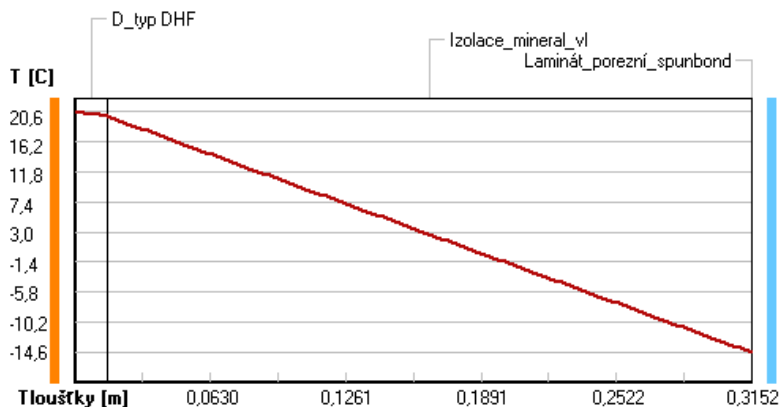
Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	20.6	19.9	-14.6	-14.6
p [Pa]:	1367	935	149	138
p <sub>sat</sub> [Pa]:	2418	2320	172	172

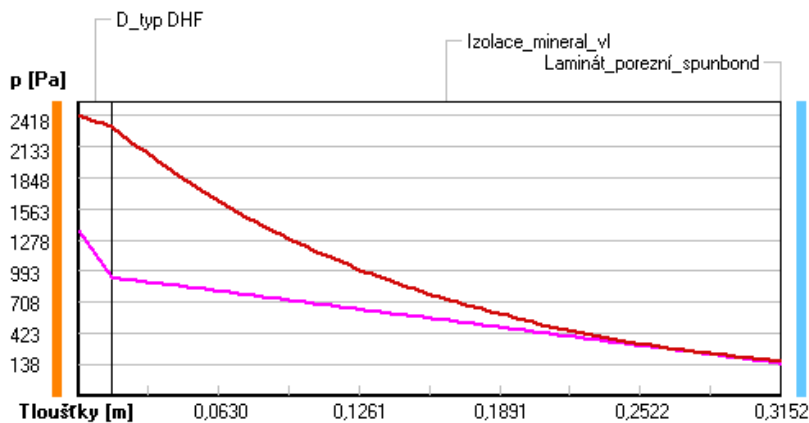
Poznámka: theta je teplota na rozhraní vrstev, p je předpokládaný částečný tlak vodní páry na rozhraní vrstev a p<sub>sat</sub> je částečný tlak nasycené vodní páry na rozhraní vrstev.



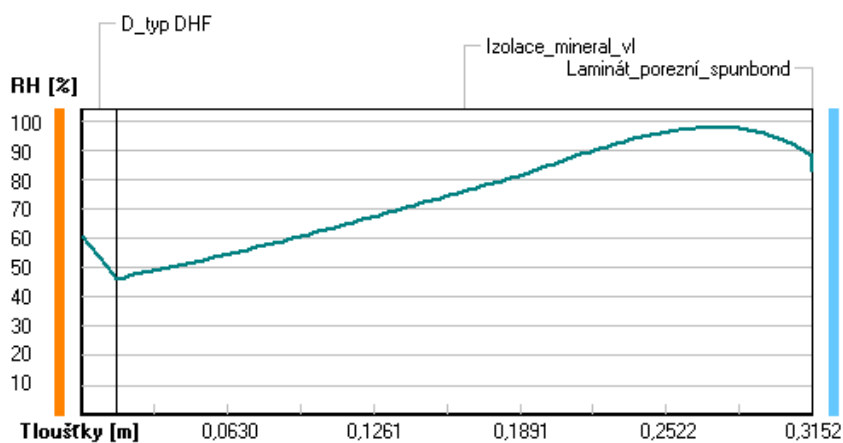
**Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách**



**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 nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.**

Množství difundující vodní páry  $G_d$  : 5.240E-0007 kg/(m<sup>2</sup>.s)

**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	D_typ DHF	---	365	---	---	---
2	Izolace_minera	---	---	275	90	---
3	Laminát_porezn	---	---	275	90	---

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřijatelné 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 LT, (c) 2016 Svoboda Software

## Příloha 2, Konstrukce Hydrorooff, Software Teplo 2017 – nekomerční verze LT

### SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kce DeltaT10 [C]	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření
Hydrorooff... ---	střecha	7.873	0.124	nedochází ke kondenzaci v.p.	

#### 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 LT

Název úlohy : **Hydrorooff**  
Zpracovatel : TT 2017  
Zakázka :  
Datum : 21.04.2020

#### ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Střecha dvouplášťová nebo strop pod půdou  
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	D_typ OSB	0,0180	0,1000	1700,0	650,0	50,0	0.0000
2	Izolace_minera	0,3000	0,0390	840,0	120,0	1,0	0.0000
3	Laminát_nepore	0,0002	0,3900	1700,0	375,0	60,0	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	D_typ OSB	---
2	Izolace_mineral_vl	---
3	Laminát_neporezní_spunbond	---

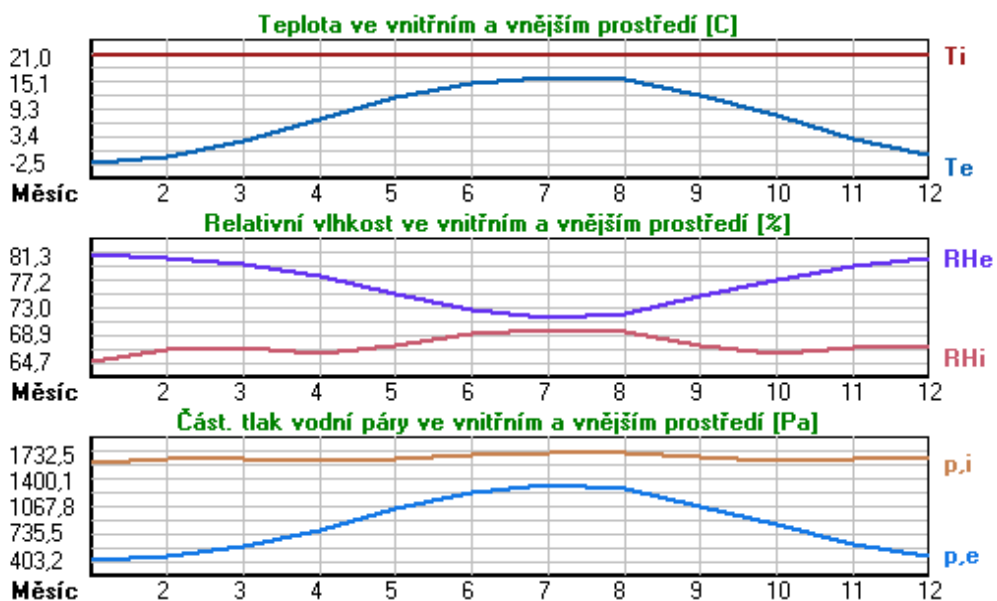
**Okrajové podmínky výpočtu :**

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru  $R_{si}$  : 0.10 m<sup>2</sup>K/W  
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty  $R_{si}$  : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru  $R_{se}$  : 0.10 m<sup>2</sup>K/W  
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty  $R_{se}$  : 0.10 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota  $T_e$  : -15.0 C  
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu  $T_{ai}$  : 21.0 C  
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu  $R_{He}$  : 84.0 %  
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $R_{Hi}$  : 55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	$T_{ai}$ [C]	$R_{Hi}$ [%]	$P_i$ [Pa]	$T_e$ [C]	$R_{He}$ [%]	$P_e$ [Pa]	
1	31	744	21.0	64.7	1608.2	-2.5	81.3	403.2
2	28	672	21.0	66.5	1652.9	-1.1	80.7	449.8
3	31	744	21.0	67.0	1665.3	2.4	79.7	578.4
4	30	720	21.0	66.0	1640.5	6.9	77.8	773.7
5	31	744	21.0	67.1	1667.8	11.9	75.1	1045.8
6	30	720	21.0	68.9	1712.6	15.1	72.7	1247.1
7	31	744	21.0	69.7	1732.5	16.4	71.5	1332.9
8	31	744	21.0	69.4	1725.0	15.9	72.0	1300.1
9	30	720	21.0	67.3	1672.8	12.4	74.7	1075.1
10	31	744	21.0	66.1	1643.0	8.1	77.3	834.5
11	30	720	21.0	66.8	1660.4	2.9	79.5	597.9
12	31	744	21.0	67.2	1670.3	-0.7	80.7	465.0

Poznámka:  $T_{ai}$ ,  $R_{Hi}$  a  $P_i$  jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a  $T_e$ ,  $R_{He}$  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 :

### Teplný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplný odpor konstrukce R : 7.873 m<sup>2</sup>K/W  
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.124 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>k</sub> : 0.14 / 0.17 / 0.22 / 0.32 W/m<sup>2</sup>K  
 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<sub>pT</sub> : 6.4E+0009 m/s

Teplotní útlum konstrukce N<sub>y</sub>\* podle EN ISO 13786 : 205.4  
 Fázový posun teplotního kmitu Psi\* podle EN ISO 13786 : 9.6 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.91 C  
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : **0.970**

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně R<sub>si</sub>=0,25 m<sup>2</sup>K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	80% -----		100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>			
1	17.6	0.855	14.1	0.706	20.3	0.970	67.6
2	18.0	0.865	14.5	0.707	20.3	0.970	69.3
3	18.1	0.846	14.6	0.658	20.4	0.970	69.4
4	17.9	0.781	14.4	0.532	20.6	0.970	67.8
5	18.2	0.689	14.7	0.304	20.7	0.970	68.3
6	18.6	0.592	15.1	-----	20.8	0.970	69.7
7	18.8	0.516	15.3	-----	20.9	0.970	70.3
8	18.7	0.550	15.2	-----	20.8	0.970	70.1
9	18.2	0.676	14.7	0.269	20.7	0.970	68.4
10	17.9	0.762	14.4	0.491	20.6	0.970	67.7
11	18.1	0.840	14.6	0.646	20.4	0.970	69.1
12	18.2	0.871	14.7	0.709	20.3	0.970	70.0

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

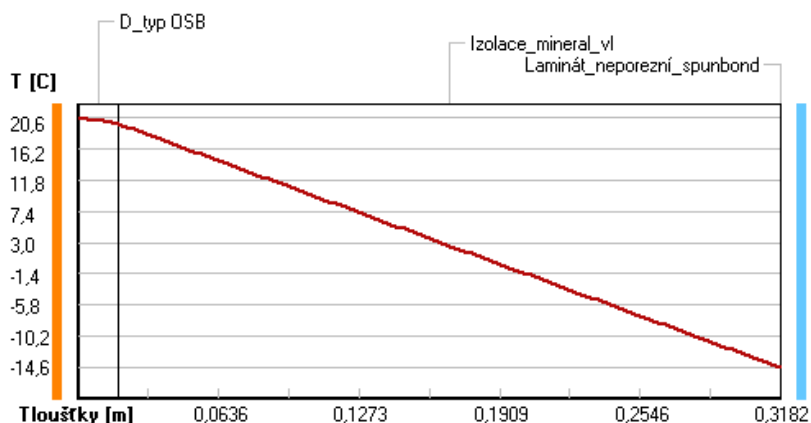
### Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

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

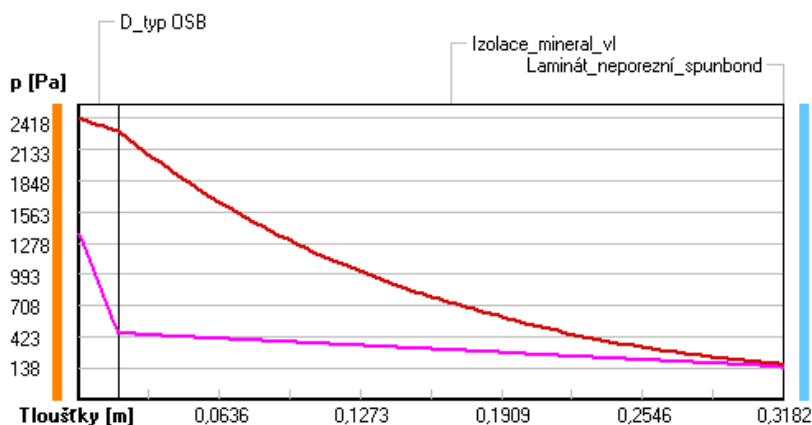
rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	20.6	19.8	-14.6	-14.6
p [Pa]:	1367	455	151	138
p,sat [Pa]:	2418	2301	172	172

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.

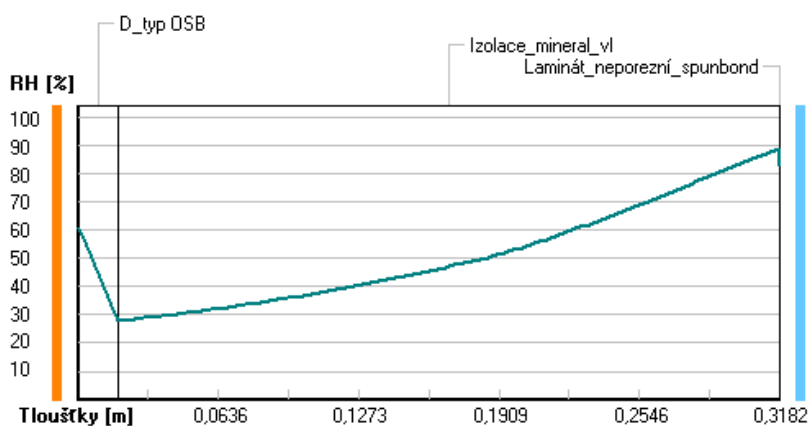
**Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách**



**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 nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry  $G_d$  : 2.028E-0007 kg/(m<sup>2</sup>.s)

**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	D_typ OSB	---	365	---	---	---
2	Izolace_minera	---	---	275	90	---
3	Laminát_nepore	---	---	275	90	---

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřijatelné 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 LT, (c) 2016 Svoboda Software

Příloha 2, Konstrukce Wallf, Software Teplo 2017 – nekomerční verze LT

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kce DeltaT10 [C]	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření
Wallf... ---	stěna	5.309	0.180		nedochází ke kondenzaci v.p.

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 LT

Název úlohy : **Wallf**  
Zpracovatel : TT 2017  
Zakázka :  
Datum : 21.04.2020

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna vnější dvouplášťová  
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	D_typ DHF	0,0180	0,1000	1700,0	650,0	11,0	0.0000
2	Izolace_minera	0,2000	0,0390	840,0	120,0	1,0	0.0000
3	Laminát_porezn	0,0002	0,3900	1700,0	375,0	18,0	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	D_typ DHF	---
2	Izolace_mineral_vl	---
3	Laminát_porezní_spunbond	---



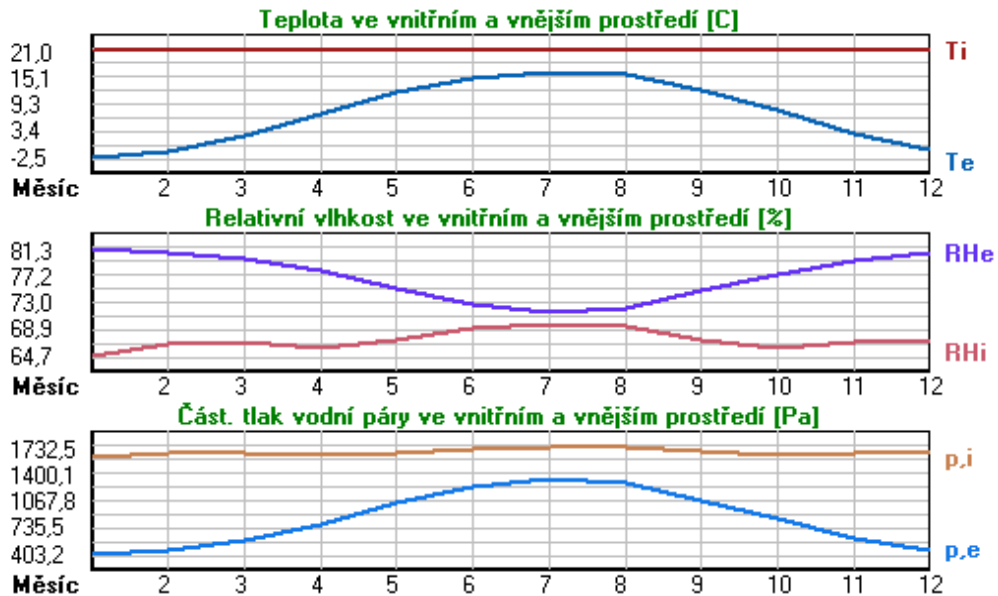
### Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru  $R_{si}$  : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty  $R_{si}$  : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru  $R_{se}$  : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty  $R_{se}$  : 0.13 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota  $T_e$  : -15.0 C  
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu  $T_{ai}$  : 21.0 C  
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu  $R_{He}$  : 84.0 %  
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $R_{Hi}$  : 55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	$T_{ai}$ [C]	$R_{Hi}$ [%]	$P_i$ [Pa]	$T_e$ [C]	$R_{He}$ [%]	$P_e$ [Pa]	
1	31	744	21.0	64.7	1608.2	-2.5	81.3	403.2
2	28	672	21.0	66.5	1652.9	-1.1	80.7	449.8
3	31	744	21.0	67.0	1665.3	2.4	79.7	578.4
4	30	720	21.0	66.0	1640.5	6.9	77.8	773.7
5	31	744	21.0	67.1	1667.8	11.9	75.1	1045.8
6	30	720	21.0	68.9	1712.6	15.1	72.7	1247.1
7	31	744	21.0	69.7	1732.5	16.4	71.5	1332.9
8	31	744	21.0	69.4	1725.0	15.9	72.0	1300.1
9	30	720	21.0	67.3	1672.8	12.4	74.7	1075.1
10	31	744	21.0	66.1	1643.0	8.1	77.3	834.5
11	30	720	21.0	66.8	1660.4	2.9	79.5	597.9
12	31	744	21.0	67.2	1670.3	-0.7	80.7	465.0

Poznámka:  $T_{ai}$ ,  $R_{Hi}$  a  $P_i$  jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a  $T_e$ ,  $R_{He}$  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 :

### Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplotní odpor konstrukce R : 5.309 m<sup>2</sup>K/W  
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.180 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>k</sub> : 0.20 / 0.23 / 0.28 / 0.38 W/m<sup>2</sup>K  
 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<sub>pT</sub> : 2.1E+0009 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny\* podle EN ISO 13786 : 62.7  
 Fázový posun teplotního kmitu Psi\* podle EN ISO 13786 : 6.0 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.42 C  
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : **0.956**

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně R<sub>si</sub>=0,25 m<sup>2</sup>K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	80% -----		100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>			
1	17.6	0.855	14.1	0.706	20.0	0.956	69.0
2	18.0	0.865	14.5	0.707	20.0	0.956	70.6
3	18.1	0.846	14.6	0.658	20.2	0.956	70.5
4	17.9	0.781	14.4	0.532	20.4	0.956	68.6
5	18.2	0.689	14.7	0.304	20.6	0.956	68.8
6	18.6	0.592	15.1	-----	20.7	0.956	70.0
7	18.8	0.516	15.3	-----	20.8	0.956	70.6
8	18.7	0.550	15.2	-----	20.8	0.956	70.4
9	18.2	0.676	14.7	0.269	20.6	0.956	68.9
10	17.9	0.762	14.4	0.491	20.4	0.956	68.4
11	18.1	0.840	14.6	0.646	20.2	0.956	70.2
12	18.2	0.871	14.7	0.709	20.0	0.956	71.3

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

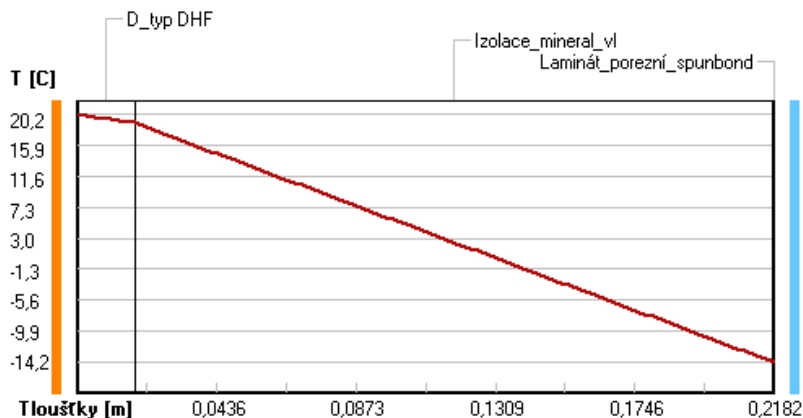
### Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

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

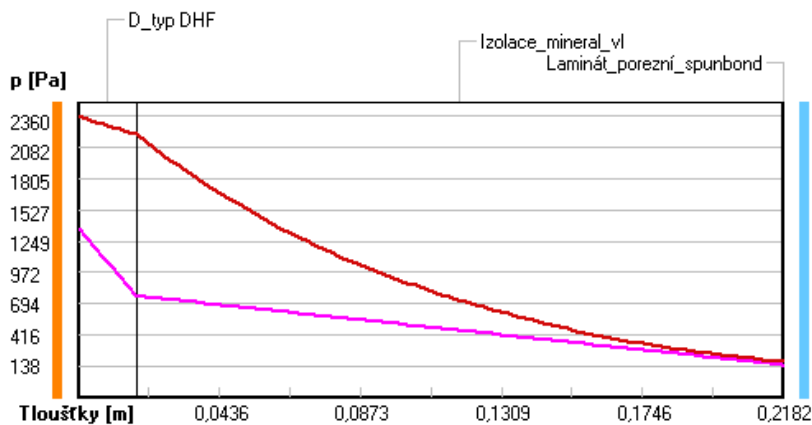
rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	20.2	19.0	-14.2	-14.2
p [Pa]:	1367	761	149	138
p,sat [Pa]:	2360	2196	178	178

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.

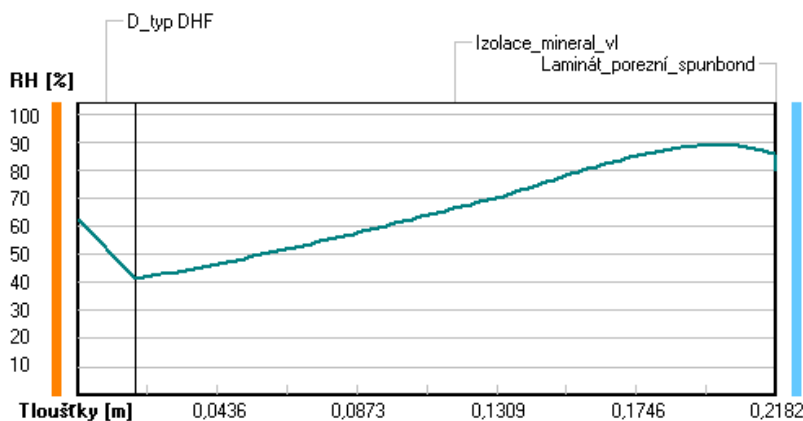
**Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách**



**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 nedochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Množství difundující vodní páry  $G_d$  : 6.119E-0007 kg/(m<sup>2</sup>.s)

**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	D_typ DHF	---	334	31	---	---
2	Izolace_minera	---	---	365	---	---
3	Laminát_porezn	---	---	365	---	---

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 LT, (c) 2016 Svoboda Software

## Příloha 2, Konstrukce se standardní DHV, Software Teplo 2017 – nekomerční verze LT

### SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ

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

Název kce DeltaT10 [C]	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření
...	stěna	7.681	0.127	0.6342	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 LT

Název úlohy :  
Zpracovatel : TT 2017  
Zakázka :  
Datum : 16.01.2020

#### 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	Egger DHF	0,0180	0,1000	1700,0	650,0	11,0	0.0000
2	Isover Orsik	0,3000	0,0400	800,0	30,0	1,0	0.0000
3	Jutadach 115	0,0005	0,3900	1700,0	575,0	100,0	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	Egger DHF	---
2	Isover Orsik	---
3	Jutadach 115	---

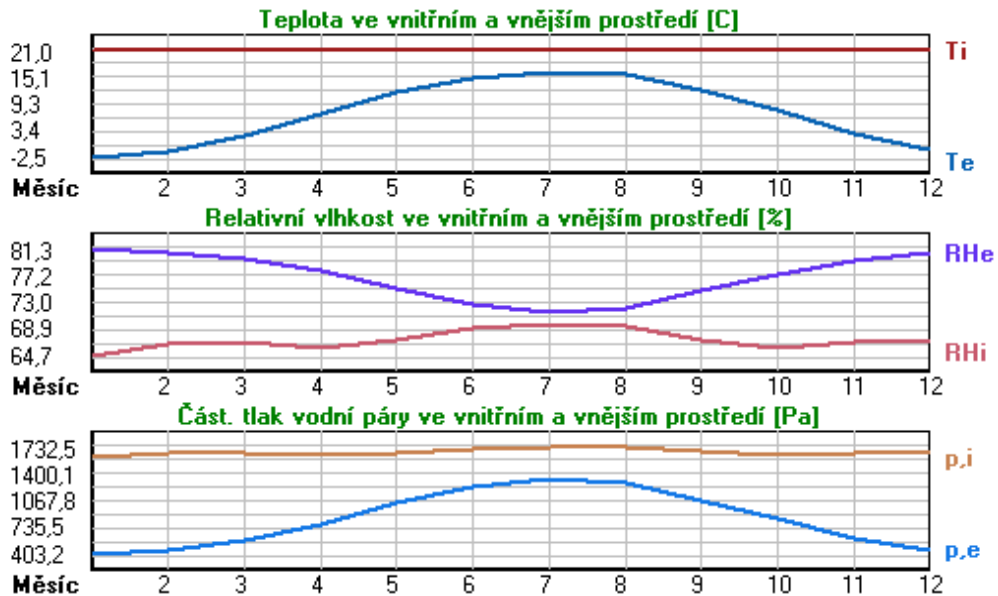
**Okrajové podmínky výpočtu :**

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru  $R_{si}$  : 0.13 m<sup>2</sup>K/W  
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty  $R_{si}$  : 0.25 m<sup>2</sup>K/W  
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru  $R_{se}$  : 0.04 m<sup>2</sup>K/W  
 dtto pro výpočet vnitřní povrchové teploty  $R_{se}$  : 0.04 m<sup>2</sup>K/W

Návrhová venkovní teplota  $T_e$  : -15.0 C  
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu  $T_{ai}$  : 21.0 C  
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu  $R_{He}$  : 84.0 %  
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu  $R_{Hi}$  : 55.0 %

Měsíc	Délka [dny/hodiny]	$T_{ai}$ [C]	$R_{Hi}$ [%]	$P_i$ [Pa]	$T_e$ [C]	$R_{He}$ [%]	$P_e$ [Pa]
1	31 744	21.0	64.7	1608.2	-2.5	81.3	403.2
2	28 672	21.0	66.5	1652.9	-1.1	80.7	449.8
3	31 744	21.0	67.0	1665.3	2.4	79.7	578.4
4	30 720	21.0	66.0	1640.5	6.9	77.8	773.7
5	31 744	21.0	67.1	1667.8	11.9	75.1	1045.8
6	30 720	21.0	68.9	1712.6	15.1	72.7	1247.1
7	31 744	21.0	69.7	1732.5	16.4	71.5	1332.9
8	31 744	21.0	69.4	1725.0	15.9	72.0	1300.1
9	30 720	21.0	67.3	1672.8	12.4	74.7	1075.1
10	31 744	21.0	66.1	1643.0	8.1	77.3	834.5
11	30 720	21.0	66.8	1660.4	2.9	79.5	597.9
12	31 744	21.0	67.2	1670.3	-0.7	80.7	465.0

Poznámka:  $T_{ai}$ ,  $R_{Hi}$  a  $P_i$  jsou prům. měsíční parametry vnitřního vzduchu (teplota, relativní vlhkost a částečný tlak vodní páry) a  $T_e$ ,  $R_{He}$  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 :

### Teplný odpor a součinitel prostupu tepla podle EN ISO 6946:

Teplný odpor konstrukce R : 7.681 m<sup>2</sup>K/W  
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : **0.127 W/m<sup>2</sup>K**

Součinitel prostupu zabudované kce U<sub>k</sub> : 0.15 / 0.18 / 0.23 / 0.33 W/m<sup>2</sup>K  
 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<sub>p</sub>T : 2.9E+0009 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny\* podle EN ISO 13786 : 69.5  
 Fázový posun teplotního kmitu Psi\* podle EN ISO 13786 : 3.8 h

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

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T<sub>si,p</sub> : 19.87 C  
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f<sub>Rsi,p</sub> : **0.969**

Obě hodnoty platí pro odpor při přestupu tepla na vnitřní straně R<sub>si</sub>=0,25 m<sup>2</sup>K/W.

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
	80% -----		100% -----		T <sub>si</sub> [C]	f <sub>Rsi</sub>	RH <sub>si</sub> [%]
	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>	T <sub>si,m</sub> [C]	f <sub>Rsi,m</sub>			
1	17.6	0.855	14.1	0.706	20.3	0.969	67.7
2	18.0	0.865	14.5	0.707	20.3	0.969	69.4
3	18.1	0.846	14.6	0.658	20.4	0.969	69.4
4	17.9	0.781	14.4	0.532	20.6	0.969	67.8
5	18.2	0.689	14.7	0.304	20.7	0.969	68.3
6	18.6	0.592	15.1	-----	20.8	0.969	69.7
7	18.8	0.516	15.3	-----	20.9	0.969	70.3
8	18.7	0.550	15.2	-----	20.8	0.969	70.1
9	18.2	0.676	14.7	0.269	20.7	0.969	68.4
10	17.9	0.762	14.4	0.491	20.6	0.969	67.8
11	18.1	0.840	14.6	0.646	20.4	0.969	69.2
12	18.2	0.871	14.7	0.709	20.3	0.969	70.1

Poznámka: RH<sub>si</sub> je relativní vlhkost na vnitřním povrchu, T<sub>si</sub> je vnitřní povrchová teplota a f<sub>Rsi</sub> je teplotní faktor.

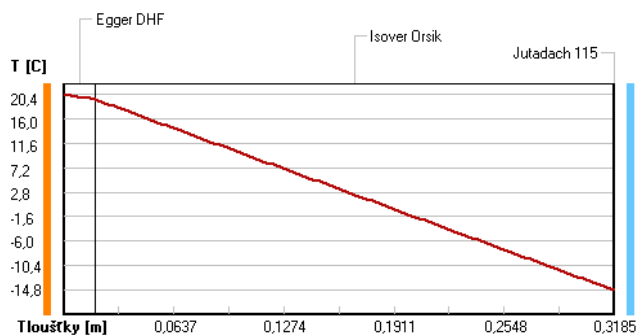
### Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540: (bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

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

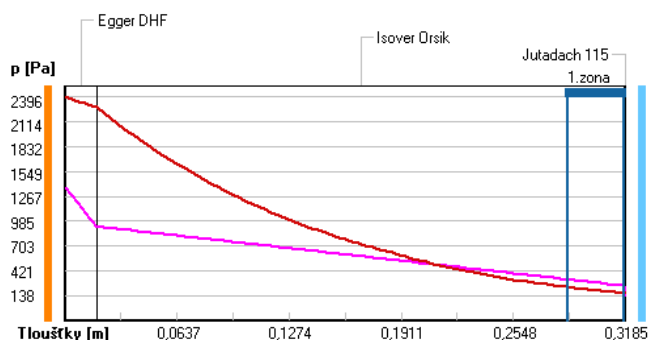
rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	20.4	19.6	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1367	923	250	138
p,sat [Pa]:	2396	2277	168	168

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.

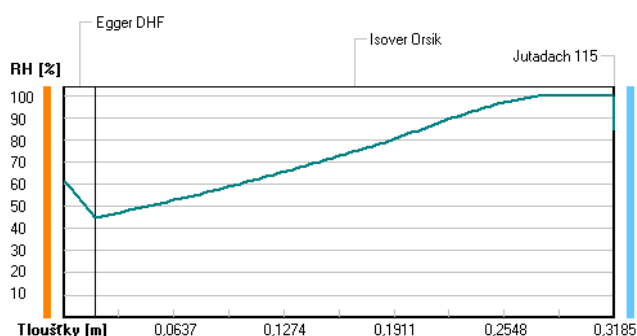
Teploty v typickém místě konstrukce v ustálených návrhových podmínkách



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]	Hranice kondenzační zóny pravá [m]	Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
1	0.2855	0.3180	3.692E-0007

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok  $M_{c,a}$ : **0.6342 kg/(m2.rok)**  
Množství vypařitelné vodní páry za rok  $M_{ev,a}$ : **36.8007 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 0.0 C.

### Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

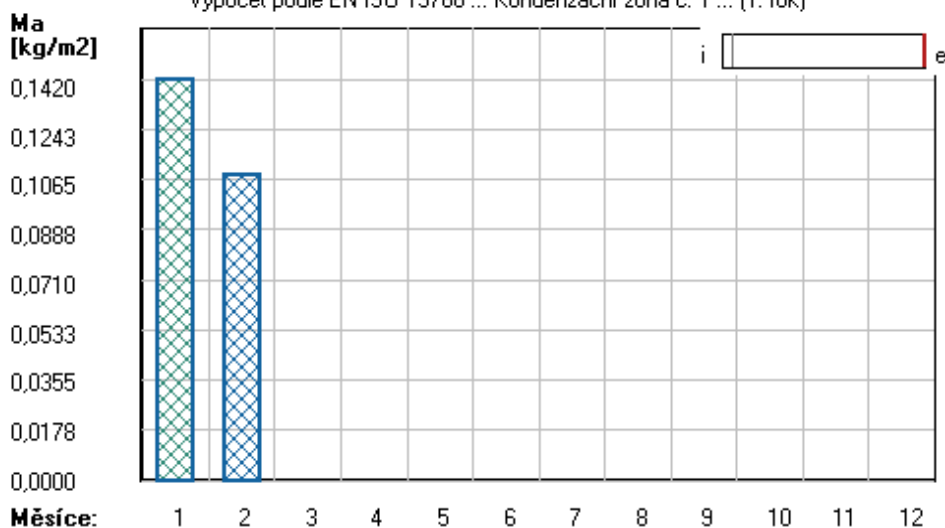
Roční cyklus č. 1

V konstrukci dochází během modelového roku ke kondenzaci.

Kondenzační zóna č. 1



Akumulované množství zkondenzované vlhkosti  
Výpočet podle EN ISO 13788 ... Kondenzační zóna č. 1 ... (1. rok)



Měsíc	Hranice kond.zóny v m od interiéru		Dif.tok do/ze zóny v kg/m² za měsíc		Kondenz./vypař. v kg/m² za měsíc	Akumul. vlhkost v kg/m² za měsíc
	levá	pravá	g,in	g,out	Mc/Mev	Ma
1	0.3180	0.3180	1.1525	1.0150	0.1374	0.1420
2	0.3180	0.3180	1.0591	1.0933	-0.0342	0.1078
3	---	---	1.0052	1.6328	-0.6276	0.0000
4	---	---	---	---	---	---
5	---	---	---	---	---	---
6	---	---	---	---	---	---
7	---	---	---	---	---	---
8	---	---	---	---	---	---
9	---	---	---	---	---	---
10	---	---	---	---	---	---
11	---	---	---	---	---	---
12	---	---	---	---	---	---

Max. množství zkondenzované vodní páry za rok  $M_{c,a}$ : **0.1420 kg/m²**  
Množství vypařitelné vodní páry za rok  $M_{ev,a}$  je min.: **0.1420 kg/m²**  
z toho se odpaří do exteriéru: 0.1420 kg/m²  
..... a do interiéru: 0.0000 kg/m²

**Na konci modelového roku je zóna suchá (tj.  $M_{c,a} < M_{ev,a}$ ).**

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	Egger DHF	---	334	31	---	---
2	Isover Orsik	---	---	153	61	151
3	Jutadach 115	---	---	153	61	151

Poznámka: S pomocí této tabulky lze zjednodušeně odhadnout, jaké je riziko dosažení nepřijatelné 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 LT, (c) 2016 Svoboda Software