TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní

Aplikace nanovlákenné membrány do vrstev stavební konstrukce

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3107R007 – Textilní marketing

Autor práce: **František Böhm**
Vedoucí práce: doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.

Liberec 2018

TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering

Application of nanofiber membrane into the building construction layers

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3107R007 – Textile marketing

Author: **František Böhm**
Supervisor: doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.

Liberec 2018

Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní
Akademický rok: **2017/2018**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**František Böhm**
Osobní číslo:	**T15000182**
Studijní program:	**B3107 Textil**
Studijní obor:	**Textilní marketing**
Název tématu:	**Aplikace nanovlákenné membrány do vrstev stavební konstrukce**
Zadávající katedra:	**Katedra hodnocení textilií**

Zásady pro vypracování:

1) Proveďte rešerši na téma ochrana konstrukcí šikmých střech a obvodových konstrukcí dřevostaveb proti působení vodních par. Popište vhodné složení vrstev v konstrukcích a současně slabá místa z hlediska propustnosti vodních par.
2) Prověřte možnost využití nanovlákenné membrány, jako bariéry proti hromadění kondenzované vlhkosti v konstrukcí šikmých střech a obvodových konstrukcí dřevostaveb. Popište její výrobu a vlastnosti vhodné pro daný účel.
3) Proměřte běžně užívané stavební difuzní fólie z hlediska paropropustnosti. Analyzujte výsledné hodnoty a porovnejte hodnotou paropropustnosti dodané nanovlákenné membrány. Diskutujte výsledky měření s hodnotami deklarovanými výrobcem v propagačních materiálech.
4) Navrhněte experiment simulující dlouhodobý prostup vodní páry skrz nanovlákennou membránu a běžně užívané stavební difuzní fólie. Navrhněte nový způsob tvorby vrstev šikmých střech a dřevostavby s využitím nanovlákenné membrány.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Hejhálek, Jiří. "Veličiny a jednotky "difúzních" výpočtů." In: www.stavebnictvi3000.cz [online], 17.2.2011, Dostupné z: http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-a-kondenzace-vodni-pary-difuzne-otevrene-konstrukce/
Mayerová, Karolína."využití nanovlákenné membrány pro ochranu dřevostaveb *proti vlhkosti" Liberec, 2016. Diplomová práce. Faktulta textilní Technické* univerzity v Liberci. Vedoucí práce Ludmila Fridrichová.
Krňanský, Jan. Nanotextilie pro stavebnictví. In: TechniCall: čtvrtletník Českého vysokého učení v Praze. Praha: Rektorát ČVUT, 2008

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.**
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání bakalářské práce: **29. září 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. května 2018**

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

L.S.

Technická univerzita v Liberci
Fakulta textilní

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

V *Liberci dne 28. února 2018*

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

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

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní doc. Ing. Fridrichové, Ph.D. za její cenné rady a odborné vedení při tvorbě této bakalářské práce, panu prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc., Dr.h.c. za jeho důležité konzultace a rodině, která mi je vždy tou největší oporou. Zejména děkuji babičce a dědovi za jejich laskavá srdce.

Anotace

Práce se zabývá využitím nanovlákenné membrány ve stavebních konstrukcích z hlediska pojistné hydroizolace. Použité metodiky hodnotily mimo membrány z nanovláken také standardní materiály užívané ve stavitelství a běžně dostupné technické textilie. Tyto materiály byly zařazeny z důvodu kvalitativního porovnání oproti hodnocené membráně. Pomocí měření na přístroji PERMETEST byl zjištěn statisticky významný vliv materiálu na výparný odpor a stanovena závislost na ekvivalentní difuzní tloušťce. Následně byl proveden experiment sledování paropropustnosti vlastní metodikou. Zkouška demonstrovala chování materiálu při různých tlakových a teplotních vlivech v testovaných prostředích. Při pozorování vykázala membrána statisticky významně nejvyšší hodnoty paropropustnosti, nejrychlejší pozorovaný průnik vodních par a nulovou kondenzaci na povrchu textilie. Stanovila se závislost na ekvivalentní difuzní tloušťce a navzájem se potvrdila predikce fyzikálních hodnot difuzního odporu pro stavební materiály. Posledním krokem byla softwarová simulace vlivu nanovlákenné membrány a standardního materiálu na kondenzaci v konstrukci a možnosti ohrožení životnosti dřevěných prvků. Výsledkem bylo u membrány vyloučení kondenzace včetně ohrožení dřevěných prvků a optimalizace vrstev stavební konstrukce vedoucí ke snížení nákladů bez předčasné degradace vlivem vlhkosti.

Klíčová slova: Nanovlákenná membrána, stavitelství, pojistné hydroizolace, vlhkost, paropropustnost, ekvivalentní difuzní tloušťka.

Annotation

The thesis deals with the use of nanofibrous membrane in building structures in terms of premiums hydroisolation. The used methodology also evaluates the standard materials in the building materials and technical textiles commonly available. These materials were listed for the reason of qualitative comparison against the rated membrane. It was all measured by the instrument PERMETEST and the statistically significant influence of the material on the evaporation resistance was determined and the dependence on the equivalent of diffuse thickness was established. Subsequently, an experiment of vapor permeability was performed using its own methodology. The test demonstrated the behavior of the material at various pressure and temperature influences in test environments. During the observation, the membrane showed statistically significant values vapor permeability, fastest observed penetration of water vapor and zero condensation on the surface of the textile. Dependence on equivalent diffusion thickness was determined and the prediction of physical values of diffusion resistance for building materials was confirmed. The last step was the software simulation of the influence of nanofibrous membrane and standard material on condensation in the structure and the possibility of endangering the life of wooden elements. The result was the exclusion of condensation including the threat of wooden elements on the membrane and the optimization of layers of building construction leading to a reduction of cost and risk of premature degradation due to moisture.

Keywords: Nanofibrous membrane, construction, waterproofing, moisture, vapor permeability, equivalent diffusion thickness.

Seznam symbolů a zkratek

G [g/m^2.s]	Difuzní vlhkostní tok
U_d [g/m^{2}hPa]	Součinitel prostupu vodní páry
δ [kg/s.m.Pa]	Součinitel difuze vodní páry
R_D [m/s]	Součinitel difuzního odporu
p [Pa]	Částečný tlak vodní páry
q_0 [W.m^{-2}]	Plošná hustota tepelného toku procházející měřenou hlavicí nezakrytou měřeným vzorkem
q_v [W.m^{-2}]	Plošná hustota tepelného toku procházející měřenou hlavicí zakrytou měřeným vzorkem
R_{et} [Pa.m².W^{-1}]	Výparný odpor
m [kg]	Hmotnost
ρ [kg.m^{-3}]	Hustota
S [m$_2$]	Plocha
d [cm]	Průměr kruhu
Δ*m* [g]	Změna hmotnosti
m_1 [g]	Výchozí hmotnost prostředí č. 1.
m_2 [g]	Hmotnost prostředí č. 1. po ukončení měření
MVTR [g/m^2.24h]	Moisture vapor transmission rate (paropropustnost)
S_d [m]	Ekvivalentní difuzní tloušťka
PHI	Pojistná hydroizolace

Osnova

Seznam symbolů a zkratek 8

Úvod 11

TEORETICKÁ ČÁST 13

1 Difuze vodní páry, prostup konstrukcí a její kondenzace 13

1.1 Rosný bod 13

1.2 Difuze vodní páry 14

1.3 Difuzní odpor 15

1.4 Faktor difuzního odporu, Ekvivalentní difuzní tloušťka 15

1.5 Požadavky na textilní produkty z hlediska difuze vodních par 16

2 Skladba konstrukcí, její navrhování a požadavky na textilní produkty 17

2.1 Dělení konstrukcí 17

2.2 Parozábrany 18

2.3 Difuzní folie, membrány 19

2.4 Navrhování konstrukce a aplikace nanomembrány 21

3 Textilní technologie ve stavebních konstrukcích 23

3.1 Nanotextilie 24

3.2 Technologie spunbond 26

3.3 Technologie melt-blown 26

Experimentální část 28

4 Charakteristika testovaných materiálů 28

4.1 Pojistná hydroizolace 28

4.2 Netkané textilie SMS, SM a S 29

4.3 Tyvek papír 29

4.4 Nanomembrána 29

5 Metodika 31

5.1 Permetest 31

5.2 Vlastní metodika měření paropropustnosti 33

5.3 Modifikace navržené metodiky pro uvedení do praxe 33

5.4 Způsob měření paropropustnosti 35

5.5 Příprava měření 35

5.6 Příprava vzorků 37

5.7 Kontrola definovaných hodnot 37

5.8 Statistické zhodnocení výsledků 38

6 Výsledky a diskuze 40

6.1 Permetest 40

6.2 Paropropustnost na základě navržené metodiky 46

6.3 Nanomembrána ve stavebních konstrukcích 53

6.4 Předmět pro další výzkum 54

Závěr 55

Seznam citací 57

Seznam obrázků 60

Seznam tabulek 61

Seznam příloh 62

Úvod

V dnešní době již podstatná část veřejnosti vnímá značný posun technologií textilního průmyslu a spousty inovativních prvků na půdě textilních technologií. Přestože povědomí o tomto pokroku neustále roste, málokdo si uvědomuje, jak moc je textilní průmysl svázán s celým světem okolo nás. Běžně vídáme spojení textilního průmyslu se zdravotnictvím, potravinářstvím a prakticky celý sekundární sektor je plný součinnosti napříč celým spektrem. Bez obav je možné uvést fakt, že textil vídáme všude okolo nás a napomáhá tvořit významné hodnoty. Tato fakta nás vedou k poukázání na hlubokou synergii textilu a stavitelství, přestože si všímáme částečného poklesu inovací ve spojení staveb a textilních materiálů. Rozvoj nanotextilií či netkaných textilií nabízejí zavedení novinek pro stále velmi otevřený trh.

Stavba obecně je systémem konstrukcí podléhající přirozeným ztrátám vlastností rovnoměrně vůči stáří, popřípadě podléhající vadám či destrukcím za podmínek způsobených technologickou chybou či vlivem nepředpokládané klimatické nehody. Spousta faktorů je nahodilých (jako například povodně), v převážné většině se dá již z principu těmto faktorům zabránit volbou správné technologie a předpisu. Jsou tu ale také situace, jež jsou na poli stavitelství řešeny téměř experimentálně s podstatnou rolí náhody. Největším problémem je bezesporu vlhkost a její vliv na stavební materiály v celém širokém spektru. S tím je úzce spojena nejen životnost samotné stavby, ale i zdraví osob obývajících objekt. Nesčetné množství úvah se zabývá zabráněním pronikání vlhkosti z venkovního prostředí do obvodových konstrukcí. Tato problematika je řešena v rámci samotných bází omítkového systému a dodatečných hydroizolací v místech přímého kontaktu se zemí včetně soklu. Množství vody, které se takto do konstrukce dostane, je minimální a je rovno množství, které je konstrukce schopna vypařit zpět do exteriéru. Hlavní úskalí a velký problém je v obecném užívání staveb jejich uživateli. Právě lidský faktor je nebezpečná proměnná, jelikož ne vždy jsou hodnoty vlhkostních ukazatelů odpovídající normovým ukazatelům. Právě cesta vlhkosti na základě difuzních zákonů prostupující z interiéru do exteriérové části působí v oblasti stavitelství velké potíže. Směr vytvoření difuzně otevřené nebo difuzně vyrovnané konstrukce je středem zájmu zamýšlené práce. Jelikož téma je široké a v jeho rozsahu by bylo možné vytvořit několik kvalifikačních prací. Zaměříme se zejména na střešní systém, přestože závěr bude aplikovatelný na technická opatření daleko širšího rozsahu (například sendvičové systémy dřevostaveb, sádrokartonářské systémy atp.).

Zjednodušený konstrukční model šikmých střech by se dal označit za synergický efekt parotěsné folie, izolačního materiálu, nosných tesařských prvků, difuzní folie a krytiny. V současné době se za použití standardních materiálů setkáváme zejména s problémy z hlediska difuze vodních par. Parozábrana, která by měla zabránit průniku vodních par do dalších vrstev, není nikdy za stávajících možností úplně difúzně uzavřená, stejně tak difuzní folie nikdy není ideálně paropropustná. Tyto důvody vedou k hypotéze, že hodnoty paropropustnosti nanomembrány mohou vytvořit ideální stav z hlediska difuze vodních par skrz konstrukci a obohatit tím standardní materiály pro tyto účely běžně používané. Pro účely testování byl navržen postup ověření paropropustnosti v laboratorních

podmínkách na přístroji PERMETEST, kde jsme sledovali a porovnávali hodnoty výparného odporu nanomembrány, standardních difuzních folií a netkané textilie. Tento laboratorní test nadále podporujeme zkouškou na základě vlastní metodiky, kde skleněnou nádobu s vodou o návrhové pokojové teplotě 21 ^{o}C během časové jednotky zahříváme za zvolených podmínek, přičemž dojde k nasycení prostředí nádoby vodní párou, která bude skrz testovaný subjekt prostupovat do dalšího prostředí, které vodní páry zachytí. Po stanoveném čase zjišťujeme úbytek kapaliny, který nám poskytne informaci, kolik vodní páry prošlo skrz materiál do nenasyceného prostředí a zároveň se po zkondenzování nedostalo zpět. Jedná se tedy jak o ověření paropropustnosti, tak i hydrofobnosti.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Difuze vodní páry, prostup konstrukcí a její kondenzace

Každé hodnocené prostředí obsahuje vzduch o určité relativní vlhkosti. Na základě difuzních zákonů dochází ve většině stavebních konstrukcí za určitých podmínek k částečné kondenzaci vodních par. Tato skutečnost je výrazně ovlivněna venkovním klimatem, kdy v zimních měsících je toto nebezpečí značné, naopak v letních měsících je kondenzace prakticky vyloučena. Místo kondenzace nastupuje uvolňování vodních částic z konstrukcí do vnějšího prostředí, čímž dochází k rovnováze, která je cílem návrhů našich opatření.

Kondenzaci sice neumíme zcela vyloučit, avšak je třeba ji omezit natolik, aby byl stav vyrovnaný. Pro pochopení této problematiky si v úvodní teoretické části upřesníme základní důležité veličiny a jevy.

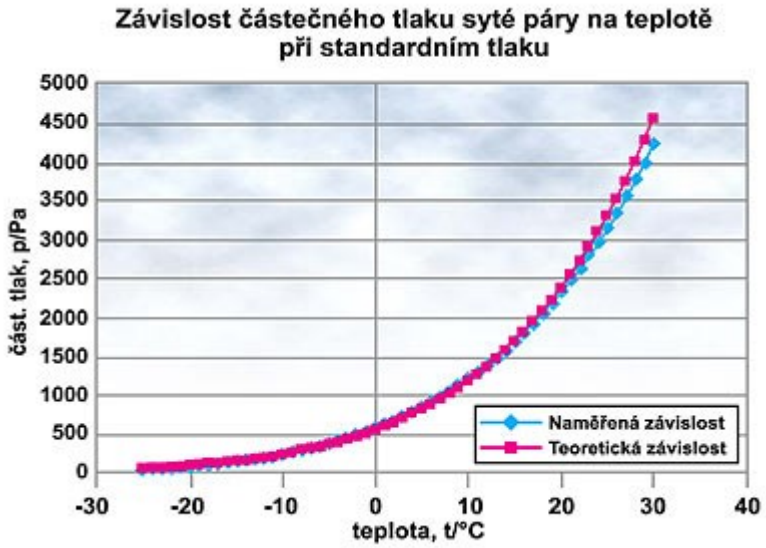
1.1 Rosný bod

Rosný bod, případně teplota rosného bodu, je takový stav, kdy je vzduch nasycen vodní párou natolik, že nedokáže již další vodní páry přijmout a dochází ke kondenzaci. Tento stav se dá označit jiným způsobem, že relativní vlhkost vzduchu dosáhla hodnoty 100 %.

Web stavebnictvi3000 [1] představu o definici rosného bodu a tlaku vodní páry ve vzduchu ještě rozšiřuje. Pojednává o vlastnosti vodní páry, kdy při teplotách přijatelných pro život může její částečný tlak ve vzduchu stoupat pouze do hodnot částečného tlaku syté páry. Další přírůstky při konstantní teplotě kondenzují, ale obsah vodní páry ve vzduchu nezvyšují. Pokud by teplota vzduchu stoupla, mohl by další vodní páry přijímat, pokles naopak znamená vylučování. Částečný tlak syté vodní páry exponenciálně závisí zejména na teplotě, tento fakt můžeme vidět na obrázku č. 1, kde jsou zobrazeny hodnoty tlaků v závislosti na teplotě při standardním tlaku 101 325 Pa. Tento web popisuje, že například vzduch o teplotě 25 ^{o}C s obsahem vodní páry o částečném tlaku 2336,74 Pa má relativní vlhkost 73,83 %. Rosný bod pro taková stav nastává při teplotě 20 ^{o}C. Tím pádem při poklesu pod tuto hodnotu vznikne kondenzát.

Přepočet částečného tlaku syté vodní páry probíhá na základě jednoduchého exponenciálního vztahu na základě empirického vzorce, kterému se někdy říká Magnusův. [2]

$$p = \exp(27{,}376 - \frac{5745{,}31}{T}) \text{ [Pa]}$$



Obrázek 1 Závislost částečného tlaku syté páry na teplotě [1]

Tyto informace o rosném bodu nám pomáhají pochopit a ilustrovat, co se stává se vzduchem, resp. s vodní párou obsaženou ve vzduchu v okamžiku jejího prostupu konstrukcí. Teplotní spád z interiéru do exteriéru se mění podle složení konstrukce, je avšak nezanedbatelný. Pokud se teplota v interiéru pohybuje kolem 20 ^{o}C a v exteriéru kolem -15 ^{o}C, tak spád bude velký. Někde nás bude v závislosti na tepelné izolaci čekat zóna kondenzace. Jinak řečeno, pokud bude teplota v konstrukci klesat rychleji, nežli je hodnota rosného bodu, tak nastane vysrážení vodních par.

1.2 Difuze vodní páry

V závislosti na předešlé informaci považujeme za žádoucí vztah co nejmenší množství vodních par proniklých do konstrukce a co nejmenší difuzní odpor v následujících vrstvách směrem k exteriéru.

Obecně jakýkoliv přírodně – fyzikální stav hledá rovnováhu. Tím i vodní páry dle autora Hejhálka [2] pro internetový portál stavby3000 putují z míst o vyšším částečném tlaku vodní páry do míst s nižším částečným tlakem. Obdobně to platí i pro ostatní tlakové, koncentrační a teplotní přírodní děje, které probíhají samovolně bez zásahu jiného jevu. V našich tuzemských podmínkách pára difunduje skrz obvodovou stěnu z teplejšího interiéru směrem ven do chladnějšího exteriéru. Tento jev je velmi ovlivněn základní veličinou zvanou „Součinitel difuze vodní páry **δ**“ s fyzikálním rozměrem **s = kg/(s*m*Pa).** S pomocí této veličiny umíme vypočítat množství vodní páry *m* v kg, která v čase *t* v s projde v důsledku rozdílů částečných vodních tlaků Δ*p* v Pa materiálem v ploše *A* v m^2, který má tloušťku *d* metrů. Toto je popsané v definiční rovnici nebo v její odvozené verzi, která vyjadřuje množství difuzního toku v ploše materiálu.

$$\mathrm{m} = \delta * \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{d}} * \mathrm{t} * \Delta\mathrm{p} \qquad \frac{m}{A} = \delta * \frac{\mathrm{t}}{\mathrm{d}} * \Delta\mathrm{p}$$

Součinitel difuze vodní páry je z obecných důvodů základem pro následující uvedené veličiny níže.

1.3 Difuzní odpor

Difuzní odpor je definován jako schopnost materiálu propouštět vodní páry. Čím je jeho hodnota menší, tím skrz kapiláry hodnoceného materiálu projde více vodních par a plynů. Označuje se jako R_d a vypočítává se podílem tloušťky materiálu a jeho součinitele difuze vodní páry δ. Výsledkem je hodnota difuzního odporu v m/s. [3, 2]

1.4 Faktor difuzního odporu, Ekvivalentní difuzní tloušťka

V hlavním průsečíku textilních produktů a stavitelství z pohledu difuze vodních par nalezneme dva nejčastější a tím také nejdůležitější termíny. Pokud budeme navrhovat do konstrukce co nejvhodnější difuzně uzavřenou parozábranu, nebo budeme hledat co nejvíce paropropustnou difuzní folii, zcela jistě se setkáme s termíny faktoru difuzního odporu (nejčastěji v souvislosti s projekcí a navrhováním konstrukcí) nebo ekvivalentní difuzní tloušťky (nejčastější označení v materiálovém listu).

- Faktor difuzního odporu

Dříve tradičním způsobem vyjadřování difuzních vlastností materiálu byl součinitel odporu vodní páry, který se objevuje hojně zejména ve starší literatuře a dnes je již téměř nahrazen bezrozměrnou veličinou nazvanou faktor difuzního odporu. Značí se řeckým písmenem μ [mí] a udává, kolikrát je daný materiál pro vodní páry hůře propustný než stojící vzduch o stejné tloušťce. [4, 2]

Výpočet probíhá podle vzorců níže. Teplotně difuzní funkce N se v běžných výpočtech udává hodnotou 5,315 * 10^9 s^{-1}.[4] Součinitel difuze vodní páry δvz při 0 °C je roven hodnotě 0,178*10^{-9}.[5]

$$\mu = 1/(\delta p * N) \qquad \mu = \delta vz/\delta \qquad [-]$$

- Ekvivalentní difuzní tloušťka

Ekvivalentní difuzní tloušťka S_d je pro její názornost nejčastěji interpretována zejména zákazníkům ve spojení s produkty nesoucími difuzní vlastnosti. Tato veličina nám říká, jaká tloušťka vrstvy vzduchu odpovídá difuzním odporem dané vrstvě materiálu. Ekvivalentní difuzní tloušťku v metrech pro daný materiál vyjádříme součinem jeho difuzního odporu R_D v m/s a součinitelem difuze vodní páry. [5] Obdobně součinem faktoru difuzního odporu a tloušťky materiálu. [4]

1.5 Požadavky na textilní produkty z hlediska difuze vodních par

Z první kapitoly jasně vyplývá potřeba kondenzaci omezit, popřípadě ji úplně eliminovat. Jedná se o nutnost již v základu při navrhování. Tepelně izolační desky nejčastěji vyráběné ze skelných či čedičových vláken musí s co největší účinností minimalizovat teplotní spád v konstrukci a posunout zónu kondenzace nejlépe mimo ni. U parozábran z interiérové strany konstrukce vyžadujeme co největší hodnoty faktoru difuzního odporu a ekvivalentní difuzní tloušťky z důvodu maximalizace omezení difuze. Pojistná a současně difuzní vrstva na exteriérové straně konstrukce musí naopak splňovat nízké hodnoty faktoru difuzního odporu a ekvivalentní difuzní tloušťky, aby proniklé páry s co nejmenším odporem prošly ven z konstrukce. U zkoumané nanomembrány očekáváme hodnoty μ výrazně pod 100 a S_d výrazně pod 0,02 m. Skvělé hydrofobní vlastnosti, jež u pojistné difuzní folie očekáváme, byly u nanomembrány již prokázány v rámci diplomové práce autorky Karolíny Mayerové [6]. Aplikace do omítkových vrstev znamenala signifikantní zlepšení bariérových vlastností. Podrobněji se na požadavky a vlastnosti uvedených materiálů zaměříme v následující kapitole.

2 Skladba konstrukcí, její navrhování a požadavky na textilní produkty

V úvodu tohoto pojednání si zopakujeme parafrázi definice autora Hejhálka. [2] Vodní páry postupují z prostředí většího částečného tlaku vodní páry do prostředí tlaku menšího. Tak, jak to příroda obecně zamýšlí všude okolo nás, i zde ve stavební fyzice si vodní páry hledají rovnováhu a tím nám vzniká jev prostupu vodních par skrz stavební konstrukce. Jako základní podmínku difuze tedy označíme stav, kdy konstrukce odděluje dvě prostředí s rozdílným tlakem vodní páry.

Cesta začíná v interiéru stavby, kde vodní páry při cestě k druhému prostředí narazí v první vrstvě na parotěsnou folii. Jelikož dokonalost parotěsné funkce nemůžeme prakticky zajistit, tak vodní páry v určitém množství procházejí nadále do další vrstvy obsahující izolant, kde již může dojít k jejich částečnému vysrážení.

Za izolantem máme umístěnou difuzní folii kontaktní, případně distanční s částečnou mezerou mezi izolačním materiálem a zmiňovanou difuzní pojistnou vrstvou. Tato vrstva nás chrání před průnikem vody ze strany exteriéru do izolačního souvrství a zároveň sledujeme její co nejlepší paropropustnost. Proto musí být hodnota faktoru difuzního odporu membrány co nejmenší. Omezí se tím objem zkondenzované vody. [7]

Právě vzniklý kondenzát je akademický problém, jenž je třeba před provedením posuzovat. Izolant, nejčastěji minerální vata ze skelného vlákna, umí pojmout částečné množství vody do svého objemu, avšak po překročení této hranice se nám přebytek začne dostávat k dřevěným prvkům střešní konstrukce. Posuzujeme tedy nejen bilanci kondenzátu v rámci ročního období, ale také přípustné množství k dané izolační vrstvě z důvodu vyloučení poškození prvků v konstrukci.

2.1 Dělení konstrukcí

Konstrukce, u kterých posuzujeme propustnost vodních par, můžeme rozdělit obecně podle autora Rypla na základě jednoduchého klíče [8]:

A) Dvouplášťové konstrukční řešení stavby, kde je pouze jedna ventilace, umístěná mezi střešní krytinou a pojistnou hydroizolací. Tato skladba využívá jako pojistnou vrstvu vysoce difuzní folie.

B) Tříplášťové konstrukční řešení, kde je vzduchová mezera nad i pod pojistnou vrstvou. Zde je možné již aplikovat difuzní folie s horšími vlastnostmi oproti skladbě dvouplášťové. Nevýhodou je rozšíření konstrukce a růst nákladů za větší rozměry tesařských prvků.

C) Nadále máme možnost střech bez ventilační mezery, stejně tak tříplášťových, kde je ventilace pod bedněním. Jednoplášťové řešení se v současné době téměř nepoužívá, oproti tomu tříplášťové řešení v rámci této práce zanedbáváme, jelikož nechceme konstrukci příliš rozšiřovat a samotné bednění má v konstrukci zbytečný difuzní odpor.

D) Ostatní sádrokartonářské a dřevostavbové konstrukce, kde díky správným difuzním vlastnostem můžeme snižovat jejich tloušťku v síle odvětrávané mezery a eliminovat jejich destrukce a degradace. Jedná se o konstrukce obvodové, difúzně uzavřené, kde vkládáme pojistnou hydroizolaci se záměrem ochrany konstrukčních prvků.

Základní chybou se stává již špatné navržení parozábrany v souvrství, její umístění v konstrukci a jakým způsobem je provedena, spojována nebo i čím se napojování řeší. Nejde pouze o použití parozábrany, ale o vytvoření parotěsnící vrstvy po celé ploše. Nejslabším místem každé hodnocené konstrukce je tedy základní parotěsná vrstva. V celé praxi se nejčastěji setkáváme s následujícími problémy [8]:

- Úplná obsence parotěsné vrstvy
- Nesprávná volba materiálu (nebo zvolené nízké hodnoty S_d)
- Poškozená místa (např. vlivem kotvení prvků)
- Špatně provedené spoje, špatné použité komponenty
- Neošetřené prostupy
- Místa styku a návaznosti na další konstrukce
- Nedostatečná tepelná izolace
- Stavební otvory s absencí těsnění
- Vyvedení zdravotní techniky (možno označit za extrém)

Obrázek 2 Parozábrana v obvodové konstrukci dřevostavby, neošetřené prostupy [8]

2.2 Parozábrany

Parozábranou rozumíme zejména polyethylenový (dále jen PE) termoplast ve výrobním provedení celistvé folie, nikoliv jako vrstva náhodně kladených vláken. Používají se i další termoplasty, jako například polyamidy. Takové folie ale mají kvůli malému faktoru difuzního odporu menší využití

pro naše účely. PE je nepolární a nenavlhavý materiál, který odolává za běžných podmínek polárním rozpouštědlům, kyselinám, zásadám, vodě a solím. [8, 9]

Obecně můžeme rozdělit parozábrany do tříd od parobrzd, které mají ekvivalentní difuzní tloušťku okolo 5m, po parozábrany o extrémní parotěsnosti, které mají hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky již okolo 1500m. Některé tyto folie jsou opatřeny ještě reflexní vrstvou, která může sálavé teplo odrážet zpět do interiéru. To vše za podmínky nevětrané vzduchové mezery mezi folií a podhledem interiéru. Náš základní požadavek je co největší možná parotěsnost pro vytvoření co nejdokonalejší parotěsnící vrstvy. Její absence by znamenala nadměrné proudění vlhkosti, která by nám mohla v nepatřičných místech kondenzovat a způsobovat destrukci stavebních materiálů. [8]

2.3 Difuzní folie, membrány

Jedná se o pojistnou hydroizolaci šikmých střech a obvodových konstrukcí (PHI) systému difuzně uzavřeného, otevřeného a vyrovnaného. Později se zavádí výrazy doplňková hydroizolace (DHI) nebo doplňková hydroizolační vrstva (DHV). Pro představu nám termín PHI poslouží nejlépe, jelikož demonstruje šest přehledně ilustrovaných tříd. U obvodových konstrukcí požadavek na třídu PHI klesá (opačně jako prevence před přírodními živly je třeba zamýšlet ochranu větší). Klesajícím sklonem střešního pláště naopak roste (kvalitou provedení krytiny opět klesá, je třeba ale zvážit, jak dlouho přebírá PHI funkci „střešního pláště“ před samotnou pokládkou). Pro ilustraci přikládáme tabulku č. 1. [10]

Tabulka 1 Třídy dle PHI u střešních konstrukcí [10]

Třída těstností	Charakteristika	Materiál
PHI na bednění		
1	vodotěsná PHI	folie synt. těžké, pásy asfaltové těžké
2	těsná proti vodě	dtto
PHI na tuhém podkladu		
3	utěsněné přesahy a perforace	folie lehké s přísl., desky s přísl.
4	utěsněné přesahy	folie lehké
4	přesahy bez utěsnění	desky
5	přesahy bez utěsnění	pásy asfalt. lehké
PHI nad vzduchovou vrstvou		
6	volně natažená folie	folie lehké

Obrázek 3 PHI v reálné situaci [7]

Domníváme se, že jakékoliv tabulkové rozdělení je příliš obecné. Skvělé vlastnosti stávajících difuzních folií a membrán jsou na takové úrovni, že mohou dosahovat lepších tříd než PHI3, stejně tak předpokládané vlastnosti nanomembrány se potenciálně mohou dostat až k druhé třídě těsnosti.

Způsobů výroby pojistné hydroizolace, neboli difuzní folie je mnoho. Nejobvyklejší způsoby je možné vyčíst z materiálových listů veřejně dostupných u výrobců. Nejčastěji se využívají vlákna z polyethylenu, polypropylenu a polyesteru. Variabilita je ale vcelku vysoká a stavitelství by mohlo více čerpat z výzkumů komfortu textilií a netkaných technologií.

Jako základní model by se dala označit dvouvrstvá folie nejčastěji z netkané textilie a funkčního zátěru. Tyto relativně cenově dobře dostupné membrány zvládají skvělé hodnoty paropropustnosti okolo 0,04 m S_d. [11] Polyesterová vlákna v nosné vrstvě vykazují dobré hodnoty pro použitý účel. Mají vysokou odolnost proti světlu, větru a mikroorganismům. Rychle se suší díky malé navlhavosti okolo 0,4 %. Vlákna jsou lehká a můžeme různě profilovat, tím měnit vlastnosti textilie pro dosažení lepších hodnot, důležitých pro stavební fyziku. [12]

Přestože se mezi odbornou veřejností mluví téměř výhradně o zátěrových difuzních fóliích, pozornějším pozorovatelům neunikne fakt stále většího rozmachu folií dvouvrstvých membránových, kde je na nosné textilii přidaná hydrofobní membrána a třívrstvých membránových, kdy je membrána vložena mezi dvě netkané textilie. V základních vrstvách se již více využívá polypropylenových vláken a membrány jsou často mikroperforované. [13] Polypropylen je díky svým vlastnostem skvělým materiálem pro PHI. Má nejlepší hodnoty navlhavosti a výhodné vlastnosti z hlediska chemické odolnosti. Velkou daní za tyto přednosti je nešetrnost k životnímu prostředí. [14]

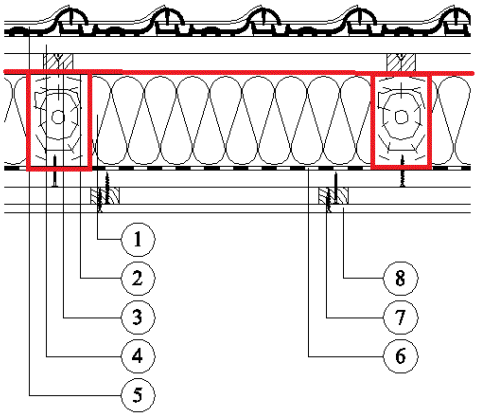
Fólie můžeme dělit na nekontaktní, kde je požadavek na vzduchovou mezeru pod difuzní folii (materiály s horší paropropustností) a kontaktní, kde naopak vzduchová mezera není třeba, jelikož difuzní odpor je nízký. [7]

2.4 Navrhování konstrukce a aplikace nanomembrány

Na základě znalostí konstruování standardních folií se stavebnímu průmyslu otevírají možnosti inovací. Komfort textilií řeší odvádění vodních par, tepelnou bilanci i hydrofobnost. Už jen dvě základní vlastnosti, které nás provádí tímto pojednáním, umí textilní průmysl řešit na úrovni pro stavitelství prozatím nedosažené. Běžně již umíme vyrobit membrány s odolností 30 metrů vodního sloupce a paropropustnosti téměř na hodnotách blížících se k nulové vrstvě vzduchu, a to při správné montáži může řešit řadu praktických problémů. [15] Česká norma ČSN 73 0540-2 [16] připouští množství kondenzátu v konstrukci pouze v množství 0,1 kg/m^2 v období jednoho roku. Tato norma je dokonce 5x přísnější oproti německé normě DIN 4108-3 [17]. Je třeba si uvědomit, že normy ne zrovna vždy reflektují na lidský faktor. V praxi často nejsou dodrženy správné podmínky relativních vlhkostí, teplot konstrukcí, montážních prací atp. Právě proto je třeba se zaměřit na vytváření podmínek, kdy konstrukcí projde i větší množství vodních par, než je při obvyklém navrhování počítáno. [18]

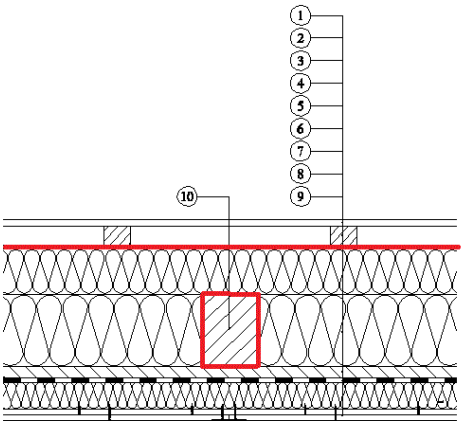
Uvědomme si další důležitou věc vyplývající na základě posloupnosti textu. S velkou nutností potřebujeme vytvářet kvalitní parotěsnou vrstvu. Takto maximálně omezíme difuzní tok z interiéru. Posléze můžeme celou výšku střešních krokví nebo nosných trámů využít pro izolant, protože materiál pojistné hydroizolace s minimálním difuzním odporem můžeme položit kontaktně na tesařské prvky a tepelnou izolaci. Takto ideálně konstruovaná střecha bude bez bednění, jelikož je to konstrukční prvek vytvářející difuzní odpor větší než pojistná hydroizolace. Takové bednění složené z prken o tloušťce 20 mm by mělo ekvivalentní difuzní tloušťku S_d okolo 3,12 m. [18]

Jednu z variant ideální montáže, dle našeho návrhu s pomocí nanomembrány, zobrazuje obrázek č. 4 v případě konstrukce šikmé střechy. V případě obvodové konstrukce je princip podobný, avšak místo laťování a střešní krytiny následuje bednění a kontaktní izolant včetně omítkového souvrství, popřípadě odvětrávaná mezera a obklad. Jako variantu montáže nanomembrány uvádíme obrázek č. 5.



Obrázek 4 Skladba neodvětrávané střechy se skládanou střešní krytinou [19]

Obrázek potvrzuje naši představu řešení, kdy sádrokarton (8), bednění (7) a parotěsná vrstva (6) vytváří z interiéru co největší bariéru pro vodní páry. Celá výška krokví je vyplněna izolačním materiálem (1) ze skelných nebo čedičových vláken. Kontaktně je položena difuzní folie složená z nanomembrány s nosnou textilií (2, červeně vyobrazeno), pro extrémní případy jsou i krokve obalené touto membránou, aby oddělila dřevěné prvky od potenciální vody v izolačním souvrství. Následně je již jen použito laťování (4) vč. kontralatí (3) na kterých je položená skládaná krytina (5).



Obrázek 5 Skladba obvodové konstrukce [19]

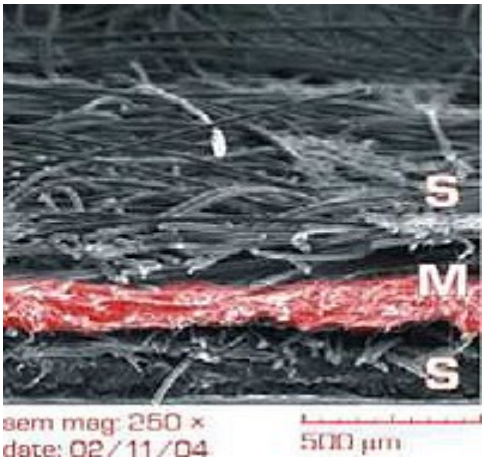
Dvojitá sádrokartonová konstrukce (9) spolu s izolantem (8) vytváří dostatečný prostor pro kotevní prvky uživatel stavby a tím chrání parozábranu (7) před prokotvením. Konstrukční deska (6) podporuje parotěsný efekt svým difuzním odporem a izolant (5,4) minimalizuje teplotní spád. Nosná konstrukce (10) je celá utopená v izolantu a PHI (3) slouží jako bariéra proti průniku vody z exteriéru při minimálním difuzním odporu. Následuje konstrukce (2) pro venkovní obklad (1). Nosná konstrukce (10) může být preventivně ošetřena proti případnému extrému vzniklého kondenzátu.

3 Textilní technologie ve stavebních konstrukcích

Stavební průmysl (stále konzervativně vypadající před širokou veřejností) má s textilem mnoho průniků. Široké spektrum vláken zejména ve sféře izolačních materiálů, nesčetně textilních technologií vyrábějících produkty pro zpevňování ploch a hodně inspirací konsenzuálně z jednoho odvětví k druhému otvírají bránu k mnohem pevnější spolupráci a více aplikacím, než je doposud prováděno. Obavy z větších investičních nákladů jsou dle našeho názoru zbytečné, jelikož přidaná hodnota vlastností stávajících výstupů z textilního průmyslu je vysoce převyšuje.

Nejčastěji pro předmětné zkoumání využíváme vrstvy netkaných textilií metodou spunbond, melt-blown a nově nanovlákna konstruující nanotextílie (membrány). Uplatnění technických textilií nám demonstruje např. společnost SVITAP J.H.J. spol. s.r.o., která tuto architekturu plně využívá např. pro komplexní zastřešení různých ploch. Její dceřinou společností je NANOMEMBRANE, která ve spolupráci s TUL vyvinula předmětnou nanomembránu. [20]

Jako další zajímavé výrobce uvedeme znojemský PEGAS NONWOVENS S.R.O., vyrábějící netkané technické textilie modifikované pro stavební trh (PEGAS NONWOWENS dodává výrobky pro velké spektrum průmyslových odvětví.) Základem výroby jsou jednovrstvé až třívrstvé textilie vyráběné nejčastěji z polypropylenových vláken, popřípadě bikomponentních vláken, kdy vlákno obsahuje PP jádro PE plášť pro lepší omak. Tuto vlastnost pro stavební průmysl nevyžadujeme a předmětně nás zajímá prakticky nulová navlhavost PP vláken, jejich levná výroba a snadná zpracovatelnost. Vrstvy bývají kombinací SM (spunbond-meltblown) popřípadě SMS (spunbond-meltblown-spunbond). Kombinace vrstev dává textilii mechanické vlastnosti, hydrofobnost a paropropustnost. Pro stavební účely nejčastěji využívá textilie S a SMS, které procházejí nadále úpravami hydrofobními, UV stabilizací nebo odolností proti hoření. [21]



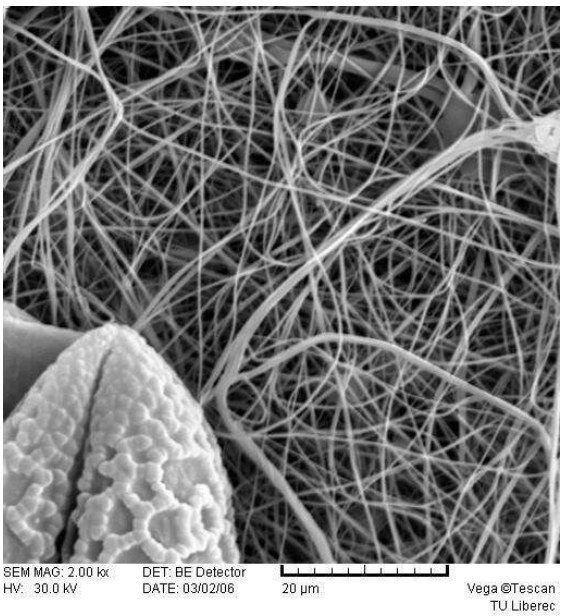
Obrázek 6 netkaná textilie typu SMS [20]

Zajímavý produkt přináší na trh firma zabývající se výrobou a inovacemi pro celé spektrum průmyslové výroby. Jedná se o společnost DUPOINT a její výrobek deklarující skvělou paropropustnost, mechanickou odolnost a hydrofobnost. Pod označením Tyvek® vyrábí textilní materiál připomínající papír, vyráběný modifikovanou netkanou technologií z mikrovláken. Funkční vrstva tohoto materiálu nahrazuje běžně využívaný polypropylen za stabilizovaný polyethylen. Deklarují tím větší odolnost proti UV záření. [22, 23]

Zatímco dříve se jako pojistné hydroizolace využívaly dominantně těžké asfaltové pásy, které nepřipouštěly téměř žádnou difuzi vodních par, nyní můžeme vidět, že díky příspěvku textilního průmyslu vyrábíme kvalitní produkty se skvělou odolností proti průniku vody do objektu s vynikající paropropustností. [10]

3.1 Nanotextilie

Celý stávající svět míří směrem k minimalizaci. Stává se to téměř definicí pokroku, kdy již není žádnou zvláštností nosit velký objem dat jako přívěšek na klíčích, nebo nahrazovat servery (dříve o rozměrech celé místnosti) krabičkami sotva převyšujícími rozměry dámské kabelky. Tímto se dostáváme do světa, ve kterém je prostředí pro lidské oko neviditelné, avšak pro život nezbytné. Nanotechnologie se staly novou metou výrazně ovlivňující veškerá odvětví průmyslu a vývoje. Rozměr, který je jednou miliardtinou metru nebo trojnásobkem průměru atomu křemíku, je naší přítomností a budoucností, která definuje stávající pokrok. [24]



Obrázek 7 Nanovlákna v porovnání s pylem. [24]

Nanovlákna skýtající šanci pro širokou škálu aplikací jsou tenkovrstvé struktury, ve kterých se průměr vláken pohybuje v intervalu desítek až stovek nanometrů. Aktuálně nejběžnější aplikace jsou mezi kompozity, filtrací, separačními membránami, kosmetikou, biomedicínou, oděvnictvím apod.

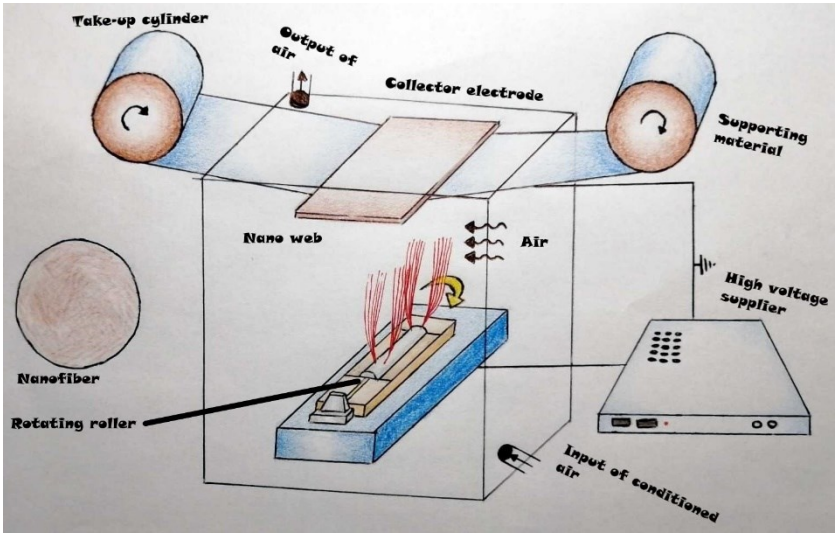
Autorka Mayerová ve své práci zamýšlí využití nanotextilií jako perspektivní pro stavební obor, přestože řešila pouze dřevostavby difuzně otevřené. Náš záměr aplikací pro střešní systémy a difuzně regulované (uzavřené, vyrovnané i otevřené) obvodové konstrukce rozšiřuje tuto perspektivu mnohonásobně. Díky technologii Nanospider je možnost vyrábět dostatečné množství materiálu pro nasycení trhu. To dává marketingovým pracovníkům úkol předat zákazníkovi informace o vysoké přidané hodnotě nanotextilií, jelikož vlastnosti standardních materiálů se s vlastnostmi membrán z nanovláken nedají zdaleka srovnat. [6,24]

Technologie nanospider

Stěžejní způsob zvlákňování byl vytvořen na katedře TUL kolektivem vedeným profesorem Oldřichem Jirsákem v roce 2003. Jedná se o metodu elektrostatického zvlákňování polymeru, kterou je možné vyrábět nanotextilie v obrovském rozsahu. Tato technologie produkuje 1 - 5 $g*min^{-1}*m^{-1}$ kdy plošná hmotnost materiálu je 0,1 - 5 $g*m^{-2}$. Průměr takových vláken se pohybuje okolo 100 – 300 nanometrů. [6, 24, 25]

Vlákenná vrstva vytvořená touto metodou postrádá mechanické vlastnosti potřebné pro stavební průmysl. Z těchto důvodů je třeba vrstvu nanovláken nanášet na nosnou, obvykle netkanou textilii. Tím můžeme konstruovat produkt složený ze dvou, nebo vhodněji tří vrstev. [26]

Vlákna jsou vyráběna z vodou rozpustných polymerů, polymerů ředitelných rozpouštědly nebo z tavenin. [27]



Obrázek 8 Schéma technologie nanospider

Podrobněji se technologií a specifikacemi zabývá autorka Majerová ve své kvalifikační práci. [6]

3.2 Technologie spunbond

V této kapitole parafrázujeme autory Jirsáka a Kalinovou [28]. Spunbond, neboli výroba pod hubicí, je jednou z technologií výroby přesněji její částí v případě vrstvených nebo zátěrových pojistných hydroizolací. Jde o vysoce produktivní technologii vhodnou pro masovou výrobu. Při konstruování paropropustné pojistné hydroizolace nám taková textilie bude nositelem mechanických vlastností, avšak pro horší bariérové schopnosti musí být finální výrobek opatřen zátěrem, popřípadě spojen s dobře paropropustnou vrstvou odolávající průniku vody.

Lineární vláknotvorné polymery jsou taveny a zvlákňovány obdobně jako u technologie výroby vláken z taveniny syntetických polymerů. Pro speciální textilie je možno využít zvlákňovací trysky pro tvorbu bikomponentního vlákna. Pod hubicí, jak již český název napovídá, dochází k odtahování vláken gravitačně, vzduchovou odtahovací tryskou nebo galetami s případným dloužením mezi jedním nebo více páry galet. Vlákna po vychlazení, popřípadě vydloužení, jsou na ploše pohybujícího se dopravníku rovnoměrně rozložena. Tak nám vzniká vlákenná vrstva. Rozložení vláken probíhá přímým ukládáním vláken z dostatečně široké zvlákňovací trysky, elektrickým nabitím vláken ve vzduchové odtahovací trysce, rozmítáním svazku vláken pod odtahovací vzduchovou tryskou výkyvnou destičkou, výkyvným pohybem odtahovací vzduchové trysky, šanžírováním nebo odtahem a ukládáním v celé šíři.

Technologie spun-bond byla modifikována americkou firmou DuPoint pod jménem flash-spinning.

FLASH-SPINNING

Označení technologie zablesknout a vyšlehnout téměř definuje styl výroby vlákenné vrstvy. Je to technologie pro výrobu PE textilie Tyvek, o kterém se zmiňujeme na straně 28. Jde v podstatě o rozpad filamentů na síť jemných fibril v podélném směru soudržných. Toho je dosaženo zvlákňováním vysokohustotního PE ve vhodném rozpouštědle (např. freon) pod tlakem při teplotě vyšší než bod varu rozpouštědla. Roztok je při konstantní teplotě a tlaku veden ke zvlákňovací trubici, kde následně pod hubicí (při normálním tlaku) dojde téměř „zábleskem“ k odpaření rozpouštědla. Následné pojení je prováděno kalandrem nejčastěji s rastrovacími válci.

3.3 Technologie melt-blown

V našem jazyce tento název většinou nepřekládáme jako tavit a foukat, ale používáme zejména originální označení. Jedná se o technologii podobně jako spunbond velmi hojně využívanou ve stavitelství zejména pro její bariérové schopnosti a při využití vhodných vláken a vhodných technologických kroků i kvůli její odolnosti proti průniku vody. Pro využití při konstrukci paropropustné pojistné izolace budou hlavním problémem nedostatečné mechanické vlastnosti a bude třeba opatřit spojení s vrstvou, která tyto nedostatky odstraní. Využít můžeme například spunbond textilie nebo pro extrémní případy s přidanou armovací tkaninou v perlinkové vazbě (návrh autora práce). Textilie typu

melt-blown, spunbond, jejich kombinace popřípadě s další modifikací využijeme oproti membráně z nanovláken pouze do střešních konstrukcí jako PHI. Jako bariéra proti průniku vody ze strany exteriéru do objektu, ať při využití jako součást omítkového souvrství dle návrhu autorky Mayerové, nebo dle našeho záměru jako samostatná vrstva kontaktně uložená v konstrukci, poslouží mnohem vhodněji nanomembrána. [6, 28]

Výrobky se skládají z vláken volitelných průměrů, typicky o průměru 2 – 4 mikrony s velkým měrným povrchem. Procesem je ale možné vyrobit vlákna o průměru pouze 0,1 mikronu. Proces začíná tavením polymeru a dopravou taveniny k hubici. K tavení a transportu se využívá tavného extruderu. Tvorba vlákna probíhá ve speciální výtlačné trubici s mnoha zvlákňovacími otvory ve výrobní šíři zařízení. Otvory jsou na hraně trubice a je k nim přiváděn stlačený horký vzduch, který strhává taveninu a formuje ji do tvaru vláken. Při větší síle působení vzduchu roste délka vlákna. To je nepravidelně dlouženo a při určité délce je odtrženo. Vlákna jsou formována do vlákenné vrstvy na porézním bubnu nebo pásu, následně pojena a celá textilie je navíjena. Oproti melt-blown jsou zpracovávány speciální nízkomolekulární vysoce tekuté polymery při indexu toku 30-1500. [28]

Jemnějších vláken dosáhneme zejména nižší viskozitou taveniny polymeru, větší teplotou vzduchu a větším poměrem vzduchu oproti polymeru. Tyto charakteristiky ale znamenají menší produkci, růst ceny a vysokou energetickou náročnost. [28]

Experimentální část

4 Charakteristika testovaných materiálů

Pro experimentální část této práce bylo připraveno velké množství standardních pojistných hydroizolací střešních konstrukcí, nanovlákenná membrána a netkané textilie typu SMS, SM a S, u kterých (díky základním vlastnostem z dané technologie výroby) očekáváme dobré výsledky námi pozorovaných vlastností. Pro různé metodiky byl z velké škály dostupných vzorků vybrán určitý počet dle vhodnosti.

4.1 Pojistná hydroizolace

Standartní pojistné hydroizolace běžně dostupné na trhu pod označením podstřešní folie, difuzní membrána, difuzní folie etc. Testované vzorky jsou vícevrstvé lamináty opatřené membránou, difuzním filmem, popřípadě funkčním zátěrem. Tímto způsobem je řešena funkce hydrostatické odolnosti se zachováním co nejlepších hodnot difuze skrz vrstvu. V převážné většině je uveden jako převažující materiál polypropylen a ekvivalentní difuzní tloušťka oněch materiálů se pohybuje od 0,02 S_d [m] výše. Výrobci dostupných vzorků jsou Juta, DuPoint a MDM. Hlavní doménou testovaných vzorků má být výborná paropropustnost pro kontaktní montáž v rámci konstrukčních systémů. Odolnost vodního sloupce obvykle okolo 2 m. [11, 29, 30]

Obrázek 9 Pojistné hydroizolace

4.2 Netkané textilie SMS, SM a S

Při hledání zajímavých materiálů pro konstruování pojistné hydroizolace do střešních konstrukcí nás zaujal materiál vyráběný technologií spunbond a melt-blown od společnosti PEGAS NONWOWENS. Tyto textilie jsou konstruované z polypropylenových vláken vynikajících téměř nulovou nasákavosti a díky technologii výroby potenciálně dobrou hydrostatickou odolnosti při zachování výborné paropropustnosti. Jedná se o samotnou vrstvu spunbond s označením (S) a kombinaci vrstev spunbond a melt-blown s označením (SM, SMS). Pokud by tento materiál vykazoval nízkou hydrostatickou odolnost, mohl by se hypoteticky nechat opatřit vhodným zátěrem. Nicméně by zátěr zcela jistě zhoršil skvělé hodnoty difuze skrz tuto vrstvu. [21]

Obrázek 10 Netkané textilie PEGAS

4.3 Tyvek papír

Velice kvalitní textilní produkt od společnosti Dupoint využívaný primárně na obalové vrstvy jako ochrana výrobků. Výrobek má deklarovánu vynikající UV odolnost, nepropustnost pro vodu, avšak vynikající paropropustnost. Primárním materiálem je modifikovaný polyethylen zpracovávaný technologií flash spinning, která je modifikací známé netkané technologie spunbond. [22, 23]

4.4 Nanomembrána

Tato kapitola čerpá z informací od společnosti NANOMEMBRANE [31] a autora Knížka [32]. Primárním cílem a sledovaným objektem v rámci této práce je nanovlákenná membrána, jež má vykazovat několikanásobně lepší hodnoty paropropustnosti, přičemž díky svému způsobu výroby má zvládat vysokou hydrostatickou odolnost až 30 m vodního sloupce.

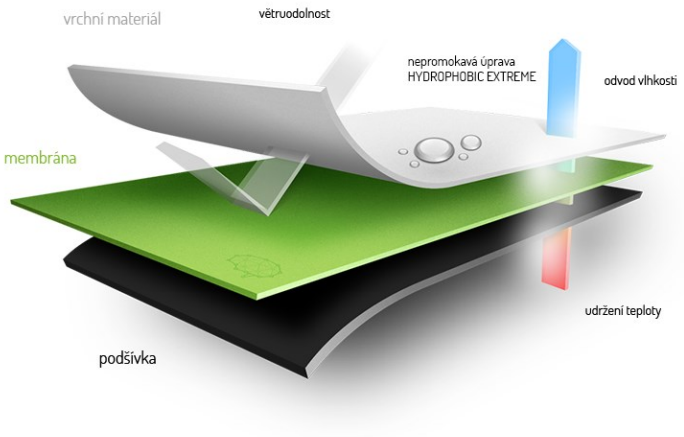
Obecný pojem membrána znamená tenkou homogenní strukturu tvořící rozhraní mezi dvěma prostředími. V textilním průmyslu se nejčastěji využívají membrány mikroporézní a hydrofilní pracující

na principu sorpce molekul vodní páry do hydrofilních skupin vláken. Tyto membrány jsou v oděvnictví laminovány na určitý textilní nosič z důvodu obtížné zpracovatelnosti a nedostatečných mechanických vlastností. Pro stavební průmysl nám poslouží membrány mikroporézní, jelikož jejich přidaná hodnota má potenciál přínosu dokonalých vlastností pro stavební průmysl za vyšší nominální cenu.

Na katedře hodnocení textilií TUL byla vyvinuta a patentována metoda výroby nanovlákenné vrstvy, která má oproti konkurenčním produktům vykazovat mnohonásobně lepší parametry. Společnost NANOMEMBRANE, která je výrobcem zkoumané nanomembrány, využívá svůj produkt primárně k výrobě vrstvených laminátů outdoorového oblečení. Nelze si nepovšimnout průsečíku sledovaných vlastností outdoorového laminátu a materiálů využívaných jako pojistná hydroizolace.

Bariérové vlastnosti membrány jsou zajištěny na základě jednoduchého základního poznatku. Mezery mezi vlákny (póry ve struktuře membrány) jsou natolik velké, aby mohla bez problému proniknout molekula vodní páry obsažená ve vzduchu, ale natolik malé, aby neprošla kapka vody.

Membrány od společnosti NANOMEMBRANE se vyrábějí z polyamidu 6, který byl objeven panem P. Schlackem a v Československu vyráběn pod názvem Silon. Využití polyamidů není ani ve stavitelství výjimkou. Předností PA6 je zejména tvrdost, malý koeficient tření, odolnost vůči otěru a relativně vysoká tepelná odolnost. Nově dle přímého sdělení výrobce se pro výrobu používá také polyuretan. Hodnota výparného odporu se od firmy deklaruje na hodnoty okolo 0,0 Ret. Výrobci ji popisují jako druhou vrstvu kůže. Na obrázku č.11 je znázorněn prostup vodních par skrz třívrstvý laminát pro oděvní účely složený z podšívky, membrány a vrchního materiálu.



Obrázek 11 Prostup vodních par skrz třívrstvý laminát [31]

5 Metodika

Primární posuzovanou vlastností testovaných materiálů je paropropustnost za různých podmínek nasycení prostředí. Mechanické vlastnosti všech testovaných vzorků řeší vrstvy textilie, hydrostatické odolnosti zátěry, membrány a povrchové úpravy. UV ochranu části zajišťující nosné vlastnosti zaopatřuje nosná textilie, popřípadě povrchové úpravy. Jedinou variabilní vlastností je tedy otevřenost k prostupu vodních par skrz konstrukci. Nejvhodnější metodikou pro naše testování se jeví laboratorní přístroj PERMETEST, který kalkuluje do hodnoty výparného odporu všechny důležité fyzikální jevy. Standartní certifikovaná metoda DRY-WET se pro naše účely nejeví jako nejvhodnější z důvodu složitého vytvoření klimatických podmínek a zanášení chyby do praktického měření. V souvislosti s tímto poznatkem testujeme vlastní metodiku, která bude sloužit jako poměrový ukazatel mezi paropropustností každé série vzorku. [15]

5.1 Permetest

Pro posuzování odporu kladeného vrstvou textilního materiálu je primární a nejlepší volbou (v současné době) přístroj PERMETEST, vynalezený na katedře hodnocení textilií technické univerzity v Liberci profesorem Lubošem Hesem.

Autor Hes [15] ve svých materiálech uvádí: „*Permetest, přístroj malých rozměrů založený na měření tepelného toku q. Při měření je hlavice pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržována na teplotě okolního vzduchu, který je do přístroje nasáván. Tímto jsou zajištěny izotermické podmínky měření. Vlhkost se v porézní vrstvě změní na páru, která přes separační folii prochází měřeným vzorkem. Příslušný výparný tepelný tok je měřen speciálním snímačem a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti textilie nebo nepřímo úměrná výparnému odporu. Pro oba případy je nejprve měřen tepelný tok bez vzorku a až následně je měřen vzorek, kdy přístroj registruje odpovídající tepelné toky.*“

Relativní paropropustnost

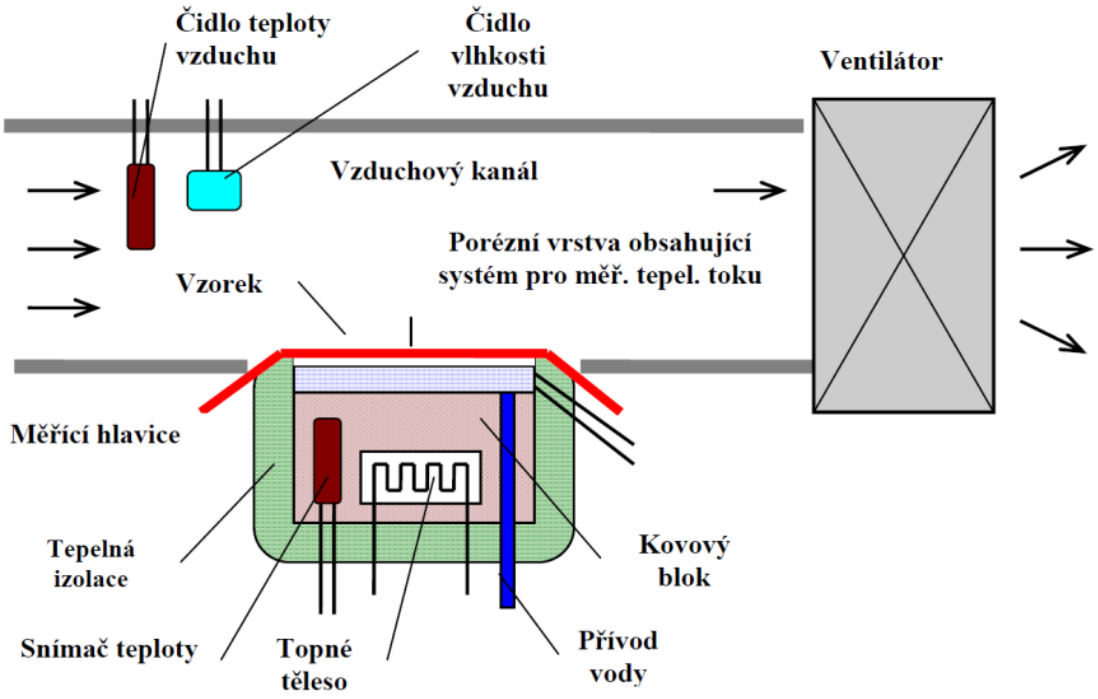
Relativní paropropustnost je sice nenormalizovaný ukazatel, avšak demonstruje poměr tepelného toku procházejícího zakrytou hlavicí přístroje q_v [W/m^2] k tepelnému toku procházející hlavicí nezakrytou q_0 [W/m^2]. Výpočet probíhá na základě vzorce:

$$p = 100(\frac{qv}{q0})\ [\%]$$

Výparný odpor

Stanovení výparného odporu R_{et} [Pa.m^2.W^{-1}] provádíme na základě rozdílů parciálních tlaků vodní páry ve vzduchu. Parciální tlak P_m [Pa] je nasycený parciální tlak vodní páry na povrchu hlavice a P_a [Pa] je parciální tlak vodní páry ve zkušebním prostoru při teplotě vzduchu. Celý výpočtový vztah je dán rovnicí:

$$R_{et} = (P_m - P_a)(q_v^{-1} - q_0^{-1})\ [\text{Pa.m}^2.\text{W}^{-1}]$$



Obrázek 12 Schéma přístroje PERMETEST [15]

5.2 Vlastní metodika měření paropropustnosti

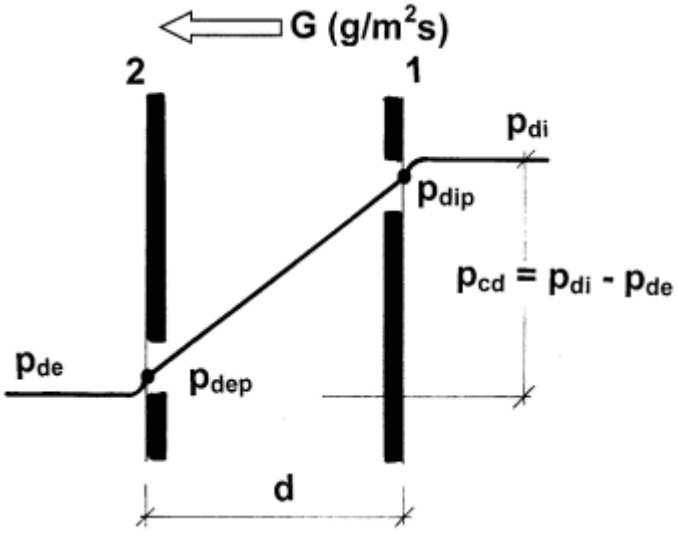
Tvorba vlastní metodiky je založená na principu zákona difuze vodních par. Jde o to, vytvořit dvě prostředí, ve kterých bude rozdílný tlak vodní páry závisející na teplotě prostředí. V praktickém znění se jedná o dvě spojené nádoby, kdy do spodní části představující prostředí č. 1. bude umístěna kapalina, která bude difundovat do druhé nádoby označené jako prostředí č. 2. Protože v prostředí č. 2. bude nižší teplota, nastane opačný děj, tedy kondenzace. Díky bariérovým vlastnostem testovaných materiálů neprojde kondenzát zpět do prostředí č. 1. Budeme sledovat, kolik vodních par projde skrz testovaný vzorek za jednotku času. Toto množství vypočteme jako hmotnostní nebo objemový úbytek kapaliny v prostředí č. 1. k době pozorování.

V naší metodice vycházíme z poznatku, že k uvolňování molekul vodní páry z hladiny vody dochází za každé teploty. Množství odparu je ovlivněno zejména teplotou, tlakem vodní páry nad hladinou a plochou. V rámci plánování a konstruování metodiky sledování paropropustnosti materiálů se nám nejlépe ovlivňuje teplota. Můžeme si v našich podmínkách nejsnadněji nadefinovat výkon topného tělesa [kW] nebo teplotu předávací plochy. Zvýšená teplota vody v prostředí č. 1. způsobí rychlejší a větší odpar z vodní hladiny, tím větší bude relativní vlhkost prostředí č. 1. Prostředí č. 2. bude méně nasycené a teplota bude menší. Tyto podmínky zajistí cestu molekul vodní páry do prostředí č. 2 a následnou kondenzaci.

Námi navržená metodika bude sloužit jako ukazatel množství vodní páry, které překoná částečný (nízký) difuzní odpor textilního materiálu. Ukáže nám, o kolik lépe bude propouštět vodní páry než jiný materiál v závislosti na hmotnostní změně kapaliny v prostředí č. 1. za stejných podmínek měření několika materiálů (stejný výkon použitý k ohřevu kapaliny ve stejném čase za stejného prostředí). Nicméně tento způsob měření by mohl být prototypem pro přístroj určující propustnost pro vodní páry a součinitele prostupu vodních par pro konkrétní testovaný materiál na základě poznatků následující kapitoly.

5.3 Modifikace navržené metodiky pro uvedení do praxe

Při práci s naší metodikou vycházíme z poznatků a předpokladů analogie mezi prostupem tepla a vlhkostí skrz konstrukci podle autora Jelínka [33]. Metoda výpočtu průchodu difuzní vlhkosti je stanovena na základě dvou rozdílných prostředí (jako prostředí č. 1 a prostředí č. 2) s rozdílnými tlaky vodní páry a je podobná s tokem tepla při nahrazení veličin tepelného toku tokem vlhkostním, teplotním průběhem za průběh částečného tlaku vodní páry, tepelného odporu za difuzní odpor a přestupu tepla na obou přestupových plochách za přestup vlhkosti. Na obrázku níže je znázorněn průběh částečného tlaku vodní páry jednovrstvou stěnou o konstantním difuzním odporu. Předpokladem je stejná funkčnost případné textilie o tloušťce d. Popis byl upraven k navrhované metodice.



Obrázek 13 Výpočtové schéma vlhkostního toku [33]

G – difuzní vlhkostní tok, p_{di} – částečný tlak vodní páry prostředí č. 1, p_{de} – částečný tlak vodní páry prostředí č. 2, p_{dc} – dispoziční částečný tlak vodní páry, p_{dip} a p_{dep} – částečný tlak vodní páry na vnitřní a vnější přestupové ploše prostředí č. 1 a 2, d – tloušťka textilie.

Prostup vlhkosti

Pro prostup vlhkosti stanovenou plochou 1 m^2 (pro vzorky je třeba provést přepočet) je možné provést výpočet podle vztahu:

$$G = 1U_d(p_{di} - p_{de}) \quad [g*m^{-2}*s^{-1}]$$

U_d [g/m^2hPa] součinitel prostupu vodní páry textilií, p_{di} – částečný tlak vodní páry u prostředí č. 1, p_{de} – tlak vodní páry u prostředí č. 2.

Součinitel vodní páry je vyjádřen na základě odporu při prostupu vodní páry R_d:

$$U_d = 1/R_d \quad [g/m^2hPa]$$

Odpor u prostupu vodní páry je opět analogický s tepelným prostupem, součtem odporů přestupů z textilie a do textilie s difuzním odporem samotné textilie (m^2hPa/g).

Protože se součinitel přestupu vlhkosti stanovuje složitěji a měně přesněji než součinitel přestupu tepla, tak se někdy ve výpočtech zanedbává a tím se z výpočtu vylučuje odpor přestupů „z textilie“ a „do textilie“. Ve výpočtu tedy figuruje pouze difuzní odpor textilie $R_{d\delta}$.

$$\mathrm{Rd}\delta = \frac{\mathrm{d}}{\delta}$$ na základě předchozí poznámky určíme $R_{d\delta} = R_d$ [m^2hPa/g]

Postup pro výpočet se tak zjednoduší na vztah:

$$G = \frac{1}{R_d} * (p_{di} - p_{de})\ [g*m^{-2}*s^{-1}]$$

Protože zjistit hmotnost kapaliny, která projde za jednotku času plochou testovaného vzorku je pro naše navrhované měření snadné na základě objemového nebo hmotnostního úbytku (gram skrz plochu za jednotku času), dá nám tento ukazatel po přepočtu údaj G [$g*m^{-2}*s^{-1}$] (difuzní vlhkostní tok). Pokud by do prototypu naší metodiky bylo umístěno čidlo vyhodnocující částečný tlak vodní páry v prostředí č. 1 a 2, mohl by vzniknout stroj měřící difuzní odpor a součinitel prostupu vodní páry.

5.4 Způsob měření paropropustnosti

Jako základní výchozí model testovacího zařízení nám poslouží skleněná nádoba tvořená ze dvou částí. Spodní část tvořená demontovatelným víkem vytváří modelované prostředí označené jako č. 1. Zde bude obsažena kapalina (voda) o objemu 40 ml při hustotě přibližně 1000 g/m^3. Do prostředí bude dodávána tepelná energie pomocí topného konvertoru za účelem zvýšení částečného tlaku vodních par. Přes spodní část bude umístěn vzorek s těsněním a celý systém bude uzavřen vrchní částí většího objemu. Sledovaný parametr je hmotnostní úbytek kapaliny v prostředí č. 1. za předem stanovenou dobu. Stejné podmínky budou zajištěny díky několika současným měřením ve stejném časovém úseku.

Částečné úpravy metodiky využijeme u měření C, dle popisu níže, kde bude testována volná difuze do otevřeného prostředí.

Definice vstupních parametrů ohřevu

a) Ohřev 2,5 kW konvertorem (přibližně 80°C na přestupné ploše) pro 24 hodin.
b) Ohřev 2 kW konvertorem (přibližně 45°C na přestupné ploše) pro 24 hodin.
c) Volná difuze do otevřeného prostředí pro období dvou dní (60 ml kapalina).

5.5 Příprava měření

Jak již bylo zmíněno v předešlém textu, v prvním kroku si připravíme prostředí č. 1. tvořící spodní část modelu testovacího zařízení. Spodní skleněná nádoba musí být nejprve zvážena samostatně laboratorní váhou, aby bylo zjištěno, zdali není velká hmotnostní diference v testovacích objektech. Po aplikaci nadefinovaného množství kapaliny se zváží celá sestava a stav se zaznamená (M_1). Paropropustnost je definována na základě zvážené sestavy (spodní nádoba + kapalina) po ukončení měření (M_2) na základě vztahu MVTR = $M_1 - M_2$ a přepočtena na plochu 1 m^2 celé v rozměru [g/m^2/24h].

Obrázek 14 Spodní nádoba

Následně na spodní nádobu umístíme testovaný vzorek, který upevníme těsněním zajišťující vodotěsný a parotěsný spoj mezi spodní a vrchní skleněnou nádobou.

Obrázek 15 Detail umístění testovaného vzorku

V poslední fázi uzavřeme a zkompletujeme celé testovací zařízení pomocí vrchní nádoby tvořící prostředí č. 2. Kompletní model umístíme na topný konvertor definovaného výkonu po definovanou dobu.

Obrázek 16 Kompletace a umístění testovacího zařízení

5.6 Příprava vzorků

Příprava vzorků pro tuto metodiku nepodléhá zvláštním požadavkům. Podmínkou je pouze dostatečný přesah přes kruhový výřez definující přestupní plochu pro vodní páry o průměru d = 63 a 64 mm. Nejlépe se osvědčil čtvercový výřez o rozměrech 100 x 100 mm. Takto jsme upravovali vlastní materiály. Dodavatelské vzorky PHI zůstaly z důvodů dalšího zkoumání bez úpravy.

5.7 Kontrola definovaných hodnot

Pro zajištění maximální objektivnosti měření kontrolujeme veškeré parametry teplot, objemů a hmotností. Využíváme pro tyto účely bezkontaktních teploměrů, injekčních stříkaček a laboratorních vah s přesností na setiny gramu. Každé měření podléhá přísné kontrole při správné přípravě celého testovacího zařízení.

Obrázek 17 Příprava experimentu a kontrola parametrů

5.8 Statistické zhodnocení výsledků

Získaná data byla zpracovávána a hodnocena pomocí programů MS Excel a Statistica 12 s využitím základních nástrojů, analýzy rozptylu a regresní analýzy. Tato kapitola parafrázuje informace od autorek Kubíkové, Beránkové [34] a společnosti HOMEN [35].

Testování hypotéz

Statistickou hypotézou je tvrzení, které se týká neznámé vlastnosti rozdělení pravděpodobností náhodné proměnné nebo jejích parametrů. Hypotéza, jejíž platnost ověřujeme, se nazývá nulová hypotéza H_0. Proti nulové hypotéze stavíme alternativní hypotézu H_1. Protože data jsou náhodná a my nemůžeme provádět závěry s absolutní jistotou, tak dopředu stanovujeme hladinu spolehlivosti α. Tato hladina nám definuje míru rizika, s kterým přijímáme nebo zamítáme nulovou hypotézu H_0 s možností chyby prvního druhu. Při větší hladině α zvyšujeme riziko přijetí neplatné nulové hypotézy a tím stanovení chyby druhého druhu.

Testovací kritérium podmíněné předpokládanou platností H_0 je porovnáváno s kritickou hodnotou. Při překročení meze se zamítá H_0 a přijímá alternativní hypotéza H_1.

Díky moderním testovacím nástrojům již není potřeba určovat kritické meze. Můžeme využívat hodnoty významnosti „p“. Tuto hodnotu porovnáváme s určenou hodnotou α za podmínek, že pokud je $p < \alpha$, tak zamítáme nulovou hypotézu ve prospěch alternativní s rizikem chyby prvního druhu. Opačně pokud je $p > \alpha$, tak je nulová hypotéza přijata s možností chyby druhého druhu.

Regresní analýza

Regresní analýzu využíváme v případech, kdy sledujeme závislost v našem případě jedné kvantitativní proměnné X a jiné kvantitativní proměnné Y. Regresní funkcí sledujeme průběh zkoumané závislosti. V grafu nám ji zobrazuje nejvhodnější proložení korelačního pole dle definovaného vhodného algoritmu. Pro vyhodnocení závislosti využíváme koeficient determinace R^2 v rozmezí od -1 do 1. Čím více se hodnoty blíží k jedné, tím více jsou proměnné závislé. Pro vyjádření průměrného průběhu závislosti používáme nejčastěji funkce lineární, exponenciální, logaritmické a polynomiální. Pro představu: v případě, kdy osou korelačního pole je přímka, jedná se o lineární regresní funkci $y´ = a + bx$.

Analýza rozptylu

Hlavním použitím analýzy rozptylu označované souhrnně pod názvem ANOVA je sledování a posuzování hlavních a interakčních účinků jednotlivých faktorů na závislé proměnné a testování rozdílů mezi průměry u více testovaných skupin (m).

Pravidla pro H_0 a H_1 jsou stanoveny:

$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_m$

$H_1 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \ldots \neq \mu_m$

Přijetí nulové hypotézy vykazuje nevýznamnost rozdílů mezi skupinami, avšak její zamítnutí a přijetí alternativní hypotézy H_1 upozorňuje na rozdílnost nejméně jedné střední hodnoty v porovnání s ostatními. V případě přijetí hypotézy H_1 přecházíme na „post-hoc“ detailnější testování pomocí Turkeyho, Scheffého a Fischera.

6 Výsledky a diskuze

6.1 Permetest

V laboratořích katedry hodnocení textilií jsme provedli řadu měření pomocí přístroje PERMETEST. Primárně jsme se zaměřili na hodnocení pomocí výparného odporu R_{et} [$Pa*m^2*W^{-1}$]. Získaná data jsou uvedena v tabulce č.2. Testovali jsme mnoho vzorků textilií a počet náměrů byl stanoven dle rozměru a stavu vzorků. Některé vzorky bylo možné měřit pouze jedenkrát, jiné byly v ploše testovány opakovaně. Mezi měřenými vzorky standardních pojistných hydroizolací byly i materiály zvažované pro možné aplikace ve stavebních technologiích. Naměřená data byla řazena do tříd dle ekvivalentní difuzní tloušťky a materiálu, následně zpracována základními statistickými nástroji v tabulce č. 3.

Tabulka 2 Náměr výparného odporu

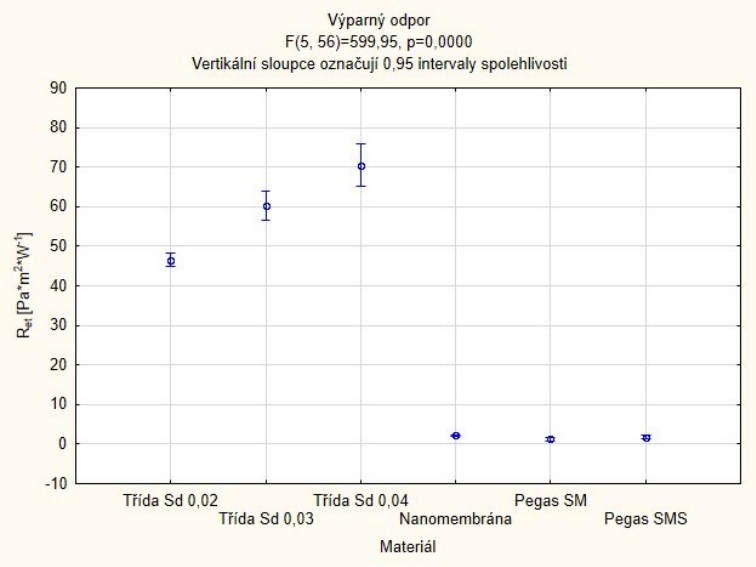
Název	S_d	Ret 1	Ret 2	Ret 3	Ret 4	Ret 5	Ret 6	Ret 7	Ret 8	Ret 9	Ret 10	Ret 11
	m	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]	[Pa*m²*w⁻¹]
Ventia Wind	0,005	3,1	2,1	1,5	1,3	1,2	2,30	1,7	1,7	1,9	1,8	2,10
Tyvek Pro/Tape	0,02	49,8	38,4	44,2								
Tyvek Comfortec	0,02	45,6	44,8	44,8								
Ventia Iron	0,02	43,7	49,9									
Ventia Bronze	0,02	51,3	51,1	52,5								
Jutadach 150	0,02	45,2	47,2	48,1								
Ventia Titanium	0,02	49,1										
Tyvek Solid	0,02	54,3										
Jutadach 115	0,02	43,9	45,3	45,1								
Jutadach 135	0,02	42,1	42,2									
Vaxo S	0,03	58,1										
Vaxo M	0,03	58,2	54	57,7								
Vaxo L	0,03	59,0	59,6	60,4								
Vaxo XL	0,03	63,0	77,2	56,2	59,9	60,5						
Ventia Platinum	0,04	72,2	76,8									
Ventia Cobalt plus	0,04	65,5										
Ventia premium	0,04	64,6	68,1	75,3								
Judatach Monolitic	0,1	396,1	366,8									
Nanomembrane	-	2,5	2,3	2,2	2,2	2,3	2,1	2,3	1,7			
Tyvek Papír	-	5,1	12,1	7,7								
Pegas SM	-	1,3	1,6	1,5	0,8	1,5	2,1	0,7	1,5	0,5	2,2	
Pegas S	-	0,1	1,2	0,9								
Pegas SMS	-	2,2	1,8	1,4	2,1	1,4						

Tabulka 3 Základní statistiky výparného odporu Ret

Materiál	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Směrodatná odchylka	Variační koeficient
Třída S_d 0,005	10	1,9000	1,85	1,2	3,1	0,3044	0,5518	29,04
Třída S_d 0,02	21	46,5952	45,30	38,4	54,3	15,4505	3,9307	8,44
Třída S_d 0,03	12	60,3083	59,30	54,0	77,2	33,4772	5,7860	9,59
Třída S_d 0,04	6	70,4167	70,15	64,6	76,8	26,2297	5,1215	7,27
Třída S_d 0,1	2	381,4500	381,45	366,8	396,1	429,2450	20,7182	5,43
Nanomembrána	8	2,2000	2,25	1,7	2,5	0,0543	0,2330	10,59
Pegas S	3	0,7333	0,90	0,1	1,2	0,3233	0,5686	77,54
Pegas SM	10	1,3200	1,40	0,5	2,2	0,3284	0,5731	43,42
Pegas SMS	5	1,7600	1,80	1,4	2,2	0,1280	0,3578	20,33
Tyvek papír	3	8,3000	7,70	5,1	12,1	12,5200	3,5384	42,63

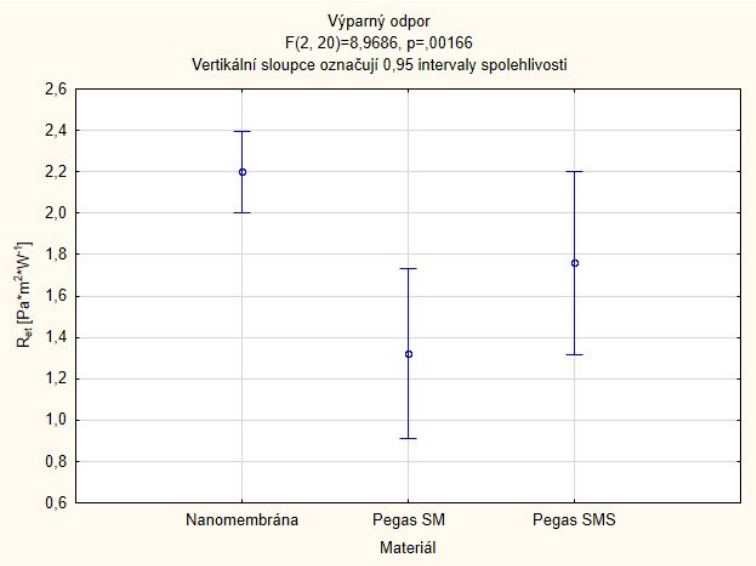
Jednofaktorová analýza variace

Byl pozorován vliv a typ použitého materiálu na výparný odpor za použití jednofaktorové analýzy rozptylu. Výstupem jednoduchého třídění je zhodnocení statistické významnosti průměrného výparného odporu sledovaných materiálů. Z této analýzy byly vyňaty materiály, jež považujeme na základě náměrů a základních statistik za nevhodné pro aplikaci do konstrukcí dle našeho záměru. Jmenovitě se jedná o třídu ekvivalentní difuzní tloušťky S_d1 z důvodu vysokého výparného odporu. Tyvek papír dosahuje sice příznivých hodnot, avšak jeho struktura a vysoká nelineárnost hodnot v ploše nás nepřesvědčila o své přidané hodnotě. Pegas S sice vykazuje skvělé hodnoty výparného odporu, avšak vzhledem k technologii výroby nemůže mít dostatečné hydrofobní vlastnosti. Hladina významnosti p = 0,0000 nám určuje zamítnutí nulové hypotézy H_0 ve prospěch alternativní H_1. Nejméně jedna dvojice průměrů se liší na hladině významnosti α = 0,05.



Obrázek 18 Graf průměrů zobrazující vliv materiálů na výparný odpor (ANOVA)

Obdobné srovnání provedeme na materiálech, kterými zamýšlíme teoretickou možnost inovovat stavební trh pro aplikace v konstrukcích. Hladina významnosti p = 0,00166 zamítá H_0 ve prospěch H_1 na hladině α = 0,05. Rozdíl minimálně mezi jednou dvojicí je statisticky významný.



Obrázek 19 Graf průměrů výběru zobrazující vliv materiálů na výparný odpor (ANOVA)

Následujícím krokem bylo vyhodnocení podrobnější analýzy rozptylu pomocí Turkeyho HSD unequal N testu, kterou jsme zároveň ověřovali pomocí Schefféova a Fisherova LSD testu. Výsledky jsme zobrazovali jak pomocí významných diferencí, tak homogenních skupin vždy pro α = 0,05. Průměry se směrodatnou chybou jsme seřadili od nejlepšího k nejhoršímu a hvězdičky ve třídách jsme označili statisticky významné rozdíly na hladině významnosti α = 0,05. Tento postup nám vykazuje tabulka č. 4 a 5. Nejnižších hodnot výparného odporu dosáhla Pegas SM textilie, Pegas

SMS a nanomembrána. Přestože z hlediska výparného odporu membrána obsadila až třetí místo, díky technologii výroby má být hydrostatická odolnost řádově větší oproti SM a SMS textilii. Pokud se budeme opírat o teoretickou část této práce, tak větší hydrostatická odolnost umožní zařazení do lepší třídy z hlediska PHI.

Tabulka 4 Hodnocení vlivu použitého materiálu na difuzní odpor textilie (průměr +/- směrodatná chyba). Využití jednofaktorové ANOVY, rozbor dle Turkey unsequal N, Scheffé a Fischer LSD, hvězdičky značí rozdílné třídy dle statistické významnosti na hladině α = 0,05

Materiál	R_{et} (Průměr) [Pa*m^2*w^{-1}]	1	2	3	4
Pegas SM	1,32 ± 0,18	****			
Pegas SMS	1,76 ± 0,16	****			
Nanomembrána	2,2 ± 0,08	****			
Třída Sd 0,02	46,6 ± 0,86		****		
Třída Sd 0,03	60,31 ± 1,67			****	
Třída Sd 0,04	70,42 ± 2,09				****

Tabulka 5 Hodnocení vlivu výběru použitého materiálu na difuzní odpor textilie (průměr +/- směrodatná chyba). Využití jednofaktorové ANOVY, rozbor dle Turkey unsequal N, Scheffé a Fischer LSD, hvězdičky značí rozdílné třídy dle statistické významnosti na hladině α = 0,05

Materiál 2	R_{et} 2 (Průměr) [Pa*m^2*w^{-1}]	1	2
Pegas SM	1,32 ± 0,18	****	
Pegas SMS	1,76 ± 0,16	****	****
Nanomembrána	2,2 ± 0,08		****

Poslední možností porovnávání výparného odporu je klasifikace v souladu s normou ISO 11092 v tabulce č. 6. U této klasifikace musíme bohužel jednoznačně říci, že pro stavební technické textilie je naprosto nevhodná, protože žádný z testovaných materiálů dostupných na trhu při hodnocení jako nejlepší kontaktní PHI by nedosáhl ani na kategorii uspokojivá. Dle této klasifikace by hodnocení velmi dobrá dosáhly všechny námi testované textilní materiály. Již tento fakt upozorňuje a potvrzuje naše přesvědčení, že u PHI jsme schopni modelovat textilie mnohonásobně „difuznější“.

Tabulka 6 Klasifikace paropropustnosti [32]

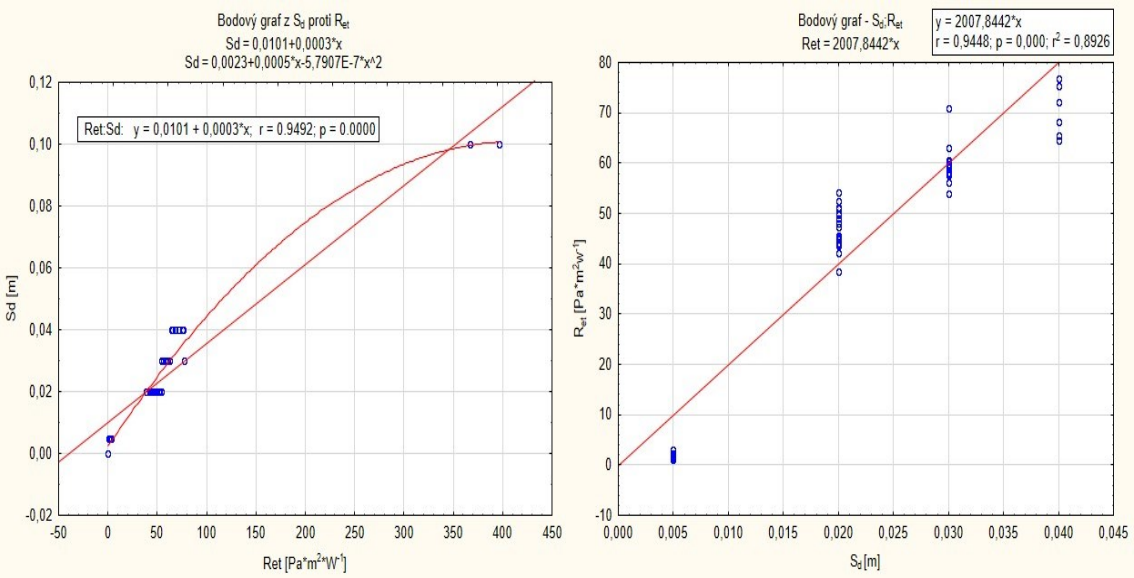
Hodnota Ret [Pa.m².W^{-1}]	Paropropustnost
R_{et} < 6	Velmi dobrá
R_{et} 6 - 13	Dobrá
R_{et} 13 - 20	Uspokojivá
R_{et} > 20	Neuspokojivá

Tabulka 7 Klasifikace paropropustnosti dle MVTR [32]

Hodnota Ret [Pa.m².W^{-1}]	MVTR
R_{et} < 6	nad 20 000g/m^2.24 hod
R_{et} 6 - 13	20 000 – 9 000/m^2.24 hod
R_{et} 13 - 20	9 000 – 5 000 g/m^2.24 hod
R_{et} > 20	pod 5 000 g/m^2.24 hod

Ani klasifikace paropropustnosti dle MVTR není aplikovatelná pro stavební technické textilie. Navíc hodnoty MVTR nereflektují na důležité fyzikální veličiny. Naprostá absence vlivu teploty a vlhkosti v této metodě vede ke zkreslování výsledků a tato metodika pomalu opouští i textilní průmysl. Častým trikem je prezentování vysokých hodnot MVTR, ale absence upozornění pro jakou relativní vlhkost byla předmětná látka zkoumána, nebo její skrytí jako poznámku pod čarou. Jde ale v podstatě o matení zákazníka, protože tímto se skutečnost může posunout o třídu vedle. Pro vysoce paropropustné materiály do ekvivalentní difuzní tloušťky cca 0,1 není v současné době lepšího a zároveň dostupného měření, nežli testování na výparný odpor R_{et} za pomocí přístroje PERMETEST, který reflektuje vliv teploty, vlhkosti a tím i tlaku. Omezení nastává pouze při měření textilií ekvivalentní difuzní tloušťky nad hodnotu 0,1 S_d. Zde již textilie tvoří natolik velký odpor, že je velký problém měření provést. [32]

Z důvodů nespokojenosti se zobrazenou klasifikací, protože nám demonstruje hodnocení difuzních vlastností pro oděvní textilie, stanovujeme vlastní klasifikační převodovou tabulku. Na základě porovnání závislostí a regresí dvou pozorovaných difuzních odporů označovaných jako ekvivalentní difuzní tloušťka S_d a výparný odpor R_{et} definujeme převodový vztah. Jelikož se jedná o dvě veličiny charakterizující odpor textilie proti průniku molekul vodních par, předpokládáme lineární závislost obou veličin. Do měření zavádíme výchozí stav, kdy nulová ekvivalentní difuzní tloušťka charakterizující odpor materiálu oproti odporu vzduchu v určité tloušťce (v tomto případě nulové) bude klást nulový výparný odpor R_{et}. Zjednodušeně se jedná o předpoklad, že v případě nulové tloušťky materiálu (vzduchu) nemají molekuly vodní páry žádný odpor k dalšímu pohybu (S_d = R_{et} = 0) Pro názornost představujeme jak graf závislostí S_d proti R_{et}, tak alternativní pro hlubší diskuzi. Prokládáme lineární přímkou dle předpokladu, polynomiální jako vhodnější proložení na základě výsledku měření.



Obrázek 20 Sledování závislosti S_d a R_{et}

Vyhodnocení závislostí:

Při sledování závislosti dvou způsobů hodnocení difuzního odporu jsme porovnávali závislosti difuzního odporu S_d a výparného odporu R_{et}. Jelikož obě veličiny označují jeden fyzikální jev, předpokládali jsme lineární vztah obou veličin. Jako nulový bod byl zaveden předpoklad, že nulová ekvivalentní difuzní tloušťka je rovna nulovému výparnému odporu. Bodový graf závislostí X a Y proložený lineární přímkou demonstruje průběh do mínusových hodnot, což v praxi být nemůže. Lépe vyhovuje křivka polynomická druhého kvadrátu. V oblasti S_d 0,05 - 0,09 m nemáme žádné dostupné materiály pro možné testování. V oblasti hodnot nad 0,09 S_d [m] se jedná o poměrně špatnou propustnost vodních par. Proto zde můžeme mít nepatrné podezření o relevanci výsledků přístroje PERMETEST. Tyto důvody, včetně trendu vyrábět materiály vysoce difuzní, nás vedou k modelu v právem grafu. V tomto případě již s predikcí hodnot výrazněji koresponduje proložení lineární. Pro přepočet použijeme jak funkci polynomickou, tak funkci lineární na základě úvodního předpokladu včetně modelu pravého grafu. Hodnota významnosti pro oba grafy p=0,0000, tím zamítáme hypotézu H_0 a přijímáme alternativní hypotézu H_1. Statistický rozdíl dat je tedy významný a data vykazují velkou závislost R = 0,9492 a R^2 = 0,9009 (levý) koeficient determinace pro pravý graf je roven 0,8926.

Tabulka 8 Návrhový přepočtový vztah pro hodnoty výparného odporu na ekvivalentní difuzní tloušťku na základě regresní analýzy a bodového grafu pro polynomickou a lineární funkci včetně alternativního modelu.

Ret [Pa.m^2.W-1]	**S_d (polynomiální) [m]**	**S_d (lineární) [m]**	**S_d (lineární) alternativní [m]**
2,2	0,003	0,011	0,001
4	0,004	0,011	0,002
10	0,007	0,013	0,005
20	0,012	0,016	0,010
30	0,017	0,019	0,015
40	0,021	0,022	0,020
50	0,026	0,025	0,025
60	0,030	0,028	0,030
70	0,034	0,031	0,035
80	0,039	0,034	0,040
90	0,043	0,037	0,045
100	0,047	0,040	0,050

Na základě dat z tabulky č. 8 vidíme dle hodnot jasnou informaci, že polynomiální funkce lépe vystihuje výsledky měření oproti lineárnímu modelu uprostřed tabulky. Dává nám představu o faktu, že naše testovaná textilie od výrobce Nanomembrane vykazuje hodnoty po přepočtu na ekvivalentní difuzní tloušťku „blížící“ se nulové vrstvě nehybného stojícího vzduchu. V alternativním lineárním modelu se v hodnotách od 40 R_{et} hodnoty S_d sbližují, pod touto hranicí by predikce byla ještě nepatrně lepší v hodnotách ekvivalentní difuzní tloušťky. Tyto přepočtové hodnoty, ačkoliv jsou přibližným vodítkem k určení, otevírají možnost zjistit objem kondenzátu vzniklý v konstrukci pro výpočtové období v softwarech k tomuto účelu určených dle příslušných norem. Takové výsledky jsme již schopni porovnat a získat představu o řešené problematice v praxi. Přepočet z ekvivalentní difuzní tloušťky na faktor difuzního odporu je totiž již velmi snadný. Ekvivalentní difuzní tloušťka není nic víc, než součin faktoru difuzního odporu a tloušťky materiálu, jak jsme již v teoretické části předeslali. Protože funkce na základě závislostí mezi X a Y jsou stanoveny na základě 51 měření, můžeme tento vztah považovat za dostatečně demonstrativní pro účely této práce. Stanovení tohoto převodového stavu by mohlo být důležitým krokem z hlediska stavební a textilní kooperace.

6.2 Paropropustnost na základě navržené metodiky

Velké množství vzorků bylo vystaveno testování propustnosti molekul vodních par na základě návrhu poměrně jednoduché, ale prakticky dobře demonstrující metody. V následujících tabulkách jsou uvedeny jednotlivé hodnoty propustnosti vodních par skrz testovaný vzorek vystavený pro časovou jednotku 24-42 hodin s přepočtem na plochu 1 m^2 označené MVTR [g/m^2/24h]. V neposlední řadě jsme zavedli poměrnou propustnost vodních par, kde demonstrujeme, kolika procent propustnosti dosáhly veškeré uvedené materiály v tabulkách oproti nejlepšímu vzorku. Testování jednoznačně vyhrála nanovlákenná membrána. V měření se objevuje „Windbarier“, avšak zde se nejedná o PHI. Pouze o materiál s hodnotou S_d 0,005 m sloužící k porovnání výsledných hodnot.

Tabulka 9 Propustnost materiálů první série dle definovaných podmínek, přepočet na propustnost vodních par skrz 1 m2 včetně zavedené poměrné propustnosti.

Série č. 1 (paropropustnost 24 hodin, ohřev 80 °C)						
Název	**S_d [m]**	**M1 [g]**	**M2 [g]**	**Propustnost vzorku [g]**	**MVTR [g/m$_2$/24h]**	**Poměrná propustnost [%]**
Nanomembrána	0,003	202,54	163,17	39,37	12303,13	100,00
Nanomembrána	0,003	222,14	184,05	38,09	12287,07	99,87
Nanomembrána	0,003	222,02	184,02	38,00	12258,04	99,63
Nanomembrána	0,003	222,63	185,68	36,95	11919,33	96,88
Nanomembrána	0,003	203,89	165,95	37,94	11856,25	96,37
Nanomembrána	0,003	222,57	187,13	35,44	11432,24	92,92
Ventia Windbarier	0,005	201,97	165,91	36,06	11268,75	91,59
Nanomembrána	0,003	222,50	190,84	31,66	10212,88	83,01
Nanomembrána	0,003	202,51	170,96	31,55	10177,40	82,72
Ventia Windbarier	0,005	203,88	171,32	32,56	10175,00	82,70
Ventia Windbarier	0,005	202,34	171,98	30,36	9487,50	77,11
Jutadach 150	0,02	222,67	198,00	24,67	7958,05	64,68
Ventia Gold	0,02	196,74	172,41	24,33	7603,13	61,80
Jutatop WB	0,02	204,06	180,50	23,56	7362,50	59,84
Tyvec Comfortec	0,02	194,81	171,71	23,10	7218,75	58,67
Tyvek Solid	0,03	196,20	173,33	22,87	7146,87	58,09
Vaxo XXL	0,03	222,38	201,64	20,74	6690,31	54,38
Vaxo S	0,03	202,97	183,37	19,60	6322,57	51,39
Ventia Titanium	0,02	222,07	202,57	19,50	6290,31	51,13
Ventia Cobalt +	0,04	222,13	204,05	18,08	5832,25	47,40
Jutadach Top	0,02	203,79	185,18	18,61	5815,63	47,27
Jutadach 115	0,02	222,48	204,81	17,67	5699,99	46,33
Vaxo M	0,03	222,48	205,19	17,29	5577,41	45,33
Jutadach 115	0,02	222,10	205,73	16,37	5280,63	42,92
Ventia Cobalt +	0,04	222,44	206,28	16,16	5212,89	42,37
Jutadach 135	0,02	222,37	206,30	16,07	5183,86	42,13
Ventia Base	0,02	202,42	187,94	14,48	4670,96	37,97
Ventia Premium	0,04	222,16	207,68	14,48	4670,96	37,97
Ventia platinum +	0,04	194,90	180,42	14,48	4525,00	36,78
Jutadach Super	0,03	222,22	210,43	11,79	3803,22	30,91
Jutadach Master	0,02	222,40	211,41	10,99	3545,15	28,82
Jutafold 110	2,00	202,49	198,17	4,32	1393,55	11,33
Jutadach Thermoisol WB	0,20	204,00	199,98	4,02	1256,25	10,21
Jutadach Thermoizol	0,15	222,09	218,54	3,55	1145,16	9,31
Jutadach DTB 150	5,00	195,08	192,97	2,11	659,38	5,36

Tabulka 10 Propustnost materiálů druhé série dle definovaných podmínek, přepočet na propustnost vodních par skrz 1 m2 včetně zavedené poměrné propustnosti.

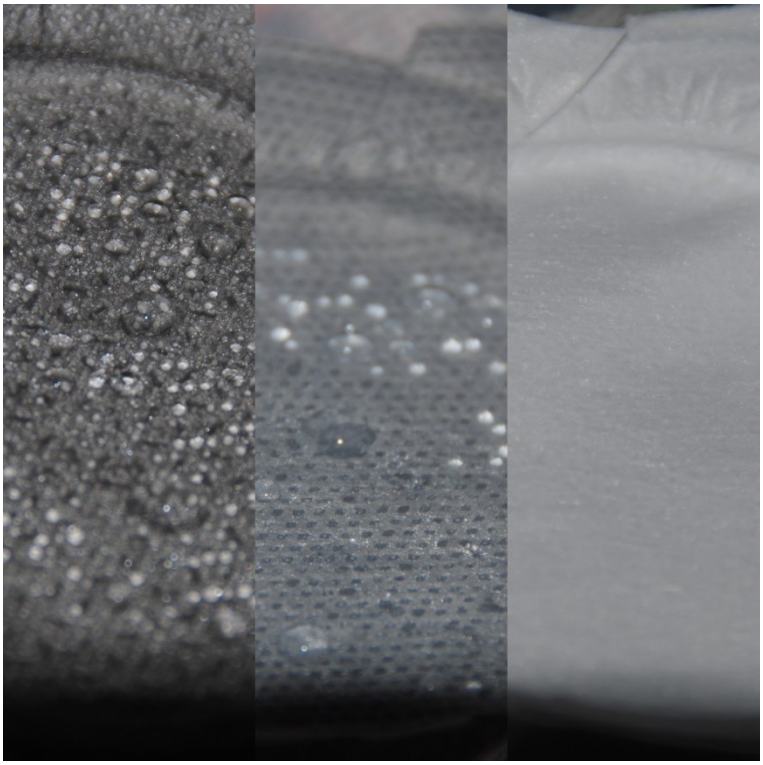
Paropropustnost (48 hodin, bez ohřevu, 5,3 průměr výparné plochy)						
Název	**S_d [m]**	**M1 [g]**	**M2 [g]**	**Propustnost vzorku [g]**	**MVTR [g/m$_2$/24h]**	**Poměrná propustnost [%]**
Nanomembrána	0,003	252,63	248,07	4,56	2067,96	100,00
Tyvec 1	0,02	254,78	251,76	3,02	1369,57	66,23
Ventia Platinum plus	0,04	256,61	253,69	2,92	1324,22	64,04
Vaxo M	0,03	253,06	250,21	2,85	1292,48	62,50
Vaxo L	0,03	252,88	250,11	2,77	1256,20	60,75
Vaxo S	0,03	252,89	250,12	2,77	1256,20	60,75
Ventia Cobalt plus	0,04	255,24	252,59	2,65	1201,78	58,11
Ventia Premium	0,04	256,42	253,92	2,50	1133,75	54,82
Tyvek Solid	0,02	253,46	251,02	2,44	1106,54	53,51
Ventia Base	0,02	253,50	251,61	1,89	857,12	41,45

Tabulka 11 Propustnost materiálů třetí série dle definovaných podmínek, přepočet na propustnost vodních par skrz 1 m2 včetně zavedené poměrné propustnosti.

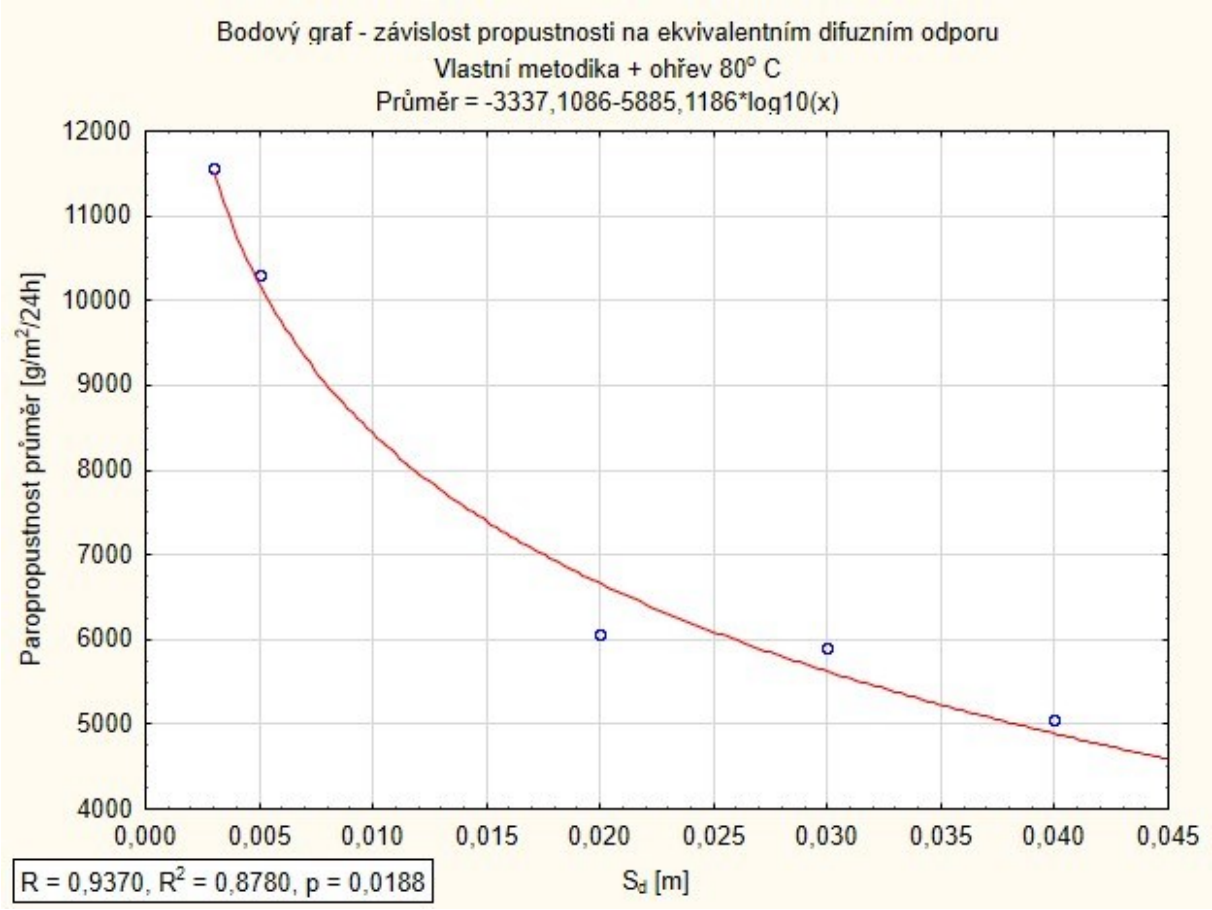
Série č. 2 (paropropustnost 24 hodin, ohřev 45 °C)						
Název	**S_d [m]**	**M1 [g]**	**M2 [g]**	**Propustnost vzorku [g]**	**MVTR [g/m$_2$/24h]**	**Poměrná propustnost [%]**
Nanomembrána	0,003	202,12	178,33	23,79	7434,36	100,00
Ventia platinum +	0,04	203,88	190,54	13,34	4168,75	56,07
Vaxo L	0,03	203,90	193,28	10,62	3318,75	44,64
Tyvec pro tape	0,02	194,87	184,87	10,00	3125,00	42,03

Velice zajímavý poznatek na základě této metodiky pramení z vizuální kontroly chování daného materiálu. Při testování jsme mohli vidět, že na rozdíl od ostatních materiálů v případě membrány vodní páry prošly během pár minut a začaly tvořit kondenzát v prostředí označované č. 2. Tento kondenzát byl v mnohem větším viditelném množství po celou dobu testování (obrázek č. 21). Stejně tak po ukončení testování jsme viděli, že u standartních difuzních PHI díky vysokému odporu kondenzují kapky vody na její spodní části. Tento jev se u membrány nikdy nevyskytl (obrázek č. 22).

Obrázek 21 Zobrazení kondenzace vodních par v prostředí č. 2



Obrázek 22 Zobrazení kondenzace na spodní části textilie



Obrázek 23 Propustnost materiálu v závislosti na ekvivalentní difuzní tloušťce

Regresní analýza

Pro zobrazení pozorované závislosti byl zvolen bodový graf, na kterém jsme pozorovali nejvhodnější proložení včetně rovnice ve vrchní části grafu. Nejlépe proložené korelační pole bylo funkcí logaritmickou. Vysoký koeficient determinace o hodnotě 0,9033 nám naznačuje velmi silnou závislost.

Tabulka 12 Návrhový přepočtový vztah pro hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky na paropropustnost na základě regresní analýzy a bodového grafu.

Paropropustnost [g/m²/24h]	S_d [m]
14318,247	0,001
12546,650	0,002
11510,332	0,003
10204,726	0,005
6661,531	0,020
5625,213	0,030
4889,934	0,040
2548,010	0,100

Paropropustnost materiálu ve třídách S_d

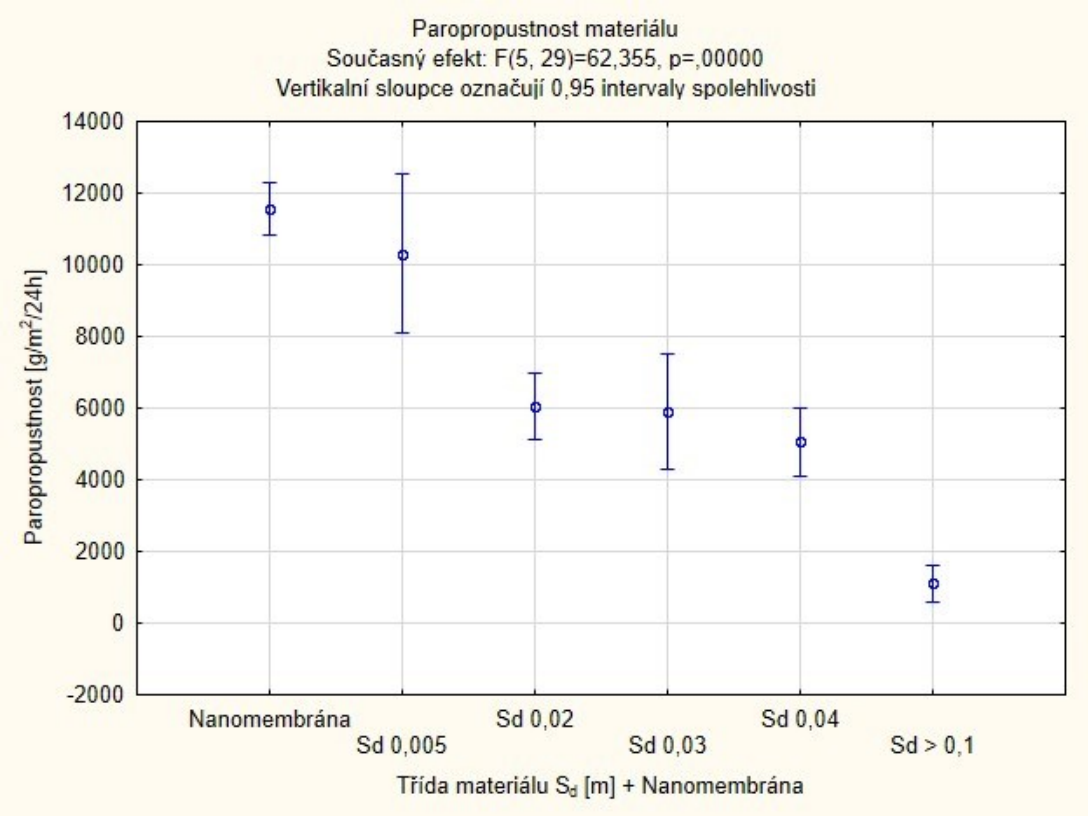
Statistické zhodnocení první série vzorků z důvodu největšího počtu náměrů a největší efektivitě měření. Výsledky propustností seřadíme podle udaných hodnot ekvivalentní difuzní tloušťky a vyhodnotíme základní statistické veličiny včetně sledování vlivu materiálu o určité ekvivalentní difuzní tloušťce na propustnost u našich měřených vzorků.

Tabulka 13 Základní statistické nástroje – propustnost [g/m^2/24h]

Název	Statistické hodnoty							
	N	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch	Var.koef.
Nanomembrána	8	11555,79	11887,79	10177,40	12303,13	789643,41	888,62	7,69
S_d 0,005	3	10310,42	10175,00	9487,50	11268,75	806966,15	898,31	8,71
S_d 0,02	11	6057,18	5815,63	3545,15	7958,05	1889423,01	1374,56	22,69
S_d 0,03	5	5908,08	6322,57	3803,22	7146,87	1714520,73	1309,40	22,16
S_d 0,04	4	5060,27	4941,93	4525,00	5832,25	352439,59	593,67	11,73
S_d > 0,1	4	1113,58	1200,70	659,38	1393,55	102011,63	319,39	28,68

Jednofaktorová analýza variace

Byl pozorován vliv použitého materiálu na propustnost vodních par za použití jednofaktorové analýzy rozptylu. Výstupem jednoduchého třídění je zhodnocení statistické významnosti průměrné propustnosti vodních par u sledovaných materiálů. Hladina spolehlivosti p = 0,0000 upozorňuje na statisticky významný vliv použitého materiálu na propustnost vodních par.



Obrázek 24 Graf průměrů s odchylkami: Vliv materiálu na propustnost vodních par (ANOVA)

Následujícím krokem bylo vyhodnocení podrobnější analýzy rozptylu pomocí Turkeyho HSD unequal N testu. Výsledky jsme zobrazovali jak pomocí významných diferencí, tak pomocí homogenních skupin vždy s hodnotou α = 0,05. Průměry se směrodatnou chybou jsme seřadili od nejlepšího k nejhoršímu a hvězdičkami ve třídách jsme označili statisticky významné rozdíly na hladině významnosti α = 0,05. Tento postup nám vykazuje tabulka č. 13. Nejlepší paropropustnosti dosáhla nanomembrána. Skvělé hodnoty ihned v závěsu drží materiál od společnosti MDM, avšak není navržen jako PHI, nýbrž jenom jako větrozábrana. Ve vyhodnocení slouží demonstrativně jako ukazatel praktického pokoření nejdostupnějšího běžného paropropustného materiálu ve stavebnictví. Potvrzujeme měření v první části na přístroji PERMETEST, ve kterých dosahujeme s nanomembránou lepších hodnot oproti materiálu ekvivalentní difuzní tloušťky 0,005 m.

Tabulka 14 Vliv materiálu na propustnost vodních par (průměr +/- směrodatná chyba) Jednofaktorová ANOVA, post hoc Turkey HSD unequal N test, hvězdičky značí rozdílné třídy dle statistické významnosti na hladině α = 0,05.

Č. buňky	HSD TEST - Unequal N				
	Název	Paropropustnost přepočtena	1	2	3
6	S_d > 0,10	1113,58 ± 314,17			****
5	S_d 0,04	5060,27 ± 518,64	****		
4	S_d 0,03	5908,08 ± 414,45	****		
3	S_d 0,02	6057,18 ± 585,58	****		
2	S_d 0,005	10310,42 ± 296,83		****	
1	Nanomembrána	11555,79 ± 159,70		****	

6.3 Nanomembrána ve stavebních konstrukcích

- **Určení tloušťky materiálu – h na přístroji ALAMBETA**

Tabulka 15 Statistické vyhodnocený tloušťky materiálu

Materiál	Základní statistika – h [mm]									
	N	Průměr	IS dolní 95%	IS horní 95%	Median	Min	Max	Rozptyl	CV	Směrod. Ch.
Nanomembrána	15	0,49	0,47	0,51	0,50	0,43	0,54	0,001	6,454	0,008

- **Přepočet na faktor difuzního odporu**

Tabulka 16 Určení faktoru difuzního odporu

Materiál	Tloušťka h [m]	Ekvivalentní difuzní tloušťka S_d [m]	Faktor difuzního odporu [-]
Nanomembrána	0,00049	0,003	6,12

Na základě komplexního posouzení softwaru „Mezera 2017“, kde byla nanomembrána hodnocena spolu s jedním z nejlepších difuzních materiálů na trhu difuzních folií, byla opět ověřena hypotéza o vhodnosti aplikace nanomembrány z hlediska PHI. Oba testované subjekty splnily normové hodnoty, avšak u nanomembrány byla kondenzace zcela vyloučena. U standardního materiálu byl výsledek hraniční. V případě překročení relativní vlhkosti v interiéru nad normové hodnoty u standardního materiálu hrozí nadměrná kondenzace a je potřeba přikročit k provedení důkladné parotěsnící vrstvy, případně k nadkrokevní tepelné izolaci.

Druhý pozorovaný ukazatel vychází velmi nepříznivě pro standardní materiál, kdy hrozí nebezpečí relativní vlhkosti nad 80 % v ročním cyklu u dřevěných prvků po dobu 181 dní. U nanomembrány se jedná o přibližně poloviční období.

Na základě výsledků může v případě nanomembrány dojít k zjednodušení konstrukce a absenci parotěsné vrstvy. V hodnoceném případě není potřeba rozšiřování dřevěných prvků ani použití nadkrokevní tepelné izolace.

6.4 Předmět pro další výzkum

V rámci zvažovaného použití jako PHI navrhuji následující testování na hydrostatickou odolnost při dlouhodobé expozici UV záření pod dobu 1–6 měsíců. Testování by mělo probíhat na základě zjištění hydrostatické odolnosti ve výchozím stavu a následně každý další měsíc při soustavné expozici v režimu den/noc. Na základě výsledků zvážit případnou UV stabilizaci či úpravu montážního návodu v praktickém užívání. Následně doporučuji testovat mechanické vlastnosti testované třívrstvé textilie s membránou, a to zejména odolnost proti vytržení z hřebíku. Zde se pak může uvažovat, zdali je odolnost dostatečná, popřípadě souvrství opatřit zpevňovací mřížkou.

Díky deklarovaným vlastnostem membrány se otevírá velká možnost aplikací také v případě sanací standardních vad prvků ve stavitelství. Navrhujeme testovat možnost zabránění průniku srážkové vody v problematických detailech styku omítkového souvrství a klempířských prvků. Stejně tak jakákoliv problematická místa, kde je potřeba zabránit průniku vody, například vlivem rozdílné dilatace materiálů.

V souvislosti s navrhovanou metodikou pro sledování propustnosti materiálu pro vodní páry navrhujeme testovat jiné možnosti těsnění okolo dvou prostředí a vzorku. Námi navrhovaná sestava byla jistě dostatečně vodotěsná, avšak vzniká vážné podezření, že při větším odporu textilie a vzrůstajícím tlaku nebyla dostatečně parotěsná. Na vysoce difuzní materiály metodika fungovala velmi dobře, avšak při ekvivalentní difuzní tloušťce nad 0,1 m máme obavy ze zkreslení výsledku. Je potřeba s navrhovanou metodikou nadále pracovat a provést další měření. Obecně se nám ale z hlediska investovaných prostředků jeví jako velmi levná, dostatečně rychlá, přesto méně náročná oproti DRY-WET metodě.

Závěr

Celou touto závěrečnou prací nás provází jeden (z našeho pohledu) velice důležitý jev jménem difuze. Dosavadní směr stavebního průmyslu často spěchá v hledání materiálů s vysokou hydrostatických odolností za cenu poklesu schopností látky propouštět molekuly vodní páry (potvrzujeme ve výsledcích měření). Netvrdíme v žádném případě, že hydrostatická odolnost PHI není důležitá, pouze si klademe otázku do jaké míry. Kvalitu střešní krytiny, její montáž a údržbu jsme schopni zajistit mnohem snadněji, než zabránit průniku vodních par do konstrukce. Technické chyby montáže parotěsnící vrstvy, vliv užívání stavby a lidský faktor nás v tomto tvrzení ujišťuje. Tím pádem bereme difuzní vlastnosti PHI jako alfu a omegu pro navrhování stavebních konstrukcí.

V současné době hodnocení textilních produktů využívaných jako pojistné hydroizolace nachází značné nedostatky zejména u vysoce difuzních materiálů. Gravimetrická metodika DRY-WET je nositelem určité nepřesnosti a MVTR nereflektuje důležité vlivy. Na základě dat z měření se nejlépe jeví výparný odpor, uvažující všechny důležité veličiny. Pro materiály s nízkým difuzním odporem není v současné době lepší a dostupnější alternativy. Pro měření hůře propustných materiálů by mohla být vyvinuta metodika, jejím základem by mohla být tato práce.

Naše hodnocené materiály (nanomembrána, Pegas S, SM a SMS) se na základě měření ukázaly jako nositelé řádově nejlepších difuzních vlastností v porovnání se standardním sortimentem dostupným na trhu označovaným jako nejlepší difuzní pojistné hydroizolace. Membrána z nanovláken dokonce při svých výjimečných difuzních vlastnostech garantuje hydrostatickou odolnost až 30 m vodního sloupce, čímž nabízí cestu na trh jako jeden z nejlepších difuzních materiálů vůbec, ale také jako jeden z nejlepších PHI v hydrostatické odolnosti. Zároveň má potenciál být možnou bariérou proti průniku vody při záplavách a povodních. Při porovnání s aktuálně dostupnou nabídkou na trhu stavebních materiálů jsme prokázali mnohem lepší sledované vlastnosti.

S pomocí měření a statistických nástrojů jsme zjistili statisticky významné rozdíly v hodnotách difuzních odporů a paropropustností u nanomembrány oproti standartním materiálům. Stanovili jsme přepočtovou tabulku pro měřené výparné odpory do veličin ve stavitelství standardně využívaných. Výsledek regrese v případě námi navržené metodiky a ekvivalentní difuzní tloušťky potvrdil náměry pro obě použité metodiky oboustranně. Měřená data hodnocených vlastností a zařazení nanomembrány do třídy S_d 0,003 [m] je tím potvrzeno jako relevantní.

Vlastní metodika nám umožnila sledování paropropustnosti v různých, mnohdy až extrémních podmínkách. Viděli jsme nepřekonatelné vlastnosti nanomembrány, kdy nejen že propustila za různých podmínek nejvíce vodních par, ale vodní páry prošly skrz testovaný materiál v řádu minut a jako první jsme u ní vizuálně zaznamenali kondenzaci v druhém prostředí. Měření na přístroji PERMETEST nás upozornilo na poměrně nelineární vlastnosti standardních PHI. Praktický test tuto informaci potvrdil a ukázal významné diference v měřených částech oproti udávaným vlastnostem.

V poslední fázi testování byla nanomembrána vystavena za použití softwarových nástrojů simulaci praktické montáže do stavební konstrukce. Kondenzace a ohrožení dřevěných prvků bylo vyloučeno a výsledkem je pro nás optimalizace skladby konstrukce. Je možná úplná absence parotěsnící vrstvy bez rizika kondenzace vodních par a ohrožení dřevěných prvků.

Celá experimentální část potvrdila obrovský potenciál nanovlákenné membrány v uplatnění pro bariérový materiál aplikovaný do konstrukcí z hlediska PHI (difuzní folie, difuzní membrána atp.). Vlastní navržená metodika se jeví levně a pro materiály s nízkým difuzním odporem dostatečně přesně. Potvrzujeme úvodní hypotézu o vhodnosti aplikace nanovlákenné membrány do vrstev stavebních konstrukcí z hlediska PHI na základě hodnocených vlastností.

Seznam citací

[1] Hejhálek, J. *Difúze Vodní Páry v Konstrukci*. In: www.stavebnictvi3000.cz [online], 2 Duben. 2005, [cit. 30.11.2017] Dostupné z: www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-v-konstrukci/.

[2] Hejhálek, J. *Difúze Vodní Páry – veličiny, hodnoty a jednotky.* In: www.stavebnictvi3000.cz [online], 18 Prosinec. 2010,[cit. 30.11.2017] Dostupné z: http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-vodni-pary-veliciny-hodnoty-a-jednotky/

[3] Autor neznámý. *Základní Pojmy*. Systém NOVATOP, In: www.novatop-system.cz [online], [cit. 18.12.2017] Dostupné z: www.novatop-system.cz/system-novatop/zakladni-pojmy/.

[4] Autor neznámý. *Paropropustnost, dufúze a kondenzace vodní páry, I. část*. In: www.izolace-info.cz[online], 28.5.2013, [cit. 18.12.2017] Dostupné z: https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/fyzikalni-veliciny/?nid=9527-paropropustnost-difuze-a-kondenzace-vodni-pary-i-cast.html#.Wjf7kbpFy00

[5] Hejhálek, J. *Veličiny a jednotky "difúzních" výpočtů*. In: www.stavebnictvi3000.cz [online], 17.2.2011, [cit. 19.12.2017] Dostupné z: http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/difuze-a-kondenzace-vodni-pary-difuzne-otevrene-konstrukce/

[6] Mayerová, K. V*yužití nanovlákenné membrány pro ochranu dřevostaveb proti vlhkosti*. Liberec, 2016. Diplomová práce. Faktulta textilní Technické univerzity v Liberci. Vedoucí práce Ludmila Fridrichová.

[7] Kritiny-střechy, JN. *Střešní folie do šikmých střech- Seriál Moderní střecha*, In:www.krytiny-strechy.cz [online]. Copyright © 2008 [cit. 19.12.2017]. Dostupné z: https://www.krytiny-strechy.cz/technicke_info-k-navrhovani-strech/stresni-krytiny/?nid=6532-stresni-folie-do-sikmych-strech-serial-moderni-strecha.html#.WjlcS7pFy00

[8] Rypl, J. *Problematika a hrůzy při provádění parozábran v zateplených šikmých střechách*, In: www.stavba.tzb-info.cz [online], [cit. 2.1.2018], Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/strechy/3397-problematika-a-hruzy-pri-provadeni-parozabran-v-zateplenych-sikmych-strechach

[9] Běhálek, L. "*Polymery*" In: Publi.cz – platforma pro multimediální eBooky neboli mKnihy, www.publi.cz [online]. Copyright © Code Creator, s.r.o. [cit. 02.01.2018]. Dostupné z: https://publi.cz/books/180/Impresum.html

[10] Holec, M. *Pojistná hydroizolace v konstrukcích šikmých střech 1 – Navrhování*, iMaterialy. Portál pro odborníky ve stavebnictví – projektanty, stavaře z praxe, architekty i řemeslníky, iMaterialy [online]. Copyright © [cit. 03.01.2018]. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/pojistna-hydroizolace-v-konstrukcich-sikmych-strech-1-navrhovani_42581.html

[11] Juta. "*EXTERIÉR - ŠIKMÉ STŘECHY*", In: www.juta.cz - O společnosti [online]. Copyright © 2011 VECTORsoftware [cit. 04.01.2018]. Dostupné z: http://www.juta.cz/vyrobni-programy/strechy-a-steny/vyrobky/exterier-sikme-strechy.html

[12] Autor neznámý. *Polyester Fibre manufacturing process - 2*. In: www.textiletechinfo.com Textile technology - 'How to' blog [online]. Copyright © 2012 TextileTechInfo.Com [cit. 04.01.2018]. Dostupné z: http://textiletechinfo.com/spinning/Polyester-manufacturing-2.htm

[13] Autor neznámý. *Eurofol 135 (difúzní) - Střešní fólie*. In: www.stresnifolie.eu Střešní fólie – eShop podstřešních fólií a membrán [online]. Copyright © 2009 [cit. 04.01.2018]. Dostupné z: http://www.stresnifolie.eu/detail/2592-Difuzni-folie-Eurofol-135

[14] Autor neznámý. *Polypropylene Fiber - Physical And Chemical Properties Of Polypropylene - Textile Fashion Study*. In: www.textilefashionstudy.cz - Textile Fashion Study [online].31.12.2012, [cit. 04.01.2018] Dostupné z: http://textilefashionstudy.com/polypropylene-fiber-physical-and-chemical-properties-of-polypropylene/

[15] Hes, L a Sluka, P. "Úvod do komfortu textilií" Vyd. 1. Liberec - TUL, 2005, [cit: 4.01.2018]

[16] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

[17] DIN 4108-3:2001-07. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Bauphysik - 2001

[18] Holec, M. *Pojistná hydroizolace v konstrukcích šikmých střech 2 – Vlastnosti difuzních fólií* In: www.imaterialy.dumabyt.cz - iMaterialy. Portál pro odborníky ve stavebnictví – projektanty, stavaře z praxe, architekty i řemeslníky | iMaterialy [online]. Copyright © [cit. 04.01.2018]. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/pojistna-hydroizolace-v-konstrukcich-sikmych-strech-2-vlastnosti-difuznich-folii_42778.html

[19] K 3 plus, s.r.o., Společnost. *CAD DETAIL*. In: www.cad-detail.cz, [online] CAD detail_stavebn Technick detaily_kapitoly, [cit. 04.01.2018]. Dostupné z: www.cad-detail.cz/pa_top/2_kap.htm.

[20] Svitap. *Textilní architektura*. Svitap.cz - Výrobce technických tkanin, zastřešení, stanů a skladovacích hal, In: Svitap.cz [online]. Dostupné z: http://www.svitap.cz/textilni-architektura/

[21] Pegas Nonwovens Czech s.r.o. *Produkty a použití* . PEGAS NONWOVENS Czech s.r.o. In: www.pegas.cz [online]. Copyright © 2005 [cit. 25.01.2018]. Dostupné z: http://www.pegas.cz/produkty-a-pouziti

[22] Dupont. *Stavební materiály*. DuPont Česká Republika. In: www.dupont.cz [online]. Copyright © 2018 DuPont. Všechna práva vyhrazena. Oválné logo DuPont, DuPont [cit. 25.01.2018]. Dostupné z: http://www.dupont.cz/vyrobky-a-sluzby/construction-materials.html

[23] Dupont. *Vodotěsná fólie.* Difuzní fólie DuPont™ Tyvek®. DuPont Česká Republika In: www.dupont.cz [online]. Copyright © 2018 DuPont. Všechna práva vyhrazena. Oválné logo DuPont, DuPont [cit. 25.01.2018]. Dostupné z: http://www.dupont.cz/vyrobky-a-sluzby/construction-materials/tyvek-building-envelope/articles/tyvek-watertight-membrane.html

[24] Jirsák, O a kol. Výroba a vlastnosti nanovláken [online] In: www.skripta.ft.tul.cz [cit. 25.1.2018] dostupné z: https://skripra.ft.tul.cz/databaze/data/2017-11-21/12-12-08.pdf

[25] Demo, P, Krňanský, J a Sveshnikov, A. *Nanotechnologie ve stavebnictví 21. Století: změna paradigmatu?* Stavebnictví Brno: Expo data spol s.r.o., 2012, ISSN 1802-2030

[26] Krňanský, J. *Nanotextilie pro stavebnictví*. In: TechniCall: čtvrtletník Českého vysokého učení v Praze. Praha: Rektorát ČVUT, 2008

[27] Elmarco. *Technologie zvlákňování*. Nanospider ™ equipment [online]. Copyright © 2004 [cit. 25.01.2018]. Dostupné z: http://www.elmarco.cz/technologie/technologie/

[28] Jirsák, O a Kalinová, K. *Netkané textilie* [online] In: www.nanoed.tul.cz [cit: 29.1.2018] dostupné z https://nanoed.tul.cz/course/view.php?id=40

[29] Tyvek. *Technické informace a literatura - Tyvek® a AirGuard®* DuPont Česká Republika, In: www.dupont.cz [online]. Copyright © 2018 DuPont. Všechna práva vyhrazena. Oválné logo DuPont, DuPont [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: http://www.dupont.cz/vyrobky-a-sluzby/construction-materials/tyvek-building-envelope/articles/technical-library.html

[30] mdm s.a. - Grupy Group. *mdm s.a.* [online]. In: www.mdmsa.com [cit: 29.1.2018] Dostupné z: http://mdmsa.com/index.php/group/grupy?l=6

[31] Nanomembrane. *Naše technologie : Nanomembrane*. Nanomembrane [online]. Copyright © 2018 NANOMEMBRANE,In: www.nanomembrane.cz [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: http://www.nanomembrane.cz/cs/technologie

[32] Knížek, R. *Oděvy pro sportovní a outdoorové aktivity.* Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci

[33] Jelínek, V. *Stavba - TZB-info* [online] In: www.stavba.tzb-info.cz [cit: 29.1.2018] Dostupné z: http://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/6771-difuzni-tok-a-kondenzace-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku-vodni-pary-v-konstrukci-steny-cast-1-vlhky-vzduch-a-vznik-difuzniho-toku

[34] Kubíková, J, Beránková, P a Dyntar, T. *Základní kurz statistiky I s programem STATISTICA*. [1. Vyd.]. Praha: StatSoft c2008. ISBN 978-80-903630-3-8

[35] Homen. Testování statistických hypotéz [online]. In: www.homen.vsb.cz [cit: 5.2.2018] Dostupné z: http://www.homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/kap11/kap12.htm

Seznam obrázků

Obrázek 1 Závislost částečného tlaku syté páry na teplotě [1] 14

Obrázek 2 Parozábrana v obvodové konstrukci dřevostavby, neošetřené prostupy [8] 18

Obrázek 3 PHI v reálné situaci [7] 20

Obrázek 4 Skladba neodvětrávané střechy se skládanou střešní krytinou [19] 22

Obrázek 5 Skladba obvodové konstrukce [19] 22

Obrázek 6 netkaná textilie typu SMS [20] 23

Obrázek 7 Nanovlákna v porovnání s pylem. [24] 24

Obrázek 8 Schéma technologie nanospider 25

Obrázek 9 Pojistné hydroizolace 28

Obrázek 10 Netkané textilie PEGAS 29

Obrázek 11 Prostup vodních par skrz třívrstvý laminát [31] 30

Obrázek 12 Schéma přístroje PERMETEST [15] 32

Obrázek 13 Výpočtové schéma vlhkostního toku [33] 34

Obrázek 14 Spodní nádoba 36

Obrázek 15 Detail umístění testovaného vzorku 36

Obrázek 16 Kompletace a umístění testovacího zařízení 37

Obrázek 17 Příprava experimentu a kontrola parametrů 38

Obrázek 18 Graf průměrů zobrazující vliv materiálů na výparný odpor (ANOVA) 42

Obrázek 19 Graf průměrů výběru zobrazující vliv materiálů na výparný odpor (ANOVA) 42

Obrázek 20 Sledování závislosti S_d a R_{et} 45

Obrázek 21 Zobrazení kondenzace vodních par v prostředí č. 2 49

Obrázek 22 Zobrazení kondenzace na spodní části textilie 49

Obrázek 23 Propustnost materiálu v závislosti na ekvivalentní difuzní tloušťce 50

Obrázek 24 Graf průměrů s odchylkami: Vliv materiálu na propustnost vodních par (ANOVA) ...52

Seznam tabulek

Tabulka 1 Třídy dle PHI u střešních konstrukcí [10] 19

Tabulka 2 Náměr výparného odporu 40

Tabulka 3 Základní statistiky výparného odporu Ret 41

Tabulka 4 Hodnocení vlivu použitého materiálu na difuzní odpor textilie (průměr +/- směrodatná chyba). Využití jednofaktorové ANOVY, rozbor dle Turkey unsequal N, Scheffé a Fischer LSD, hvězdičky značí rozdílné třídy dle statistické významnosti na hladině α = 0,05 43

Tabulka 5 Hodnocení vlivu výběru použitého materiálu na difuzní odpor textilie (průměr +/- směrodatná chyba). Využití jednofaktorové ANOVY, rozbor dle Turkey unsequal N, Scheffé a Fischer LSD, hvězdičky značí rozdílné třídy dle statistické významnosti na hladině α = 0,05 43

Tabulka 6 Klasifikace paropropustnosti [32] 44

Tabulka 7 Klasifikace paropropustnosti dle MVTR [32] 44

Tabulka 8 Návrhový přepočtový vztah pro hodnoty výparného odporu na ekvivalentní difuzní tloušťku na základě regresní analýzy a bodového grafu pro polynomickou a lineární funkci včetně alternativního modelu. 46

Tabulka 9 Propustnost materiálů první série dle definovaných podmínek, přepočet na propustnost vodních par skrz 1 m2 včetně zavedené poměrné propustnosti. 47

Tabulka 10 Propustnost materiálů druhé série dle definovaných podmínek, přepočet na propustnost vodních par skrz 1 m2 včetně zavedené poměrné propustnosti. 48

Tabulka 11 Propustnost materiálů třetí série dle definovaných podmínek, přepočet na propustnost vodních par skrz 1 m2 včetně zavedené poměrné propustnosti. 48

Tabulka 12 Návrhový přepočtový vztah pro hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky na paropropustnost na základě regresní analýzy a bodového grafu. 50

Tabulka 13 Základní statistické nástroje – propustnost [g/m^2/24h] 51

Tabulka 14 Vliv materiálu na propustnost vodních par (průměr +/- směrodatná chyba) Jednofaktorová ANOVA, post hoc Turkey HSD unequal N test, hvězdičky značí rozdílné třídy dle statistické významnosti na hladině α = 0,05.....53

Tabulka 15 Statistické vyhodnocený tloušťky materiálu 53

Tabulka 16 Určení faktoru difuzního odporu.....53

Seznam příloh

Příloha 1 Protokol vlivu vlhkosti…….. 63

Příloha 1

Výběr z protokolů, simulace návrhu praktické montáže, Software MEZERA, TEPLO 2017,
Zadavatel: František Böhm, Zpracovatel: Ing. Radovan Novotný, Projektant v oboru pozemních staveb, Vesecká 97, Liberec 6.
Žlutě vyznačené významné rozdíly.

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

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

Teplo 2017

Název úlohy : **Střecha**
Zpracovatel : TT 2017
Zakázka : střecha
Datum : 12.3.2018

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

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

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m3]	Mi [-]	Ma [kg/m2]
1	Sádrokarton	0,0250	0,2200	1060,0	750,0	9,0	0.0000
2	Isover Orsik	0,3000	0,0400	800,0	30,0	1,0	0.0000
3	Jutadach 135	0,0002	0,3900	1700,0	675,0	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.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Difúzní odpor a tepelně akumulační vlastnosti:

Difuzní odpor konstrukce ZpT : 2.9E+0009 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 87.0
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 3.4 h

Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540:

(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

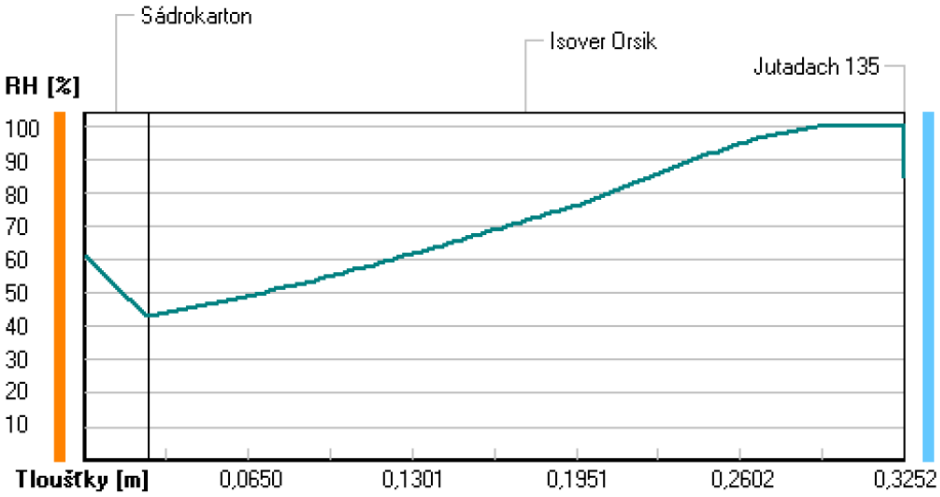
Průběh teplot a částečných tlaků vodní páry v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	e
theta [C]:	20.1	19.6	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1334	840	182	138
p,sat [Pa]:	2357	2282	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.

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



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

Kond.zóna číslo	Hranice kondenzační zóny levá [m]	pravá	Kondenzující množství vodní páry [kg/(m2s)]
1	0.3021	0.3250	1.542E-0007

Roční bilance zkondenzované a vypařené vodní páry:

Množství zkondenzované vodní páry za rok Mc,a: **0.0878 kg/(m2.rok)**

Množství vypařitelné vodní páry za rok Mev,a: **62.9136 kg/(m2.rok)**

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vodní páry podle EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci vodní páry.

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

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

Číslo	Název	Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok pod 60%	60-70%	70-80%	80-90%	nad 90%
1	Sádrokarton	151	214	---	---	---
2	Isover Orsik	---	---	184	181	---
3	Jutadach 135	---	---	184	181	---

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

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

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

Teplo 2017, (c) 2016 Svoboda Software

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

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

Teplo 2017

Název úlohy : **Střecha**
Zpracovatel : TT 2017
Zakázka : střecha
Datum : 12.3.2018

ZADANÁ SKLADBA A OKRAJOVÉ PODMÍNKY :

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

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D [m]	Lambda [W/(m.K)]	c [J/(kg.K)]	Ro [kg/m3]	Mi [-]	Ma [kg/m2]
1	Sádrokarton	0,0250	0,2200	1060,0	750,0	9,0	0.0000
2	Isover Orsik	0,3000	0,0400	800,0	30,0	1,0	0.0000
3	DIFUZNÍ FÓLIE	0,0002	0,3900	1700,0	675,0	6,0	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.

VÝSLEDKY VÝPOČTU HODNOCENÉ KONSTRUKCE :

Difúzní odpor a tepelně akumulační vlastnosti:

Difuzní odpor konstrukce ZpT : 2.8E+0009 m/s

Teplotní útlum konstrukce Ny* podle EN ISO 13786 : 87.0
Fázový posun teplotního kmitu Psi* podle EN ISO 13786 : 3.4 h

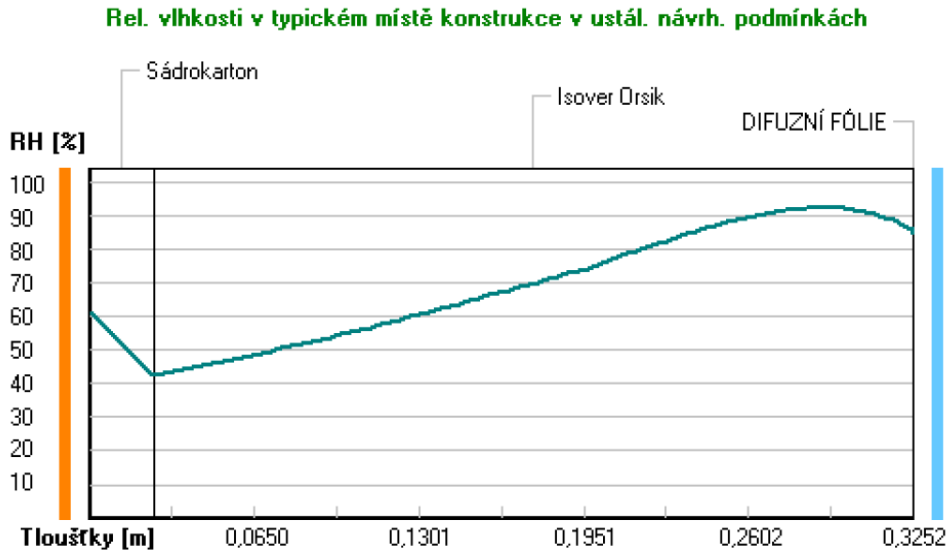
Difúze vodní páry v návrh. podmínkách a bilance vodní páry podle ČSN 730540:

(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]:	20.1	19.6	-14.8	-14.8
p [Pa]:	1334	823	141	138
p,sat [Pa]:	2357	2282	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.



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

Množství difundující vodní páry Gd : 4.544E-0007 kg/(m2.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):

		Trvání příslušné relativní vlhkosti v materiálu ve dnech za rok				
Číslo	**Název**	**pod 60%**	**60-70%**	**70-80%**	**80-90%**	**nad 90%**
1	Sádrokarton	151	214	---	---	---
2	Isover Orsik	---	---	275	90	---
3	DIFUZNÍ FÓLIE	---	---	275	90	---

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

Konkrétně pro dřevo předepisuje ČSN 730540-2/Z1 maximální přípustnou hmotnostní vlhkost 18 %. Ze sorpční křivky pro daný typ dřeva lze odvodit, při jaké relativní vlhkosti vzduchu dosahuje dřevo této kritické hmotnostní vlhkosti. Obvykle jde o cca 80 %.
Pokud je v tabulce výše pro dřevo uveden dlouhodobější výskyt relativní vlhkosti nad 80 %, lze předpokládat, že požadavek ČSN 730540-2 na maximální hmotnostní vlhkost dřeva nebude splněn.

Teplo 2017, (c) 2016 Svoboda Software