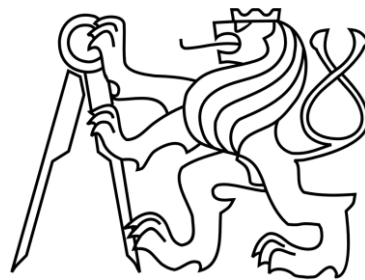


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Měření tepelně-vlhkostních vlastností
materiálů na bázi dřeva**

Bc. Eva Strečková

2017

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

| | | |
|---|-------------------|-----------------------------|
| Příjmení: <u>Strečková</u> | Jméno: <u>Eva</u> | Osobní číslo: <u>396375</u> |
| Zadávací katedra: <u>k.KPS</u> | | |
| Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u> | | |
| Studijní obor: <u>Budovy a prostředí</u> | | |

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Měření tepelně-vlhkostních vlastností materiálů na bázi dřeva

Název diplomové práce anglicky: Measurements of hygrothermal properties of wood based materials

Pokyny pro vypracování:
Laboratorní měření difuze vodní páry na vzorcích na bázi dřeva (OSB, DHF, překližky, desky STEICO)
Měření hygroskopických sorpčních vlastností
Využití získaných dat pro počítačové simulace (např. sw WUFI)

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího diplomové práce: Prof.Ing.Jan Tywoniak, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 3.10.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

_____ Podpis vedoucího práce _____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

3.10.2016 _____
Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Prehlásenie

Prehlasujem, že som predloženú diplomovú prácu vypracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje v súlade s Metodickým pokynom o etickej príprave vysokoškolských záverečných prác.

V Prahe dňa 8.1.2017

.....
Podpis autora
Bc. Eva Strečková

Pod'akovanie

Tato diplomová práca vznikla s podporou projektu Univerzitní centrum energeticky efektivních budov (OP VaVpI č. CZ.1.05/2.1.00/03.0091). Ďakujem Univerzitnému centru energeticky efektivnych budov ČVUT v Buštěhrade za poskytnutie laboratória i materiálov na experimenty. Ďakujem p. prof. Ing. Janovi Tywoniakovi, CSc., p. Ing. Kamilovi Staněkovi, Ph.D. a p. Ing. Janovi Richterovi za příkladné vedenie, cenné rady a pripomienky pri písaní diplomovej práce a za pomoc v laboratóriu. Ďalej patrí vďaka aj a všetkým ostatným zamestnancom ČVUT v Prahe aj UCEEB v Buštěhrade, ktorí mi v priebehu práce pomáhali.

Bibliografická citácia

STREČKOVÁ, Eva. Měření tepelně-vlhkostních vlastností materiálů na bázi dřeva. Praha, 2017. 67 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc.

Abstrakt

Diplomová práca je zameraná na základné stavebné doskové materiály na báze dreva. V teoretickej časti sa píše o vlastnostiach, štruktúre, výrobe a spôsoboch ich použitia v drevostavbách. Hlavná praktická časť je zameraná na experimentálnu činnosť, na meranie tepelno-vlhkostných parametrov. Na merania sú použité konštrukčné a izolačné dosky najčastejšie používané v drevostavbách - OSB dosky, preglejky, DHF dosky, tvrdšie a mäkšie drevovláknité dosky firmy STEICO. Všetky skúšky boli riadené technickými normami, upravené podľa možností laboratória a časových možností. Vážením a zmeraním objemu boli stanovené objemové hmotnosti suchých vzoriek. Vzorky sa sušili v sušiarňi a zvýšila sa tak odolnosť voči vlhkosti. Nasledovne sa určovali hygroskopické sorpčné vlastnosti pomocou 6 bodov po ustálení na dané relatívne vlhkosti s použitím exsikátorovej metódy. Adsorpčné izotermy určené v práci nezodpovedajú materiálom od výrobcov, ale tepelne ošetreným. Skúška prestupu vodnej pary prebehala pomocou metód suchej a vlhkej misky. Pri určovaní faktoru difúzneho odporu sa ako vysúšadlo pri metóde dry-cup použil silikagél. Zo zvážených zmien hmotnosti sa vypočítali faktory difúzneho odporu v mokrom a suchom stave. Pre materiály sa určila tepelná vodivosť v závislosti na vlhkosti pri teplote 23°C. Súčiniteľ tepelnej vodivosti sa meral prístrojom ISOMET pri relatívnych vlhkostiach 4%, 42% a 82%. Namerané hodnoty sú aj so zahrnutím chýb meraní prezentované formou grafických závislostí alebo tabuliek. Výsledky meraní sú porovnané s vlastnosťami udávanými výrobcami. Získané dáta z meraní boli ďalej použité na počítačové simulácie tepelno-vlhkostných dejov v konštrukčných skladbách. V programe TEPLO boli posúdené súčiniteľ prestupu tepla, množstvo skondenzovanej vodnej pary i bilancia kondenzácie a vyparovania v skladbe. Výstupy sú porovnané na základe rôznych vstupných vlastností – namerané dáta pri laboratórnych meraniach, vlastnosti udávané výrobcami a vlastnosti z databáz programov. V programe WUFI sa posudzovala hmotnostná vlhkosť a vlhkosť pod omietkou v ustálenom stave.

Kľúčové slová

materiály na báze dreva, OSB dosky, DHF dosky, preglejky, drevovláknité dosky, objemová hmotnosť, sorpčná krivka, difúzny odpor, tepelná vodivosť, vlhkosť

Abstract

Diploma thesis is focused on basic board wood-based materials. The theoretical part describes properties, microstructure, production and ways of use of them. The core part of thesis is experimental work in laboratory - measuring important hygrothermal properties of wooden and wood fiber materials - determination of density, hygroscopic sorption properties, transfer of water vapor transmission properties and thermal conductivity. The measurements were performed on OSB boards by EGGER, DHF boards by EGGER, plywood by KAPLAN, harder fiberboard and softer fiberboards, both by STEICO. All measurements were based on technical standards, adjusted accordingly to the laboratory conditions and time availability. Dry materials density was established by weighing and measuring the volume of samples. Specimens became more resistant to moisture after drying. Hygroscopic sorption properties were determined by desiccant method. Sorption curve was made of 6 points after reaching steady relative humidity. Adsorption isotherms do not correspond with the materials of manufacturer (EGGER, KAPLAN and STEICO), in thesis were created heat-treated wood-based materials sorption isotherms. Diffusion resistance test was performed by using dry-cup and wet-cup. Silica gel was used as a desiccant in dry-cup method of measurement. Diffusion resistance factor in dry and wet state was calculated from weight changes. Thermal conductivity ratio of wood based materials was measured depending on relative humidity at temperature 23°C and relative humidity 4%, 42% and 82%. Final values including measurement errors are presented in the form of tables and graphical dependencies. Measurement results were compared with the characteristics specified by the manufacturer. The measured data were further used as an input for computer simulations of hygrothermal behavior on building structures of wood buildings in TEPLO and WUFI software. The results of the simulation are evaluated depending on different inputs. Insulation coefficient of structures, condensed amount of water vapor and balance condensation and evaporation were assessed using TEPLO software. Steady state performance – maximal weight humidity and relative humidity under the plaster were assessed using WUFI software.

Keywords

wood based materials, OSB boards, DHF boards, plywood, fiberboard, density, sorption curve, diffusion resistance, thermal conductivity, moisture

OBSAH

| | |
|---|----|
| A) Úvod..... | 1 |
| B) Teoretická časť | 2 |
| 1 Vlastnosti materiálov | 2 |
| 1.1 Smrekové drevo - všeobecne..... | 2 |
| 1.2 Mikroskopická štruktúra dreva..... | 4 |
| 1.3 OSB – dosky z orientovaných triesok..... | 6 |
| 1.4 DHF – drevovláknitá doska | 8 |
| 1.5 Tvrdé drevovláknité dosky Steico-Therm..... | 9 |
| 1.6 Mäkké drevovláknité dosky Steico-Flex | 9 |
| 1.7 Preglejky | 10 |
| C) Praktická časť | 11 |
| 2 Postupy laboratórnych meraní, metódy a princípy | 11 |
| 2.1 Použité materiály, prístroje a pomôcky | 11 |
| 2.1.1 Merané materiály na báze dreva..... | 11 |
| 2.1.2 Meracie zariadenia..... | 11 |
| 2.1.3 Chemické látky a roztoky | 13 |
| 2.1.4 Pomocné materiály | 15 |
| 2.1.5 Pomôcky, nástroje a ochranné pomôcky | 15 |
| 2.2 Stanovenie objemovej hmotnosti | 17 |
| 2.2.1 Laboratórne meranie objemovej hmotnosti podľa normy | 17 |
| 2.2.2 Vzorky na meranie objemovej hmotnosti | 17 |
| 2.2.3 Postup merania objemovej hmotnosti..... | 17 |
| 2.3 Stanovenie hygroskopických sorpčných vlastností | 19 |
| 2.3.1 Laboratórne meranie sorpčnej krivky podľa normy | 19 |
| 2.3.2 Vzorky na meranie adsorpcie | 19 |
| 2.3.3 Postup meraní na zostavenie adsorpčnej krivky | 20 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4 | Stanovenie prestupu vodnej pary..... | 21 |
| 2.4.1 | Laboratórne meranie difúzneho odporu podľa normy | 21 |
| 2.4.2 | Vzorky na meranie difúzneho odporu | 22 |
| 2.4.3 | Postup merania difúzneho odporu | 22 |
| 2.5 | Stanovenie tepelnej vodivosti..... | 26 |
| 2.5.1 | Laboratórne meranie tepelnej vodivosti podľa normy | 26 |
| 2.5.2 | Vzorky na meranie tepelnej vodivosti | 26 |
| 2.5.3 | Postup merania tepelnej vodivosti v závislosti na vlhkosti | 27 |
| 3 | Výsledky experimentov | 29 |
| 3.1 | Objemová hmotnosť – výsledky meraní..... | 29 |
| 3.2 | Sorpčná krivka – výsledky meraní | 32 |
| 3.3 | Difúzny odpor – výsledky meraní | 39 |
| 3.4 | Tepelná vodivosť – výsledky meraní..... | 47 |
| 4 | Počítačové simulácie s použitím nameraných dát | 52 |
| 4.1 | Simulácie v programe TEPLO | 53 |
| 4.2 | Simulácie v programe WUFI | 58 |
| 4.2.1 | Ustálený stav | 59 |
| 4.2.2 | Zabudovaná vlhkosť v konštrukcii - vysychanie | 60 |
| D) | Záver | 62 |
| E) | Zoznam použitej literatúry..... | 64 |
| | Použité normy..... | 66 |
| F) | Zoznam elektronických príloh | 67 |

A) Úvod

Diplomová práca sa bude venovať základným doskovým materiálom na báze dreva, ktoré majú najčastejšie použitie v konštrukčných skladbách drevostavieb ako konštrukčné a izolačné dosky. Najviac používané sú OSB dosky, ktoré sú vďaka podobným vlastnostiam zameniteľné preglejkami. Používajú sa hlavne na vnútorné opláštenie, ale aj ako nosná časť. DHF dosky často plnia funkciu vonkajšieho opláštenia. Ako izolačný materiál sa využívajú drevovláknité dosky – tie mäkké ako výplň medzi nosné prvky a tie tvrdšie ako nosná izolácia stiech, stien i podláh.

V teoretickej časti sa zhrnú poznatky o vlastnostiach doskových materiálov na báze dreva, informácie o ich štruktúre, výrobe a spôsoboch aplikácie i možnostiach využitia v pozemných stavbách.

Cieľom hlavnej praktickej časti je experimentálnu činnosť. Predmetom meraní je získanie informácií o objemovej hmotnosti, difúznom odpore, sorpčných vlastnostiach a tepelnej vodivosti OSB dosiek, DHF dosiek, preglejok, drevovláknitých dosiek s tvrdým vláknom a drevovláknitých dosiek s mäkkým vláknom od STEICO. Zmerané vlastnosti budú porovnané s vlastnosťami udávanými výrobcami alebo s vlastnosťami smrekového dreva.

Získané dáta z meraní budú ďalej použité na počítačové simulácie v programe TEPLO a WUFI, kde bude posúdené tepelno-vlhkostné správanie materiálov v konštrukčných skladbách drevostavieb a porovnané na základe rôznych vstupných vlastností – nameraných pri laboratórnych meraniach, vlastností udávaných výrobcami a vlastností z databáz programov.

B) Teoretická časť

1 Vlastnosti materiálov

Stavebné materiály na báze dreva majú dvojaký pôvod – drevo z listnatých a ihličnatých drevín. Práca bude zameraná na drevité a drevovláknité výrobky z dreva ihličnatého.

1.1 Smrekové drevo - všeobecne

Medzi najviac používané ihličnaté dreviny patrí smrek. Smrekové drevo má svoje plusy - je mäkké, pružné, pevné, síce sa zle impregnuje, ale dobre morí.

| | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|---|
| Hustota (kg/ m³) | v absolútne suchom stave ρ_0 | redukovaná v čerstvom stave $\rho_{rč}$ |
| | 430 - 640 | 380 |

Tabuľka 1 Objemová hmotnosť dreva [1]

| | | | | |
|-----------------------|----------|----------|--------------|----------|
| Zosychanie (%) | pozdĺžne | radiálne | tangenciálne | objemové |
| | 0,3 | 3,6 | 7,8 | 11,9 |

Tabuľka 2 Zosychanie dreva [1]

| | | |
|------------------------------------|---------|-------------|
| Vlhkosť čerstvého dreva (%) | bel' | zrelé drevo |
| | 130-160 | 30-50 |
| Vlhkosť BNV (%) | 30-34 | |

Tabuľka 3 Vlhkosť čerstvého dreva [1]

| Vlastnosť | Rovnobežne s vláknami | | Kolmo na vlákna | |
|----------------------------------|-----------------------|----------|-----------------|----------|
| | w = 12 % | w > 30 % | w = 12 % | w > 30 % |
| Pevnosť v ťahu (MPa) | 90 | - | 2,7 | - |
| Pevnosť v tlaku (MPa) | 50 | 19 | 4 | 2 |
| Pevnosť v šmyku (MPa) | 6,7 | 4,3 | - | - |
| Pevnosť v ohybe (MPa) | 78 | 44 | - | - |
| Modul pružnosti v ťahu (MPa) | 14960 | - | 550 | - |
| Modul pružnosti v tlaku (MPa) | 13650 | - | 290 | - |
| Modul pružnosti v šmyku (MPa) | 573 | - | - | - |
| Modul pružnosti v ohybe (MPa) | 11000 | 8600 | - | - |
| Húževnatosť (J/cm ²) | - | - | 4,6 | - |

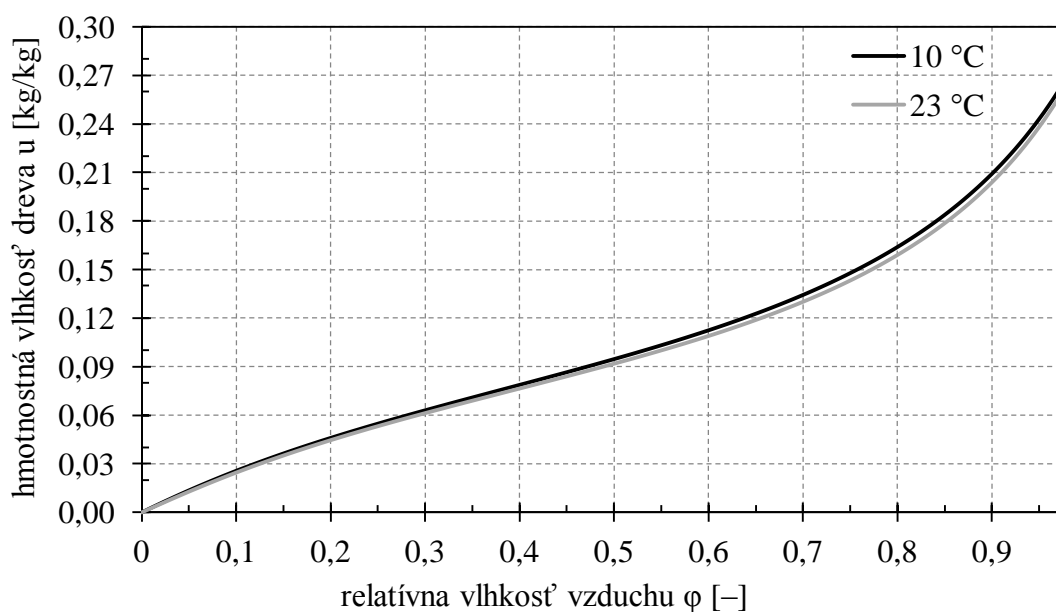
Tabuľka 4 Vybrané fyzikálne a mechanické vlastnosti smrekového dreva v závislosti na smere vlákien pre vlhkosť 12% a vlhkosti väčšie ako 30% [1]

Smrekové drevo patrí do mäkkých driev. Dôležitý dej pre vlhkosť správanie materiálu je priestup vodných pár. Pre smrekové drevo sú bežne udávané dve hodnoty faktora difúzneho odporu μ podľa smeru vlákien.

| Materiál | Faktor difúzneho odporu μ [-] |
|--|-----------------------------------|
| Drevo mäkké, tepelný rok // s vláknami | 4,5 |
| Drevo mäkké, tepelný tok \perp k vláknám | 157 |

Tabuľka 5 Hodnoty faktoru difúzneho odporu drevených materiálov [A]

Drevo sorbuje vodu z ovzdušia - navlhá. Proces trvá až dovtedy, kým sa nedosiahne vlhkosť rovnováha. Množstvo vody v dreve závisí od sorpčnej schopnosti materiálu a od parametrov prostredia – relatívnej vlhkosti vzduchu a teploty. Maximálne množstvo viazanej vody v dreve sa nazýva bod nasýtenia vlákien. Opačný proces sa nazýva desorpčia. Závislosť hmotnostnej (prípadnej objemovej) vlhkosti materiálu na relatívnej vlhkosti vzduchu udáva sorpčná krivka.



Obrázok 1 Sorpčná krivka smrekového dreva podľa teploty pri meraní [2]

Tepelná vodivosť závisí u dreva na viacerých parametroch. Predovšetkým na smere vlákien – kolmo na vlákna má drevo lepšie izolačné vlastnosti ako v smere vlákien. Ďalej je hodnota drevených materiálov závislá na vlhkosti dreva – čím je drevo vlhkejšie, tým sú jeho tepelno-izolačné vlastnosti horšie. Taktiež s rastúcou teplotou je súčiniteľ tepelnej vodivosti λ väčší.

| Materiál | Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ [W/m.K] | Merná tepelná kapacita c [J/kg.K] |
|--|--|-------------------------------------|
| Drevo mäkké, tepelný tok // s vláknami | 0,41 | 2510 |
| Drevo mäkké, tepelný tok \perp k vláknám | 0,18 | |

Tabuľka 6 Hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti a mernej tepelnej kapacity dreva[A]

1.2 Mikroskopická štruktúra dreva

[1],[3],[4]

Ihličnaté drevo má oproti listnatému veľmi jednoduchú a pravidelnú stavbu.

Základné tri anatomické smery smrekového dreva sú:

- axiálny smer - rovnobežný s pozdĺžnou osou kmeňa
- radiálny smer - je vedený v smere dreňových lúčov a je kolmý na smer tangenciálneho rezu
- tangenciálny smer – má smer dotýčnice k letokruhom, je kolmý na plochu radiálneho rezu

Základná konštrukčná jednotka dreva je bunka. Bunková stena dodáva rastlinám i drevinám tuhosť. Počas rastu dreva bunková membrána syntetizuje celulózu, hemicelulózu a lignín a tieto látky sa spájajú do polymérových reťazcov, ktoré vytvárajú mikroštruktúru dreva.

Celulóza

Celulóza je hlavnou stavebnou látkou bunkových stien, tvorí až 50% stien. Je nositeľom ťahovej pevnosti dreva. Zohráva hlavnú rolu vo viazaní rovnovážnej vlhkosti.

Lignín

Tvorí 25% rastlinných buniek, celú štruktúru dreva stužuje. Je nositeľom tlakovej pevnosti dreva. Lignín má v stavebnom priemysle pozitívne pre drevo hydrofóbné vlastnosti.

Hemicelulóza

Tento polysacharid tvorí 20% rastlinnej bunky. Hemicelulóza sa viaže na celulózu, čím vytvára sieťovinu. Vytvára prepojenie medzi lignínom a celulózu, ktoré nie sú schopné sa sami o sebe chemicky viazať.

Tracheidy

Prevládajúcim elementom anatomickej stavby buniek sú tracheidy – cievice, ktoré zaberajú až 87 – 95 % celkového objemu dreva. Plnia vodivú i mechanickú funkciu. Až 90% tracheid je orientovaných v pozdĺžnom smere kmeňa. Ľadna bunka nie je orientovaná tangenciálne, zvyšných 10% buniek kmeňa je teda orientovaných radiálne. Radiálny priemer jarných tracheid je 30 – 40 μm , v neskorom dreve 10 - 20 μm . Dĺžka tracheid (drevných vlákien) je 1,7 – 2,9 – 3,7 mm.

Parenchymatické bunky

Zvyšok 5 – 13% tvoria parenchymatické bunky stržňových lúčov. Ich úlohou je rozvádzať organické zásobné látky. Parenchymatické bunky sú tenkostenné bunky vytvárajúce živičné kanáliky. Živica má pre strom ochrannú funkciu pri poranení a impregnačnú funkciu – zvyšuje odolnosť dreva proti hubám.

Dvojbodky

Medzi bunkami sú prepojenia, ktoré zabezpečujú transport vody a živín. U ihličnatých drevín sa nazývajú dvojbodky a nachádzajú sa iba v radiálnych stenách. Dvojbodky majú podobu otvorov v medzibunkových stenách. Otvor sa nazýva porus, má priemer 4-8 μm . Uprostred dvojbodky sa nachádza membrána - margo, s priemerom 8-31 μm , ktorá je priepustná, pretože sa skladá z lúčovito usporiadaných jemných vlákien. Membrána je v strede zhrubnutá do šošovkovitého tvaru – torusu, ktorý je nepriepustný pre vodu. Má schopnosť lignifikácie. Torus funguje ako ventil a obmedzuje tak sušenie dreva v sušiarňach, tlakovú impregnáciu dreva a iné.

Letokruhy

Charakteristickým rysom kmeňa drevín je letokruh. Letokruh je tvorený bunkami jarného a letného dreva. Živé rastúce bunky má drevo na poslednom vonkajšom letokruhu. Aktívne vodivé bunky sa nachádzajú vo viacerých letokruhoch ako beľové drevo.

Jarné drevo je zložené z tenkostenných buniek dlhých 2-6 mm s vodivou funkciou. Bunky jarného dreva majú približne štvorcový priemer cca 40 μm a bunková stena je hrubá 2-3 μm . Bunky sú medzi sebou husto prepojené prostredníctvom dvojbodiek – je ich 70-90 na tracheidu.

Letné drevo má bunky z hrubou stenou v rozmedzí 6-7 μ m, čo zabezpečuje mechanickú tuhosť celého dreva. Bunky sú dlhé 2-7 mm a majú obdĺžnikový priemer cca 20x40 μ m. Bunky nie sú medzi sebou tak husto prepojené. V porovnaní s jarným drevom je medzi bunkami letného dreva iba 8-24 dvojbodiek na trecheidu.

Hustota dreva

Drevo smreku patrí medzi dreviny z nízkou hustotou. Hodnoty sa pohybujú pod 540 kg/m³. Objemová hmotnosť dreva je daná tým, do akej miery je v bunkách obsiahnutý vzduch. Hustota drevnej substancie je vždy rovnaká, nezávidí na druhu dreva, taká istá aj pre listnaté aj pre ihličnaté stromy a to 1530 kg/m³. Hodnota je daná zastúpením biopolymérov – celulózy, hemicelulózy a lignínu v celkovej štruktúre dreva.

1.3 OSB – dosky z orientovaných triesok

OSB dosky boli vyvinuté v Amerike ako lacnejšia náhrada za preglejky. Na európskom trhu sú OSB dosky označované ako drevoštiepkové dosky. OSB dosky (Oriented Strand Board) sú plošne lisované trojvrstvové dosky z orientovane vrstvených štiepok a triesok lepených pomocou syntetickej živice. Vrchná a spodná vrstva sú orientované súbežne zo štiepok dlhých až 115mm a prostredná vrstva je orientovaná priečne s pozdĺžnou osou dosky. Bežné rozmery orientovaných triesok sú v rozmeroch 0,6 - 0,75 x 4 - 40 x 75 - 80 mm. OSB dosky sa vyrábajú kontinuálnym lisovaním. Špecifická geometria štiepok a vysoký stupeň orientácie štiepok sú zárukou tých najlepších technických vlastností a to tvarovej stálosti a schopnosti odolávať vysokému statickému zaťaženiu. Dosky spravidla neobsahujú prirodzené chyby rastúceho dreva ako hrče, praskliny a pod. Najčastejším výrobným drevom je smrek, ale používa sa aj borovica či osika. [5],[6]

Štandardné hrúbky, v ktorých sa OSB dosky všeobecne vyrábajú sú 6, 8, 10, 11, 12, 15, 17, 18, 22 a 25, ostatné hrúbky sú dostupné výnimočne alebo na špeciálne objednávky. Dosky sa vyrábajú tradične až v rozmeroch 675, 1250 a 2500 mm. Úpravy hrán sú väčšinou dve základné a to ostrá hrana a prevedenie pero + drážka. Perodrážkové ukončenie sa používa pri hrubších doskách. Povrch môže byť klasicky štandardný alebo pohľadový brúsený. [6]

OSB dosky sú značené podľa vlhkosného a statického namáhania do kategórií:

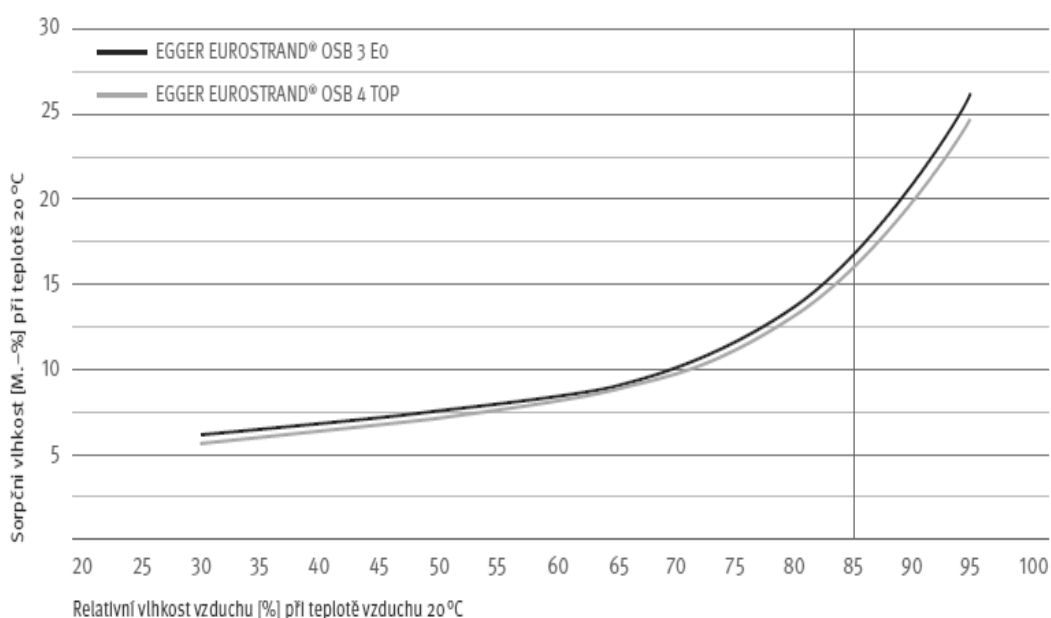
OSB/II - nosné na aplikáciu v suchom prostredí ($\mu_{\text{dry}} = 100$)

OSB/III - nosné na aplikáciu vo vlhkom prostredí ($\mu_{\text{dry}} = 200$, $\mu_{\text{wet}} = 150$)

OSB/IV - zvlášť zaťažené na aplikáciu vo vlhkom prostredí ($\mu = 200/200$) [5],[6]

OSB dosky sú v súčasnej dobe najrozšírenejším plošným materiálom na báze dreva pre najrôznejšie stavebno-konštrukčné aplikácie v drevostavbách. OSB dosky sú vhodné pre suché i vlhké prostredie. Svoje uplatnenie našli aj v pasívnych stavbách, kde často plnia úlohu parobrzdnej vrstvy umiestnenej na interiérovej vrstve, používajú sa na opláštenie, tvorbu podhládov i v podlahách. [6]

SORPČNÍ VLHKOST [M.-%] V ZÁVISLOSTI NA RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU PŘI TEPLOTĚ 20 °C



Obrázok 2 Sorpčná krivka OSB dosky firmy EGGER typ 3 E0 [8]

OSB dosky sa vyznačujú rozdielnymi vlastnosťami v závislosti na smere. Spôsoby výroby dosiek sa medzi výrobcami (Egger, Streling, Glunz, Agepna, Kronospan,..) líšia a tým aj vlastnosti OSB dosiek. Možno však tvrdiť, že majú zväčša v pozdĺžnom smere – v smere hlavnej osi vyššiu nosnosť ako v priečnom smere dosky. Objemové hmotnosti sú v rozmedzí 550-720 kg/m³. Bežne sa tepelná vodivosť λ pohybuje v rozmedzí 0,091-0,13W/mK. Merná tepelná kapacita c_p OSB dosiek je 2100 J/(kg.K). Faktor difúzneho odporu OSB dosiek μ dosahuje hodnoty 200-300 pri suchých doskách a 100-200 pri mokrych doskách. Sorpčná krivka OSB dosky je zrejma z grafu. [6],[7],[8]

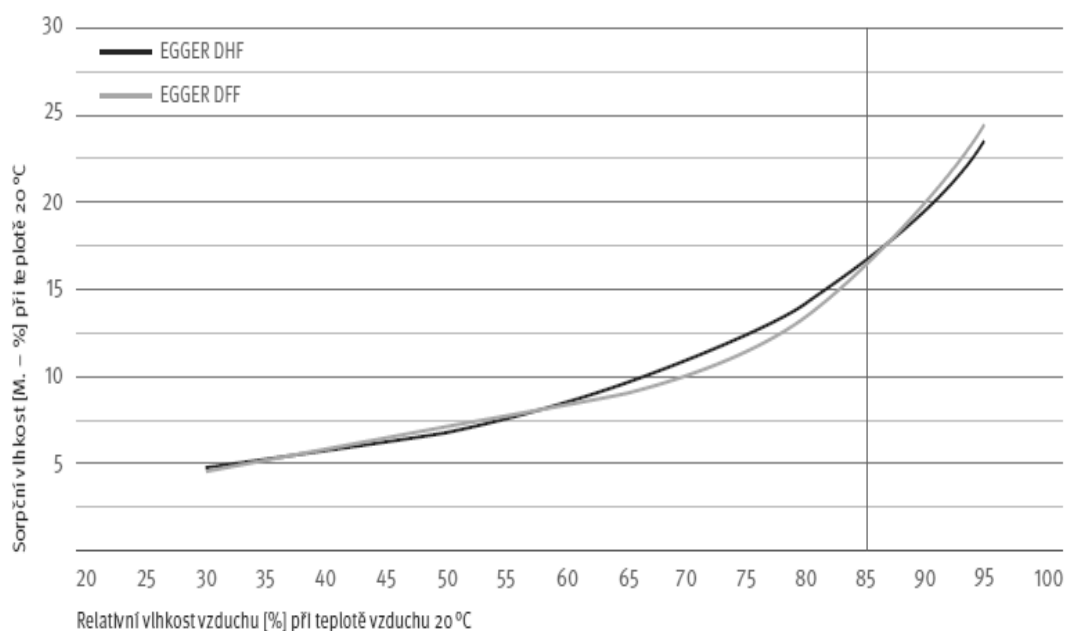
1.4 DHF – drevovláknitá doska

DHF dosky sú difúzne otvorené a vlhku odolné drevovláknité lisované dosky. K ich výrobe sú používané čerstvé piliny a štiepky z drevárskej výroby, ktoré sú lepené PU živicom. Väčšinou sú zhotovované prevedením pero + drážka. Vyrábajú sa postupne enzymatickým mäkčením dreva, naparením pomocou defibrilátorov systémom rozvlákňovacej technológie protibežných diskov.

Drevovláknité dosky možno vyrobiť v objemových hmotnostiach v rozmedzí 600-650kg/m³. Rozsah výrobných hrúbok sa pohybuje od 12 do 20 mm, najbežnejšie 13 a 15 mm. Rozmerovo sa tradične vyrábajú 2500x675,2500x1250, 2800x1250 a 3000x1250. [9],[10]

Drevovláknité DHF dosky sa vyznačujú tesniacimi vlastnosťami, sú odolné voči vetru a vlhku. Majú vysokú difúznu priepustnosť, ktorá umožňuje vodnej pare prechod z konštrukcie smerom do exteriéru. Používajú sa hlavne na vonkajšie vystužujúce opláštenie budov, ako strešné podbitie a záklop odolný voči dažďu a nájdu svoje použitie aj v podlahách. [9], [10]

SORPČNÍ VLHKOST [M.-%] V ZÁVISLOSTI NA RELATIVNÍ VLHKOSTI VZDUCHU PŘI TEPLOTĚ 20 °C



Obrázok 3 Sorpčná krivka DHF dosky firmy EGGER [10]

Objemová hmotnosť suchého vzorku DHF dosky je podľa výrobcu $\rho_d=600 \text{ kg/m}^3$. Bežné hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti λ sa pohybujú od 0,1 do 0,13W/m.K. Výrobca Egger udáva u DHF dosky hodnotu faktoru difúzneho odporu $\mu=11$. Merná tepelná kapacita c_p DHF dosiek je 1630-2100 J/kg.K. Sorpčná krivka DHF dosky je zrejmá z grafu. [9],[10]

1.5 Tvrde drevovláknité dosky Steico-Therm

Drevovláknité dosky Steico - therm sú určené na strešné, stenové a podlahové konštrukcie, majú vyššiu pevnosť v tlaku, okrem izolačnej funkcie plnia aj tú nosnú. Sú vhodné aj ako izolačné dosky pod betónovú mazaninu, teda môžu plniť aj funkciu kročajovej izolácie. Dosky Steico - therm patria do kategórie stabilných izolácií z prírodného dreveného vlákna, sú vhodné hlavne sa suché použitie.[11]

Dosky Steico-therm sú typovo tvrdé drevovláknité dosky, ktorých objemová hmotnosť v suchom stave dosahuje podľa výrobcu 110-160 kg/m^3 . Z pohľadu difúznych vlastností uvádza výrobca hodnotu $\mu=5$. Tepelná vodivosť λ tvrdej drevovláknitej dosky Steico je stanovená na 0,037-0,038 W/m.K. Tepelná kapacita dosiek je 2100 J/kg.K. [11]

1.6 Mäkké drevovláknité dosky Steico-Flex

Mäkké drevovláknité dosky Steico-flex patria medzi elastické izolácie, ktoré sa používajú na vyplnenie priestoru medzi stenovými, strešnými a stropnými konštrukciami bez dodatočného kotvenia. Slúžia ako tepelná aj zvuková izolácia. Dosky sú difúzne otvorené a dobre akumulujú teplo. [12]

Dosky Steico-flex majú objemovú v suchom stave hmotnosť $\rho_d=50\text{kg/m}^3$. Faktor difúzneho odporu μ sa pohybuje podľa výrobcu v rozmedzí 1-2. Súčiniteľ tepelnej vodivosti je 0,038 W/m.K. Tepelná kapacita dosiek Steico-flex je daná na 2100J/kg.K. [12]

1.7 Preglejky

Preglejky sú typom preglejovaných dosiek, sú to konštrukčné dosky vyrobené zlepením troch alebo viacerých drevných elementov – lúpaných alebo krájaných dýh, ktorých hrúbka je menšia než ich šírka alebo dĺžka. Preglejky sú dosky zložené zväčša z 3, 5, 7 vrstiev lepeného dýhového dreva, pričom sú priliehajúce vrstvy na seba prevažne kolmé – krížovo usporiadané smery vlákien. Hlavnou zásadou pri konštrukcii dosiek je, že preglejovačky a aj vnútorné vrstvy (vločky) ležiace súmerne k stredu dosky musia mať rovnaký smer drevných vlákien, ktorý však musí byť zároveň kolmý na smer drevných vlákien predchádzajúcej vrstvy. Takáto konštrukcia zaručuje optimálne rozloženie hodnôt pevnosti vo všetkých smeroch a súčasne eliminuje zosychanie a napúčanie jednotlivých vrstiev položených kolmo na smer vlákien. [13]

Preglejky sa podľa druhu použitého lepidla delia na vodovzdorné, čiastočne vodovzdorné a nevodovzdorné. Môžu byť vyrobené z listnatého, ihličnatého ale aj kombinované – zložené z viacerých druhov dreva. Musí však byť dodržaná zásada, že preglejovačka a vločky ležiace súmerne k stredu dosky musia byť vyrobené z rovnakej drevinu a musia mať rovnakú hrúbku. Vyskytujú sa v úpravách ako brúsené alebo bez úpravy nebrúsené. Podľa lisovacieho tlaku poznáme zhustené a nezhusené preglejky. [13]

Majú svoje použitie nielen v stavebníctve. Fungujú ako nosné aj nenosné dosky, používajú sa na opláštenie stien a striech a ako obkladový materiál.[13]

Objemová hmotnosť preglejkových dosiek sa pohybuje v rozmedzí cca 455-800 kg/m³. Faktor difúzneho odporu preglejok je $\mu=50-200$. Súčiniteľ tepelnej vodivosti $\lambda=0,09-0,13\text{W/m.K}$. Tepelná kapacita preglejok je 1880 J/kg.K. [13],[14],[15]

C) Praktická časť

2 Postupy laboratórnych meraní, metódy a princípy

Všetky laboratórne skúšky boli realizované podľa normových postupov, ale mierne upravené podľa možností dostupného laboratória a časových možností, za použitia spomenutých materiálov, prístrojov a pomôcok.

2.1 Použité materiály, prístroje a pomôcky

2.1.1 Merané materiály na báze dreva

Na skúšky boli použité reprezentatívne vzorky materiálov priamo od výrobcov bez dodatočných úprav ustálené na laboratórne tepelno-vlhkostné podmienky. Pre laboratórne merania bolo zvolených 5 materiálov – 3 drevité a 2 drevovláknité:

- **1 - OSB doska** – 15 mm hrubá doska z plochých triesok firmy EGGER
- **2 - DHF doska** – 15 mm hrubá doska firmy EGGER
- **3 - preglejka** – 15 mm hrubá 7-vrstvová konštrukčná doska firmy KAPLAN
- **4 - STEICO therm** – 40 mm hrubé tvrdé drevovláknité dosky
- **5 - STEICO flex** – 40 mm hrubé mäkké drevovláknité dosky

| materiál / vlastnosť | ρ (kg/m ³) | $\mu_{\text{wet}}/\mu_{\text{dry}}(-)$ | λ (W/mK) | c (J/kgK) |
|---------------------------------|-----------------------------|--|------------------|-----------|
| EGGER OSB3 E0 15 mm | 600 | 200 / 300 | 0,13 | 2100 |
| EGGER DHF 15 mm | 600 | 11/11 | 0,1 | 2100 |
| KAPLAN Preglejka C 15 mm | 540 | 200/50 | 0,13 | 1880 |
| STEICO-therm 40 mm | 160 | 5/5 | 0,039 | 2100 |
| STEICO-flex 40 mm | 50 | 1/2 | 0,038 | 2100 |

Tabuľka 7 Vlastnosti udávané výrobcami

[7], [8],[9],[10],[11],[12],[13],[14]],[15]

2.1.2 Meracie zariadenia

Laboratórne váhy

Na váženie v priebehu všetkých skúšok boli použité laboratórne váhy s presnosťou na tri desatinné miesta v gramoch. Váhy sú vybavené ochrannou sklenenou/plastovou schránkou, aby boli čo najviac eliminované vplyvy prúdiaceho vzduchu v laboratóriu.

Exsikátory

Exsikátor je nádoba, box (sklenený alebo plastový), ktorý je schopný udržiavať konštantné podmienky – tepelné a vlhkostné. Exsikátory sú vybavené meračmi teploty a relatívnej vlhkosti. Nádoby majú zväčša otvor, cez ktorú je možné do boxu zaviesť káble daných meradiel. Okolie káblu v diere musí byť utesnené pomocou gumového tesnenia doplneného plastelínou, aby sa čo najviac zamedzilo ovplyvňovaniu stáleho prostredia v exsikátore prostredím okolitého laboratória.

Teplovzdušná sušiareň

Sušiareň je zariadenie, ktoré napomáha dosiahnuť v materiáloch čo najmenšiu hmotnostnú vlhkosť. Pre experimenty je použitá sušiareň s núteným obehom. Sušenie prebieha konštantne pri teplote 105°C. Po meraní s hmotnostnými rozdielmi menšími ako 0,1% hmotnosti vzorky možno materiál považovať za ustálený – suchý.

Isomet

Isomet je zariadenie na meranie tepelnej vodivosti. Meranie isometom sa vykonáva na vzorkách priložením plošnej sondy na materiál (prípadne zavrtaním ihlovej sondy do materiálu), ktorý musí dostatočne hrubý na to, aby prístroj skúšku dokázal vykonať. Meranie by malo prebiehať pri konštantnej teplote a relatívnej vlhkosti. Meranie trvá časovo rozdielne podľa druhu, hrúbky a relatívnej vlhkosti materiálu. Použitie plošnej sondy a ihlovej sondy závisí na tepelných vlastnostiach daného materiálu. Na merané materiály boli vybrané z možností prístroja rozptyly hodnôt λ od 0,015W/mK do 2,0 W/mK na meranie ihlovou sondou a rozptyl λ od 0,04W/mK do 6 W/mK na meranie plošnou sondou. Pre niektoré materiály (mäkšie) možno teda použiť oba typy sond. Rozdiely v použití sond boli pre tieto materiály zanedbateľné.

Posuvné digitálne meradlo

Posuvné meradlo bolo použité pri zisťovaní objemu vzorku. Na stanovenie objemovej hmotnosti bolo potrebné zmerať všetky 3 rozmery kvádrov na viacerých miestach, kvôli eliminácii imperfekcií, ďalej bolo potrebné merať rozmery pri stanovovaní hmotnostnej vlhkosti a hrúbku materiálov pri difúznej skúške.

Záznamníky teploty, vlhkosti a barometrického tlaku

Pre stanovenie podmienok v laboratóriu bol použitý nástenný merač relatívnej vlhkosti v %, vnútornej teploty v °C a tlaku vzduchu v hPa. Hodnoty boli odčítavané jedenkrát denne pri každom experimente a pri každom meraní.

2.1.3 Chemické látky a roztoky

Chemikálie – ich nasýtené vodné roztoky solí

Na ustaľovanie vzoriek na dané relatívne vlhkosti sa použili tieto chemikálie:

CH₃COOK – 23,1% R.H.

Octan draselný

K₂CO₃ – 43,2% R.H.

Uhličitan draselný, zvaný aj potaš je zdraviu škodlivý.

NaBr – 60% R.H.

Bromid sodný je netoxická chemická látka

NaCl – 75,4% R.H.

Chlorid sodný (NaCl) – kuchynská soľ je zdravotne neškodná chemická látka.

KCl – 85,1% R.H.

Chlorid draselný

KNO₃ – 94,6% R.H.

Dusičnan draselný – zdraviu škodlivý.

K₂SO₄ – 97,6 % R.H.

Síran draselný je netoxická chemická látka.

Pokiaľ je látka netoxická, možno s ňou pracovať v laboratóriu bez ohrozenia, s klasickými ochrannými pomôckami (rukavice, okuliare atď.). So zdraviu škodlivými látkami sa vyžaduje zaobchádzanie s väčšou pozornosťou, použitie ochranných pomôcok na dýchanie a zabrániť stretu chemických látok s pokožkou a oblečením. Po použití sa tieto materiály nesmú vysypať/vyliť do kanalizácie. Treba ich zlikvidovať podľa predpisov na zneškodnenie danej chemikálie.

Voda

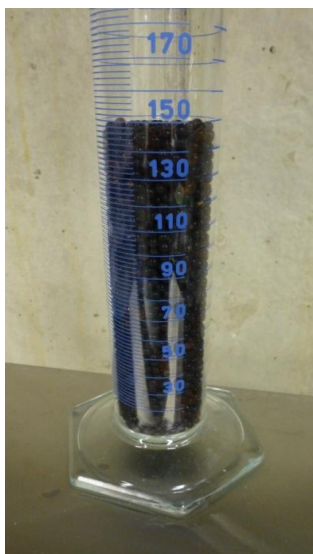
Na prípravu všetkých roztokov a na ostatné použitia pri skúškach bola použitá čistá voda z vodovodného kohútiku.

Silikagél (vysúšadlo)

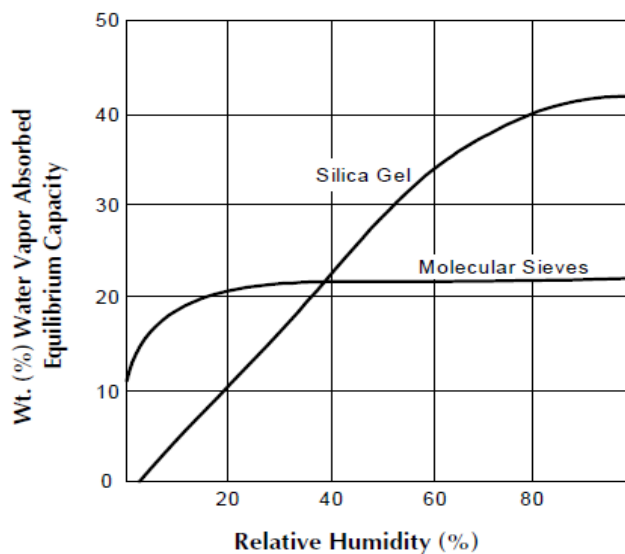
Silikagél je granulovitá pórovitá látka z oxidu kremičitého používaná ako pohlcovač vlhkosti. Silikagél je netoxický, pri experimentoch sa používal silikagél s indikátorom vlhkosti, ktorý mení farbu pri tom, keď je vlhký. Farbený prechod je typu modrá – ružová.

Silikagél našiel svoje použitie hlavne pri ušľachťovaní suchých vzoriek pri vážení, meraní objemovej hmotnosti a meraní tepelnej vodivosti, aby pri prechode zo sušiarne vzorky nenaviazali vzdušnú vlhkosť laboratória a aby bola udržaná relatívna vlhkosť prostredia čo najbližšia nule.

Použitie silikagélu bolo kľúčové na zistenie difúzneho odporu metódou dry-cup, pričom bolo potrebné vytvoriť prostredie s čo najmenšou relatívnou vlhkosťou v miske. Malé guľôčky boli umiestnené do misiek pod testovaný materiál v objeme približne 150 ml (s násypnou hmotnosťou cca 112g, tzn. násypná objemová hmotnosť cca 750kg/m^3) a vytvorili na začiatku relatívnu vlhkosť 0%.



Obrázok 4 Silikagél použitý pri stanovení prestupu vodnej pary metódou dry-cup



Obrázok 5 Adsorpčná krivka silikagélu [16]

Silikagél sám o sebe síce vytvára relatívnu vlhkosť 0%, ale má vlastnosť pohlcovať vlhkosť ostatných materiálov, má vlastnú sorpčnú krivku, takže pri skúškach vlhkosť na seba nadväzuje a tým zvyšuje relatívnu vlhkosť v miske na oveľa vyššie hodnoty. Relatívna vlhkosť v miske sa bude zvyšovať v závislosti na difúznej priepustnosti testovaného materiálu.

2.1.4 Pomocné materiály

Hliníková lepiaca páska

Pri skúške difúznej vodivosti bolo treba dosiahnuť v materiáli homogénne prúdenie, zabrániť vodnej pare prúdiť do strán, čo znamenalo utesniť boky – obvod vzorky, aby vodná para neprenikala týmto smerom. V prvom rade sa na oblepenie obvodu vzoriek použila hliníková lepiaca páska, tak aby jej okraje presahovali aj na podstavy terčových vzoriek.

Stavbársky butylénový tmel

Na prekrytie zvyšnej časti podstáv – až do kruhu priemeru, ktorý je v spodnej časti misky – cca 113 mm, sa použil butylénový stavbársky tmel. Tmel sivej farby zasychá pomerne pomaly a vykazuje vysoké známky tesnosti. Po zamedzení prúdenia vodnej pary do strán použitím hliníkovej pásky sa vyplnením podstáv tok prúdenia usmernil tak, že prúdi konštantnou kruhovou plochou s priemerom 113mm.

Tesniaca plastelína

Pri meraniach sa pri zavádzaní sond a čidiel do exsikátorov musel utesniť priestor okolo otvorov na zamedzenie vplyvov vonkajšieho prostredia v laboratóriu - na utesnenie sa použila kaučuková tesniaca hmota.

2.1.5 Pomôcky, nástroje a ochranné pomôcky

Umelohmotné skúšobné misky – misky na difúznu skúšku so zúženým dnom, spodný priemer 113 mm, vrchný priemer 123 mm, teda odskočenie o 5mm na strany, výška spodnej časti 40 mm, výška vrchnej časti 35mm

Kovové misky – podkladové kovové mištičky, používané v sušiarňi, pri vážení a pri ustáľovaní v exsikátoroch, ich hmotnosť bola odčítavaná od vzoriek spolu s miskou, aby sme získali hmotnosť samostatného vzorku

Odmerka, odmerný valec – použité na presné naberanie roztoku K_2SO_4 – 75 ml do misiek na difúznu skúšku wet-cup a na odmeranie objemu silikagélu – 150 ml na difúznu skúšku dry-cup.

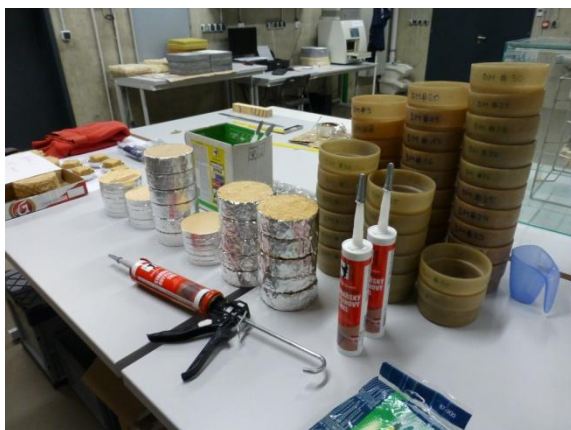
Orezávač – na prípravu vzoriek na difúznu skúšku, na uvoľnenie vzduchu spod terčičku pri tmelení, na vyberanie vzoriek s z misiek po ukončení skúšky

Nožnice – na presne orezanie hliníkovej pásky na difúznu skúšku

Pištol' na aplikáciu tmelu – na aplikáciu butylénového tmelu pri príprave vzoriek na difúznu skúšku

Pravítko – bolo používané na približné určovanie rozmerov, na meranie rozmerov misiek atd.

Ochranné rukavice, okuliare, rúško - pri práci s chemikáliami



Obrázok 6 Príprava materiálov na osadenie do misiek pri difúznej skúške



Obrázok 7 Príprava roztokov na experimenty

2.2 Stanovenie objemovej hmotnosti

2.2.1 Laboratórne meranie objemovej hmotnosti podľa normy

Meranie objemovej hmotnosti sa riadi normou „*Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů - Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě ČSN EN ISO 12570*“. [B]

Sušenie musí prebiehať v sušiarňi pri teplote 105°C na reprezentatívnych vzorkách daného materiálu uložených na miskách. Vzorky musia byť vážené pravidelne, pre pomalšie procesy sušenia každé 2-3 dni, tak, že po dosiahnutí zmeny hmotnosti v troch po sebe nasledujúcich meraniach najmenej po 24 hodinách menšej ako 0,1% sa považujú vzorky za ustálené. Vzorky sa potom vychladia v exsikátore na 30 až 40°C a s rovnakou presnosťou sa zväžia.

Keď sú vzorky považované za suché, zmerajú sa rozmery, vzorky sa po vychladení odvážia a zistí sa objemová hmotnosť suchých materiálov.

2.2.2 Vzorky na meranie objemovej hmotnosti

Na meranie objemovej hmotnosti sa použilo 31 vzoriek z 5 materiálov (po 5, príp. 6 na materiál) s rozmerom cca 50x50 mm, v hrúbke podľa určitého materiálu. Merala sa objemová hmotnosť OSB dosiek, DHF dosiek, preglejok a drevovláknitých dosiek – tvrdšej STEICO-therm a mäkšej STEICO-flex.

2.2.3 Postup merania objemovej hmotnosti

Vzorky boli umiestnené na kovové mištičky v ktorých boli vzorky sušené aj vážené. V sušiarňi boli materiály sušené pri 105°C a priebežne sa vážili. Pri vážení bola ich hmotnosť odčítaná od hmotnosti vzorky váženej spolu s miskou. Vzorky boli sušené cca 5 týždňov. Po ustálení jednotlivých hmotností s rozdielom max. 0,1% hmotnosti vzorku sa vzorky umiestnili do exsikátoru so silikagélom a ten pohltil zvyškovú vlhkosť a ustálil hlavne na tepelné podmienky v laboratóriu.



Obrázok 9 Sušiareň, sušenie na 105°C



Obrázok 8 Sušenie vzoriek v sušiarňi pri 105°C

Po asi 30 minútovom ustálení boli vzorky zvážené, na viacerých miestach zmerané – po čom bolo možno vypočítať objemové hmotnosti jednotlivých materiálov.



Obrázok 10 Váženie vzoriek digitálnymi váhami a meranie rozmerov vzoriek posuvným meradlom

2.3 Stanovenie hygroskopických sorpčných vlastností

2.3.1 Laboratórne meranie sorpčnej krivky podľa normy

Určenia tvaru sorpčnej krivky sa riadi normou „*Tepelně-vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů - Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností ČSN EN ISO 12571*“. Norma udáva dve metódy – exsikátorovú použitím exsikátorov s skúšobných misiek a metódy klimatizačnej komory. [C]

Sorpčná krivka sa tiež nazýva adsorpčná, tzn. že krivka materiálu sa vykresľuje postupne sériou vzrastajúcich rovnovážnych relatívnych vlhkostí pri danej teplote, narozdiel od desorpčnej krivky, kde zas vlhkosť klesá. Na určenie priebehu sorpčnej krivky sa použije exsikátorová metóda. Referenčné sorpčné krivky sa určujú pri teplote 23°C. Hĺbka nasýteného vodného roztoku v miske musí byť 3-5 cm.

Pre vykreslenie sa zvolia aspoň 4 relatívnej vlhkosti vo vzostupnou poradí rovnomerne rozmiestnené v rozsahu 30 – 95% R.H.

Vzorky by mali byť reprezentatívne s minimálnymi rozmermi 100x100 mm, minimálnou hmotnosťou 10g a objemovou hmotnosťou nad 300 kg/m³. Zistenie tvaru sorpčnej krivky sa začína na úplne suchých materiáloch. Vzorky materiálov sa postupne vkladajú do exsikátorov so zvyšujúcimi sa relatívnymi vlhkosťami. Roztoky sa menia v nádobách po určitých časových intervaloch – podľa materiálu, kedy sú hmotnosti vzoriek ustálené (v tom momente sa stanovuje vlhkosť prer dané skúšobné prostredie) a vytvárajú sa tak body na sorpčnej krivke, istej relatívnej vlhkostí prislúcha istá hmotnostná vlhkosť materiálu. Vzorky sú ustálené ak sa tri po sebe nasledujúce merania po min. 24 hodinách nelíšia od viac ako 0,1% hmotnosti vzorku. m_0

Hmotnostná vlhkosť sa pri každej skúšobnej vzorke vypočíta pomerom hmotnosti vody ku hmotnosti suchého materiálu.

2.3.2 Vzorky na meranie adsorpcie

Na vytvorenie sorpčnej krivky boli použité totožné vzorky, ako na stanovenie objemovej hmotnosti po úplnom vysušení. 31 vzoriek z 5 materiálov (po 5, príp. 6 na materiál) s rozmerom približne 50x50 mm s hrúbkou podľa konkrétneho materiálu. OSB doska, DHF, preglejka, STEICO-therm a STEICO-flex.

2.3.3 Postup meraní na zostavenie adsorpčnej krivky

Na vykreslenie priebehu sorpčnej krivky sú potrebné aspoň 4 body. Pre ešte presnejšie vykreslenie poslednej časti adsorpčnej krivky sa pridal aj bod 5 a 6. Pre určenie polohy bodov je potrebné dosiahnuť v materiáloch konkrétnu relatívnu vlhkosť. K tomuto účelu poslúžia nasýtené vodné roztoky – pre každý bod jeden roztok.

BOD 1 - CH_3COOK – 23,1% R.H.

BOD 2 - K_2CO_3 – 43,2% R.H.

BOD 3 - NaCl – 75,4% R.H.

BOD 4 - KCl – 85,1% R.H.

BOD 5 - KNO_3 – 94,6% R.H.

BOD 6 – K_2SO_4 – 97,6% R.H.

Po vysušení vzoriek v sušiarňi boli vzorky presunuté do exsikátoru s prvým roztokom, kde boli ustálené na 23,5% relatívnu vlhkosť a ustáľovanie trvalo cca 2 týždne. Z dôvodu vynechaných meraní sa ďalší roztok vymenil asi až dva týždne na to. V exsikátore bol vymenený roztok na stanovenie bodu 2 a ustáľovanie na 42,6% R.H. trvalo tiež cca 2 týždne. Po získaní bodov 1 a 2 sa do exsikátoru vložil roztok NaCl na určenie bodu 3. Ustálenie na 72,5 % R.H. trvalo taktiež 2 týždne. Po ustálení bodu 3 sa vložil do exsikátoru roztok 4, avšak z dôvodu časovej tiesne sa po druhom vážení vzorky rozdelili na určovanie bodu 4 a bodu 5. 6 vzoriek – 1 z každého materiálu a z DHF dosiek 2 vzorky boli nechané v exsikátore s KCl – na určenie bodu 4. Zvyšných 20 vzoriek – 4 z každého materiálu boli vložené do exsikátoru s KNO_3 na vytvorenie posledného bodu sorpčnej krivky – bodu 5. Po ustálení na bod 4 boli jeho vzorky vložené rovno na ustáľovanie na bod 6. Ustálenie na bod 4 trvalo 14 dní. Čím je relatívna vlhkosť vyššia, tým sa vzorky ustáľujú pomalšie. Na bod 5 sa vzorky rozsekali na triesky aby sa proces urýchlil a vzorky tak ustáľovali 21 dní. Na ustáľovanie na bod 6 sa vybralo iba 6 vzoriek (z každého materiálu jedna, z DHF dosky 2 kusy) a ustáľovanie na posledný bod 6 sorpčnej krivky trvalo 29 dní, ale na tento bod by bolo potrebné ešte viac času.



Obrázok 12 Vzorky roztriešené na menšie kúsky pre rýchlejšiu sorpciu



Obrázok 11 Sušenie vzoriek po ukončení sorpcie

Pre efektívnejšie adsorbovanie pri vysokých relatívnych vlhkostiach boli vzorky zmenšené asi na štvrtinu a rozsekané na menšie časti – na triesky, aby proces nasycovania prebiehal rýchlejšie. Po získaní všetkých 6 bodov boli vzorky v sušiarňi vysušené – aby sa zistila aktuálnu hmotnostnú vlhkosť vzoriek treba zistiť hmotnosť vysušených zmenšených vzoriek.



Obrázok 13 Priebežné váženie počas sorpcie



Obrázok 14 Pobyt vzoriek v exsikátore v priebehu sorpcie, ustáľovanie na bod 1

2.4 Stanovenie prestupu vodnej pary

2.4.1 Laboratórne meranie difúzneho odporu podľa normy

Určenie tvaru sorpčnej krivky sa riadi normou „*Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů - Stanovení prostupu vodní páry ČSN EN ISO 12572*“. Normastanovuje určovanie difúzneho odporu miskovou metódou. Meranie difúzneho odporu materiálov prebieha meraním dvomi typmi metód a to dry-cup a wet-cup. [D]

Podstatou skúšky je že materiálová vzorka tesne uzaviera priestor skúšobnej misky obsahujúcej buď vysúšadlo – suchá miska (dry-cup) alebo vodný nasýtený roztok – mokrá miska (wet-cup). Metóda suchej misky popisuje rozhodujúci transport vlhkosti difúziou vodnej pary, metóda mokrej misky popisuje transport kvapalnej vody obsiahnutej v póroch materiálu za obmedzeného transportu vodnej pary. Zostava sa umiestňuje do skúšobnej komory s riadenou teplotou a vlhkosťou. Z dôvodu rozdielných čiastočných tlakov vodnej pary začína vodná para prúdiť cez vzorky a pravidelným vážením sa stanoví priestup vodnej pary v ustálenom stave.

Pred osadením sa vzorky kondiciujú sa 23 °C a relatívnu vlhkosť 50%. Do misiek sa na dno umiestni min. 15 mm nasýteného vodného roztoku. Vzorky sú osadené do misiek a všetky časti vzorky mimo určenú plochu musia byť utesnené, aby bol tok jednosmerný. Pre dry-cup sa používa vlhkosťný spád 0/50 pre wet-cup spád 50/93 obe pri 23°C. Vzorky sa pravidelne vážia a výsledky sa zaznamenávajú až do ustálenia, kým sa rozdiely v hmotnostiach líšia o menej než 0,5% hmotnosti vzorku. Po ustálení sa zmeria hrúbka vzorku. Zmeny hmotnosti v čase sa potom zavedú ako vstup do série výpočtov a zistí sa daný faktor difúzneho odporu μ pre dry-cup aj pre wet-cup.

2.4.2 Vzorky na meranie difúzneho odporu

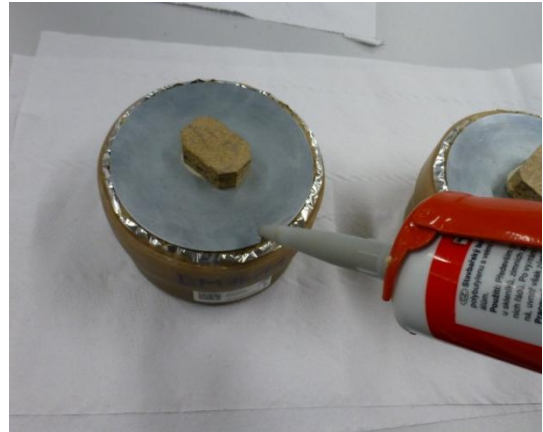
Na meranie bolo použitých 34 vzoriek z 5 materiálov - 4 materiály – drevité materiály – OSB dosky, DHF doska a preglejka a tvrdšie drevovlákno – STEICO-therm po 6 vzoriek (3dry-cup a 3 wet-cup), mäkké drevovláknité dosky – STEICO-flex po 10 vzoriek (polovica na wet-cup, polovica na dry-cup) s rozmerom 140x140mm, neskôr vyrezané do kruhov s priemerom cca 120mm, d hrúbkou podľa daného výrobku (cca 15 mm pre drevené, cca 40 mm pre drevovláknité dosky).

2.4.3 Postup merania difúzneho odporu

Pred začiatkom osadenia kruhových vzoriek materiálov do misiek museli byť vzorky kondiciované, tzn. ustálené na isté podmienky. Počiatočná vlhkosť pre metódu dry-cup by mala byť cca 25%, čo je možné dosiahnuť pomocou roztoku CH₃COOK a pri metóde wet-cup by mala byť v rozmedzí 70-75%, čo možno docieľiť vodným nasýteným roztokom NaCl, ktorý vytvára prostredie s relatívnou vlhkosťou 75%. Po ustálení vzoriek na určené počiatočné vlhkosti bolo možné vzorky osadiť do misiek.



Obrázok 16 Utesnenie spodnej časti misky tmelom



Obrázok 15 Utesnenie hornej časti vzoriek tmelom

Vzorky boli pre osadením do misiek upravené tak, aby prestup vodnej pary deň ne bol čo najviac homogénny. Povrch vzorky presahujúci kruh na hornej a spodnej podstave s priemerom 113 mm sa musel utesniť. Na body – obvod kruhových vzoriek sa použila lepiaca hliníková páska, ktorá zamedzila prúdeniu vodnej pary do strán. Okraje pásy sa zahli k podstavám, pričom by ani kúsok pásy nemal zasahovať do kruhovej zóny na oboch podstavách. Na dno misky bolo umiestnené určité množstvo vysušovadla/zvlhčovadla. Pri metóde dry-cup bolo na dno misky umiestnených 150 ml silikagélu, pri metóde wet-cup išlo o 75 ml roztoku síranu draselného K_2SO_4 , ktorý vytvára v miske prostredie s 97,6 % R.H. Po umiestnení vysušovadla/zvlhčovadla do misiek sa vystupujúca hrana natrela vrstvou stavbárskeho butylénového tmelu tak, aby nepretekala na žiadnu stranu a zároveň prekryl hliníkovú pásku a neprekrýval kruhovú oblasť s priemerom 113mm. Po tom sa do misky zatlačili kruhové vzorky až po hranu s tmelom. Nakoniec sa na vrchnú podstavu umiestnil terčik s priemerom 113 mm a zvyšná povrchová plocha vzorku sa až po hliníkovú pásku na obvode prekryla tmelom. Terčik sa odstránil a tým vznikli na spodnej a vrchnej ploche vzoriek rovnaké plochy – čím bol prestup pary usmernený. Takto upravené vzorky sa potom vložili do väčších exsikátorov, v ktorých bol umiestnený v miske vodný roztok bromidu sodného NaBr, ktorý vytvára prostredie s relatívnou vlhkosťou cca 60%.



Obrázok 17 Vzorky pripravené na difúziu skúšku, konkrétne dry-cup

Vzorky sa pravidelne v 3-4 dňových intervaloch v priebehu cca dvoch mesiacov vážili, až kým sa tok medzi miskou a prostredím v exsikátore nezačal ustáľovať. Pri vážení boli vzorky uzavreté, aby sa eliminovali chyby vzniknuté prúdením okolitého vzduchu. Proces skúšky difúzneho toku vodnej pary prebiehal 9 týždňov.



Obrázok 18 Vzorky v exsikátoroch počas 2 mesiacov, wet-cup hore, dry-cup dole

Po ustálení difúzných procesov sa zo vzoriek vyrezali kolieska v priemerom cca 4,5 cm a dali sa vysušiť do sušiarne s teplotou 105°C a taktiež sa priebežne vážili, až kým neboli úplne suché.



Obrázok 19 Vyrezanie koliesok zo vzoriek na stanovenie hmotnostnej vlhkosti



Obrázok 20 Sušenie výrezov na zistenie hmotnostnej vlhkosti

Následne po ustálení sa vzorky umiestnili do skleného menšieho exsikátoru so silikagélom aby pohltil zvyškovú vlhkosť prostredia laboratória. Následne sa všetky vzorky zmerali a vypočítala sa daná hmotnostná vlhkosť.



Obrázok 21 Ustáľovanie vzoriek po vysušení pred vážením

Sériou výpočtov sa získali hodnoty faktoru difúzneho odporu pre metódy dry-cup a wet-cup. Z vypočítaných hodnôt boli vykreslené priebehy faktoru difúzneho odporu v závislosti na relatívnej vlhkosti vzduchu.

2.5 Stanovenie tepelnej vodivosti

2.5.1 Laboratórne meranie tepelnej vodivosti podľa normy

Skúšky boli realizované podľa „ČSN EN 12667:2001 – Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků - Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku - Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu.“ [E]

2.5.2 Vzorky na meranie tepelnej vodivosti

Na meranie tepelnej vodivosti sa použilo 5 rovnakých materiálov ako sa predchádzajúce meranie – OSB dosky, DHF dosky, preglejky a tvrdšie a mäkkšie drevovláknité dosky Steico. Boli použité kruhové doskové vzorky s priemerom cca 120 mm pre drevité materiály a obdĺžnikové dosky s rozmerom cca 120x160 mm pre drevovláknité dosky Steico. Na každú relatívnu vlhkosť boli ustálené dosky v počte 2 kusy pre drevité a 3 kusy pre drevovláknité materiály. Vzorky budú kvôli nedostatočnej hrúbke a presnejšiemu zisteniu tepelnej vodivosti pri meraní uložené na seba v počte 2 a 3 kusy.

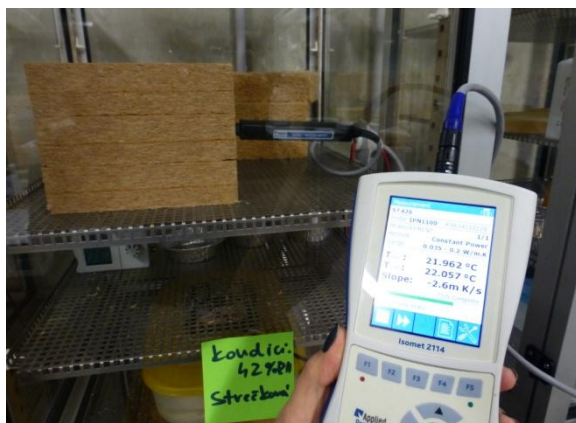


Obrázok 22 Kondicionovanie vzoriek – príprava na meranie tepelnej vodivosti

2.5.3 Postup merania tepelnej vodivosti v závislosti na vlhkosti

V prvom kroku sa vzorky pred meraním tepelnej vodivosti ustálili na 2 vlhkosti – 43% a 85% R.H. pomocou roztokov K_2CO_3 pre 43,2% R.H a KCl pre 85,1% R.H.. Vzorky sa priebežne vážili a po zmenách hmotnosti menších ako 0,1% hmotnosti vzorku sa považovali za ustálené na danú relatívnu vlhkosť. Ustáľovanie na 43% R.H. trvalo 2 týždne. Ustáľovanie vzoriek na 85% R.H. trvalo necelé 4 týždne.

Po ustálení sa Isometom zmeral súčiniteľ tepelnej vodivosti. Meranie Isometom prebehlo priamo v exsikátoroch – vo väčších boxoch z plexiskla. Sonda Isometu sa pomocou kábla cez otvor v nádobe exsikátoru zaviedla dovnútra, pričom priestor otvoru okolo kábla utesnil gumovým tesnením a plastelinou. Na prístroji sa prednastavili parametre merania – názov, špecifikácia materiálu, opakovateľnosť merania a predpokladaný rozptyl hodnôt súčiniteľu tepelnej vodivosti. Podľa prednastaveného rozptylu prístroj vyberá, aké teplo má do materiálu asi vyslať, aby bola správne zmeraná tepelná vodivosť.



Obrázok 23 Meranie tepelnej vodivosti ihlovou sondou

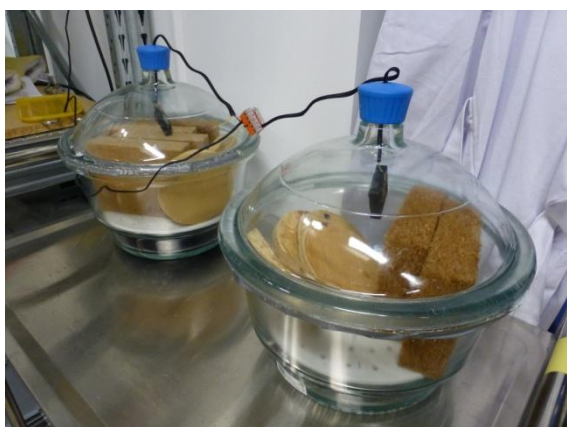


Obrázok 24 Meranie tepelnej vodivosti plošnou sondou

Pre drevité materiály (OSB, DHF a preglejka) sa nastavil rozptyl hodnôt 0,04 – 0,3 W/m.K. Pri drevovláknitých materiáloch bol rozptyl predpokladaný tiež v rozmedzí od 0,04 W/m.K do 0,3 W/m.K, napriek tomu že drevovláknité dosky vykazujú menšie hodnoty súčiniteľu tepelnej vodivosti od výrobcu – cca 0,038 W/m.K, ale prednastavenie Isometu – presnejšie plošnej sondy hodnoty menšie ako 0,04 W/m.K neumožňuje. Prístroj však menšiu hodnotu ako 0,04 W/m.K zmerať dokáže. Avšak po zmeraní súčiniteľu tepelnej vodivosti plošnou sondou boli zmerané aj hodnoty ihlovou sondou, ktorá umožňuje zmerať aj nižšie hodnoty λ a preto bol prednastavený interval od 0,035 W/m.K do 0,2 W/m.K.

Merania plošnou sondou trvali približne 30 minút pri materiáloch ustálených na 42% R.H., meranie ihlovou sondou trvalo pri materiáloch s nižším súčiniteľom tepelnej vodivosti dlhšie a to cca 45 minút a pri materiáloch ustálených na 85% trvali merania plošnou sondou dlhšie a to približne 35 minút. Po zmeraní sa s prístroja odčítala zmeraná tepelná vodivosť – λ i ďalšie vlastnosti ako merná tepelná kapacita c_p , teplota T_{mean} a rozdiel teplôt ΔT . Meranie tepelnej vodivosti na každý materiál prebehlo 3-krát, kvôli eliminácii možných chýb merania.

V druhom kroku sa nechali vzorky vysušiť. Sušenie vzoriek na meranie pri nulovej R.H. prebiehalo cca 21 dní pre drevité materiály, cca 25 dní pre drevovláknité materiály. Časť z toho boli vzorky zo sušiarne vybraté a strávili cca 10 dní v exsikátore so silikagélom – s minimálnou relatívnou vlhkosťou. Hmotnosť v tomto čase trochu narástla, ale potom boli vzorky opäť vysušené až na ustálený stav. Vzorky sa zvážili aj po vysušení a úbytok hmotnosti je množstvo vody, ktorá bola vo vzorku pri danej relatívnej vlhkosti. V pomere k hmotnosti suchého vzorku sa zistili ich hmotnostné vlhkosti a porovnali sa s odčítanou hmotnostnou vlhkosťou z už zmeraných sorpčných kriviek. Následne sa zmeral súčiniteľ tepelnej vodivosti suchých vzoriek. Meranie Isometom prebehlo opäť v exsikátore. K správne mu priebehu merania sa použil exsikátor so silikagélom, kde vzorky vychladli a zároveň zostali suché. Ďalej meranie súčiniteľu tepelnej vodivosti prebiehalo obdobným postupom ako pri meraniach predtým na vlhkých materiáloch.



Obrázok 26 Ustáľovanie vzoriek na meranie tepelnej vodivosti po vysušení pred vážením a meraním



Obrázok 25 Sušenie vzoriek na meranie tepelnej vodivosti

Tromi získanými bodmi (R.H. 0%, 43% a 85%) už bolo možné dobre preložiť funkčné závislosti – závislosť tepelnej vodivosti na vlhkosti.

3 Výsledky experimentov

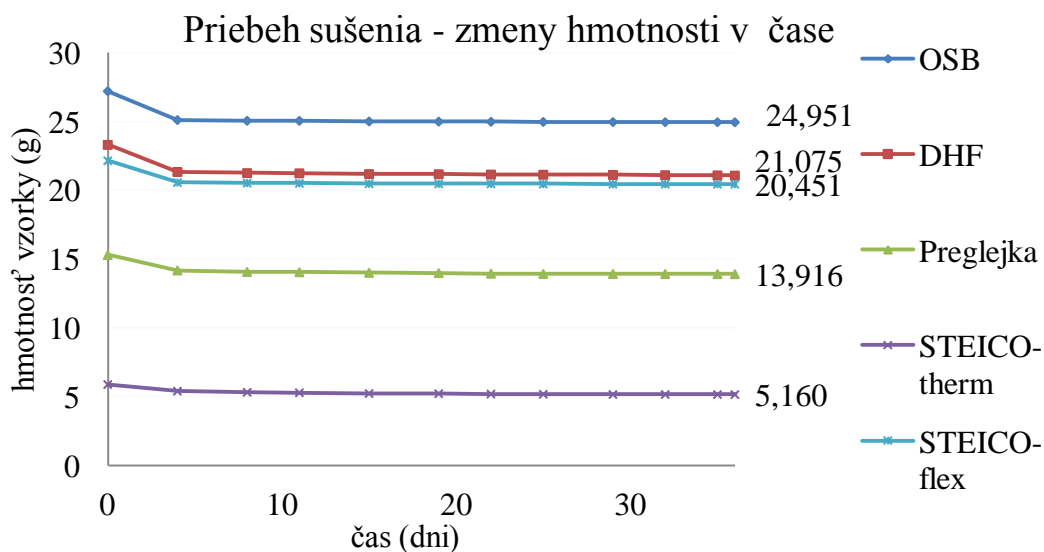
V kapitole sa vyhodnocujú výsledky jednotlivých laboratórnych skúšok – stanovenia objemovej hmotnosti, hygroskopických sorpčných vlastností, prestupu vodnej pary a súčiniteľa tepelnej vodivosti materiálov na báze dreva.

Pri vyhodnocovaní výsledkov boli zohľadnené možné nepresnosti meraní, ktoré boli do výsledkov zavedené pomocou neistôt. Neistoty sú chyby merania, ktoré nemožno pri skúškach ovplyvniť. Na základe toho delíme neistoty na neistoty typu A (vznikli náhodnými vplyvmi) a neistoty typu B (vznikli chybou prístrojov pri meraní, nepresnosťou použitých metód atd.). Ich skombinovaním vzniknú neistoty typu C, ktorá udáva dosiahnutú presnosť, rozptyl hodnôt od nameraných výsledkov.

3.1 Objemová hmotnosť – výsledky meraní

31 vzoriek s rozmermi 50 x 50 mm a hrúbkou podľa materiálu 15mm pre drevité materiály alebo 40 mm pre drevovláknité dosky bolo sušených 5 týždňov v pravidelných intervaloch 3-4 dni. Vzorky sa mohli sušiť oveľa kratšie. V laboratóriu bola k dispozícii iba jedna sušiareň, prítomnosť väčších, predovšetkým drevených vzoriek zapríčiňovala to, že menšie vzorky absorbovali vlhkosť z tých veľkých, dokonca v niektorých momentoch medzi intervalmi svoju hmotnosť mierne zvýšili. Materiály treba pokiaľ možno sušiť samostatne.

Po vysušení vzoriek v sušiarňi a následnom odvážení sa zmerali všetky rozmery a jednoduchým výpočtom pomocou vzorca $\rho = \frac{m}{V}$ (kg/m³) sa vypočítala objemová hmotnosť. Pri OSB doskách často objemová hmotnosť závisí od druhu a usporiadania triesok a množstve použitého lepidla aktuálnej výroby, ktoré sa medzi sebou líšia. Objemové hmotnosti DHF dosiek a preglejok boli namerané s prijateľnými odchýlkami. Pri výpočte objemu, teda meraní rozmerov drevovláknitých dosiek závisí stanovený rozmer od miery stlačenia – čo mohlo zapríčiniť odchýlky v hodnotách objemových hmotností od hodnôt udávaných výrobcom. Priebeh vysušovania za 36 dní je zrejmý z grafu.



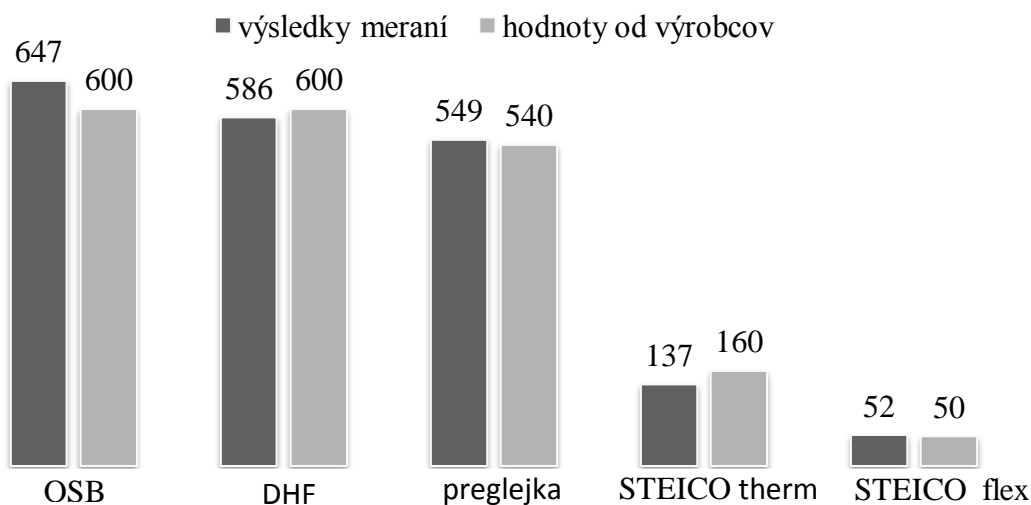
Obrázok 27 Graf priebehu úbytkov hmotností počas sušenia, konečné hmotnosti po sušení

Na meraní objemovej hmotnosti aj na následnom stanovení sorpčnej krivky s použitím tých istých vzoriek mala dĺžka sušenia vzoriek v teplovzdušnej sušiarňi s núteným obehom taký vplyv, že príliš dlhý čas sušenia spôsobil zmeny v štruktúre materiálov. Materiály sa stali viac vlhkosťne odolné a vzniknuté sorpčné krivky sú od skutočnej krivky materiálov na báze smrekové dreva posunuté nadol. Pri tepelnom ošetrení dreva sa síce zlepšila vlhkosťná odolnosť a odolnosť voči plesniam, ale dochádza k zhoršeniu mechanických vlastností. Materiály ostali po dlhom sušení znehodnotené. Dôkazom je, že napr. vzorky STEICO-flex po sušení na 105°C zmenili farbu - stmavli – čo malo vplyv na ďalšie merania na vzorkách. Drevovláknité vzorky by pravdepodobne mali byť sušené na teplotu menšiu ako 105°C – napr. na 70°C. Na ostatných materiáloch vizuálne zmeny neboli.



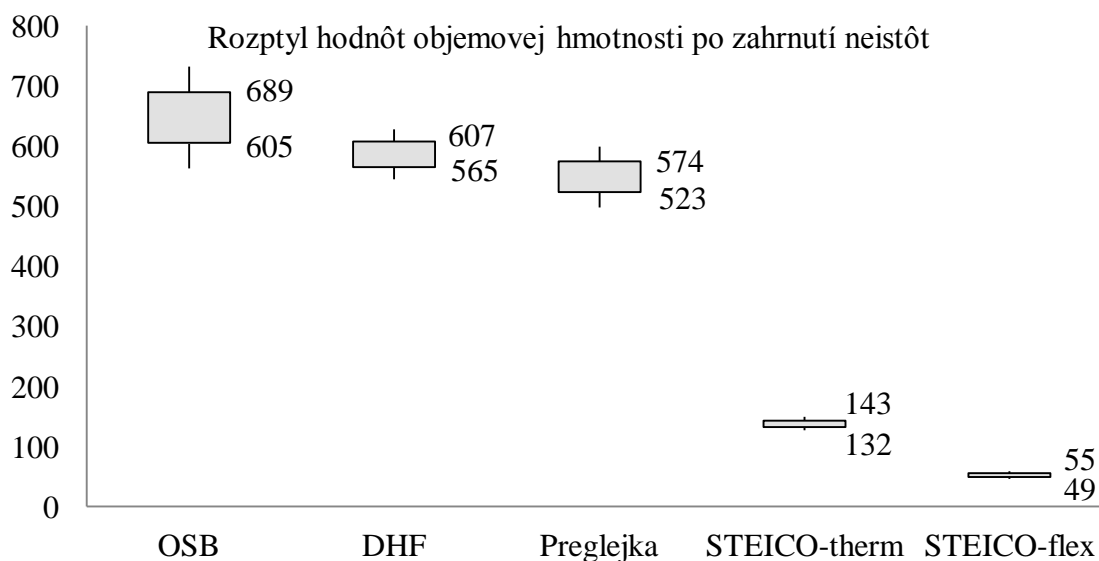
Obrázok 28 Zmena farby STEICO-flex po sušení vľavo, pred sušením vpravo

Objemové hmotnosti bez zahrnutia neistôt ρ (kg/m³)



Obrázok 29 Graf výsledkov meraní hodnôt objemových hmotností v porovnaní s hodnotami udávanými výrobcami

Vzniknuté odchýlky môžu byť zapríčinené rôznymi vplyvmi . Pri experimente nemožno úplne vylúčiť prírbytok vlhkosti pri presune zo sušiarne ani to, že teplota vzoriek oproti teplote váh je trošku vyššia – teplý vzduch sa víri okolo misky a vzorku a nadľahčuje ich. Tak isto mohla chybu merania pri drevovláknach spôsobiť vyššia teplota sušenia. Po zahrnutí všetkých chýb meraní je rozptyl hodnôt objemových hmotností zrejмый z grafu. [17]

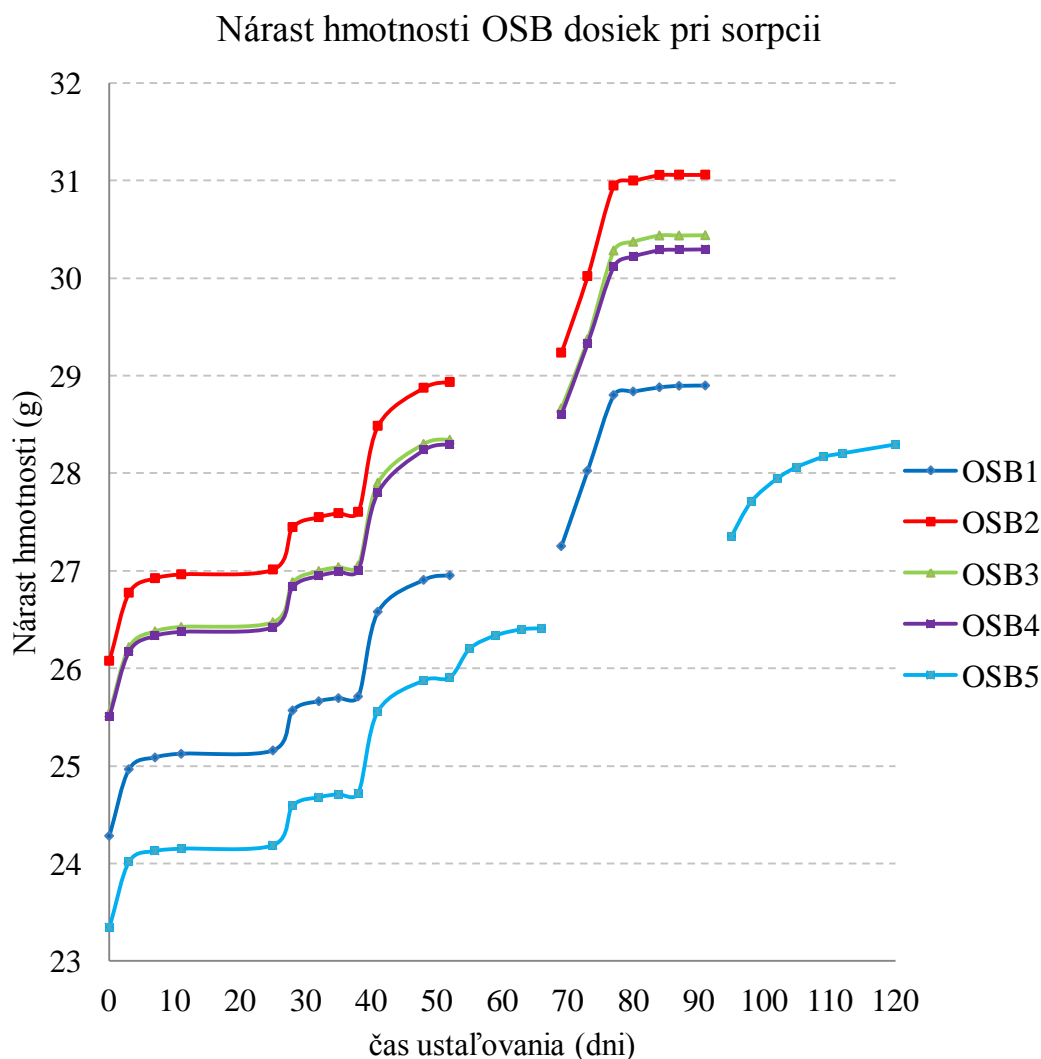


Obrázok 30 Hodnoty objemovej hmotnosti po zahrnutí neistôt

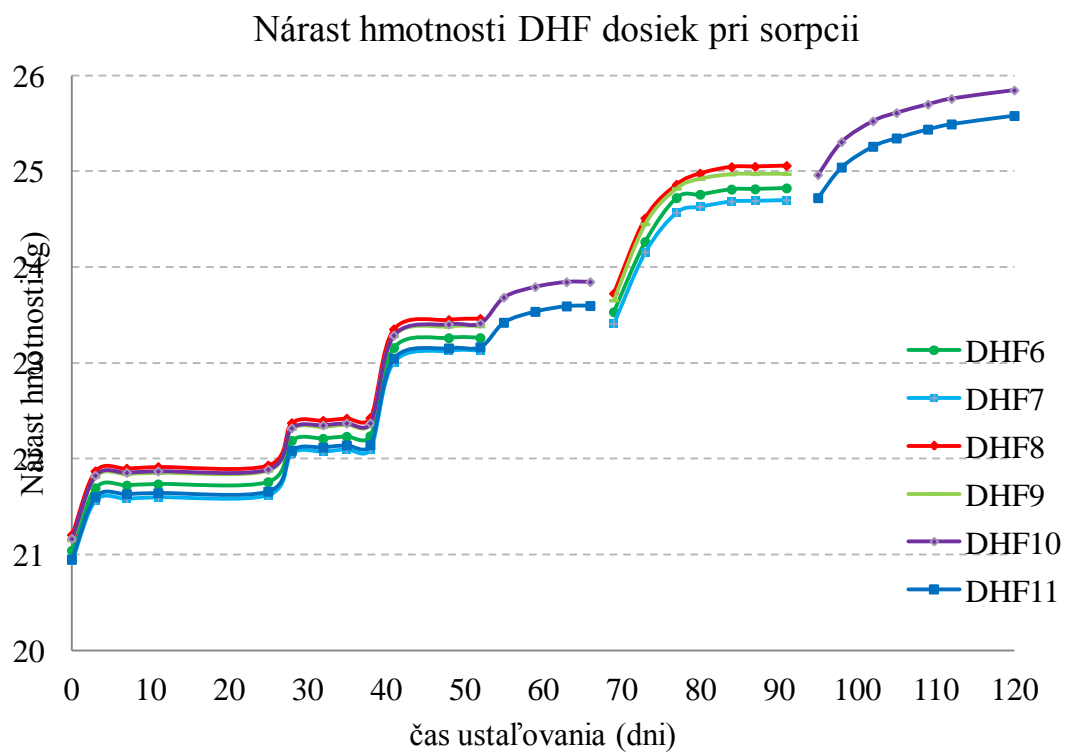
3.2 Sorpčná krivka – výsledky meraní

Priebeh sorpčnej krivky bol vykreslený pomocou šiestich bodov. Nasycovanie vzoriek na jednotlivé body trvalo 3 mesiace. Vzorky boli pravidelne každé 3-4 dni vážené a boli zaznamenávané prírastky hmotnostnej vlhkosti v pôvodne vysušených vzorkách.

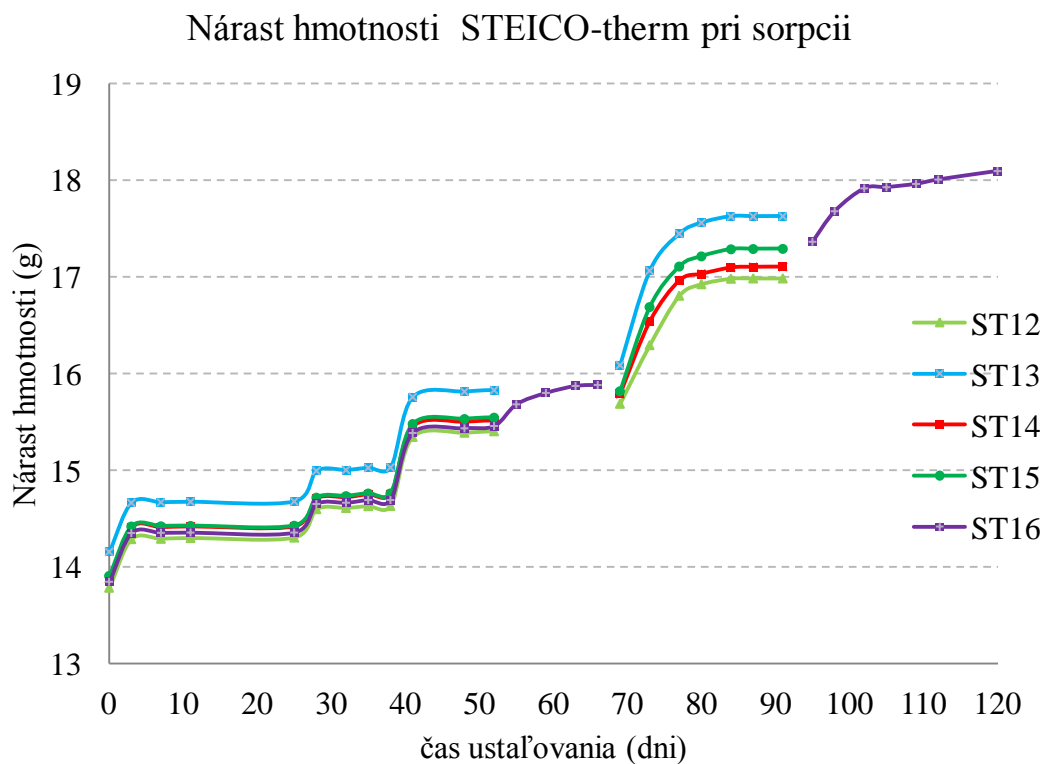
Čo sa týka samotných vzoriek materiálov, podľa normy nespĺňujú dané parametre a to veľkosť 100x100 mm – testované vzorky sú 50 x 50 mm, ich hmotnosť by mala byť väčšia ako 10 gramov, čo neplatí u STEICO-flex a mali by mať objemovú hmotnosť nad 300kg/m³, čo taktiež obe drevovláknité dosky nespĺňujú. Táto skutočnosť, ale nemení nič na tom, že skúška prebehla správne.



Obrázok 31 Nárast hmotností OSB dosiek

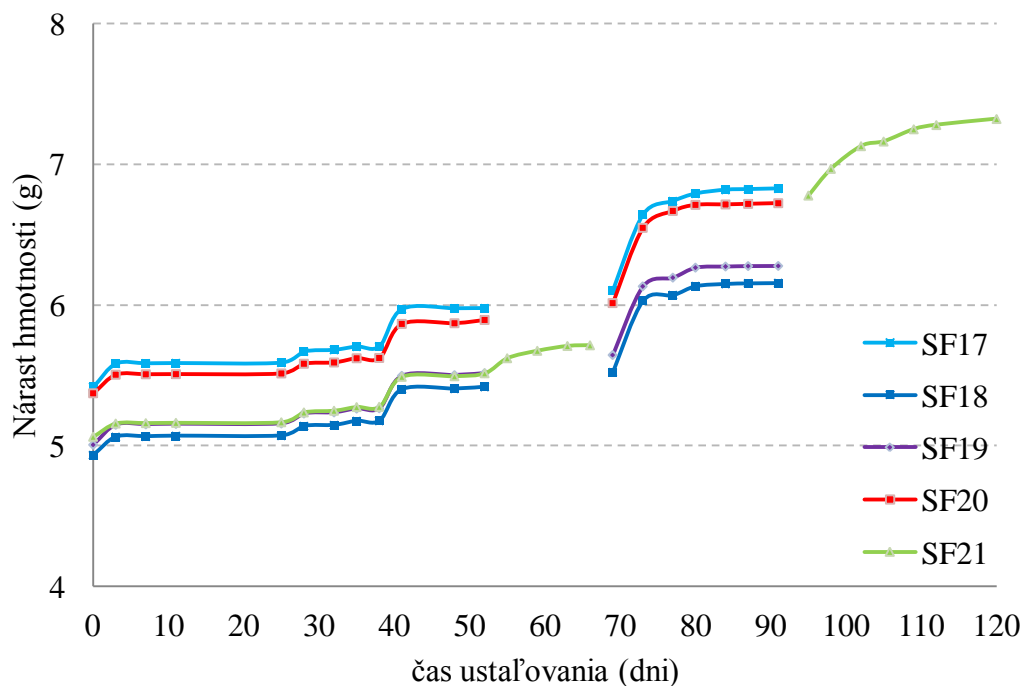


Obrázok 32 Nárast hmotností DHF dosiek



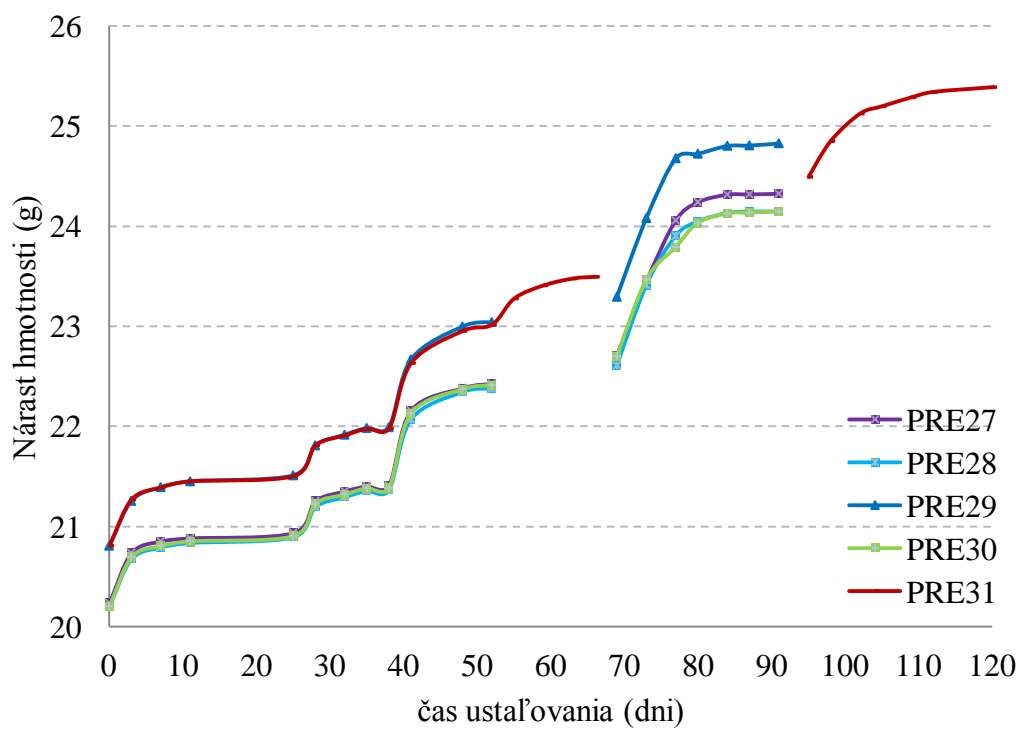
Obrázok 33 Nárast hmotností dosiek STEICO-therm

Nárast hmotnosti STEICO-flex pri sorpcii



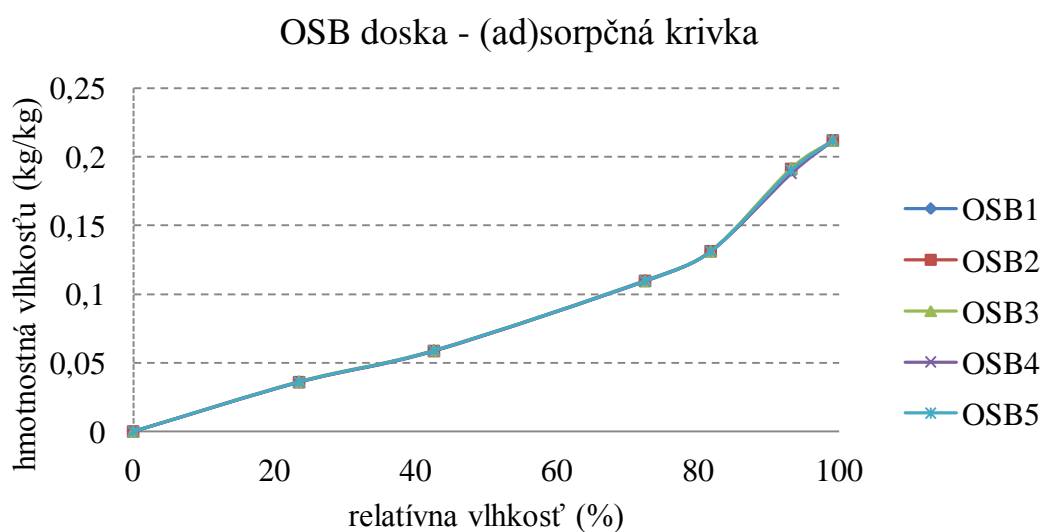
Obrázok 34 Nárast hmotnosti dosiek STEICO-flex

Nárast hmotnosti preglejok pri sorpcii

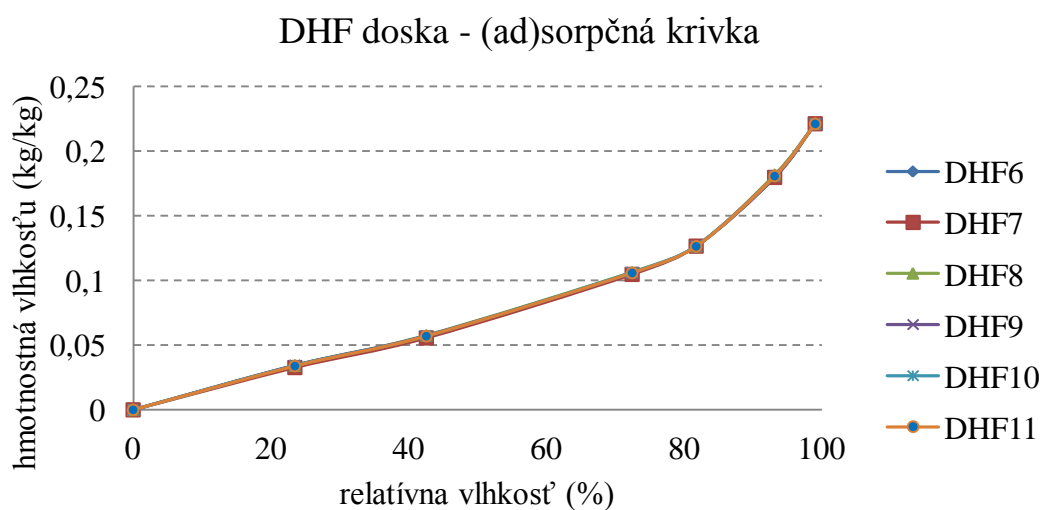


Obrázok 35 Nárast hmotnosti preglejok

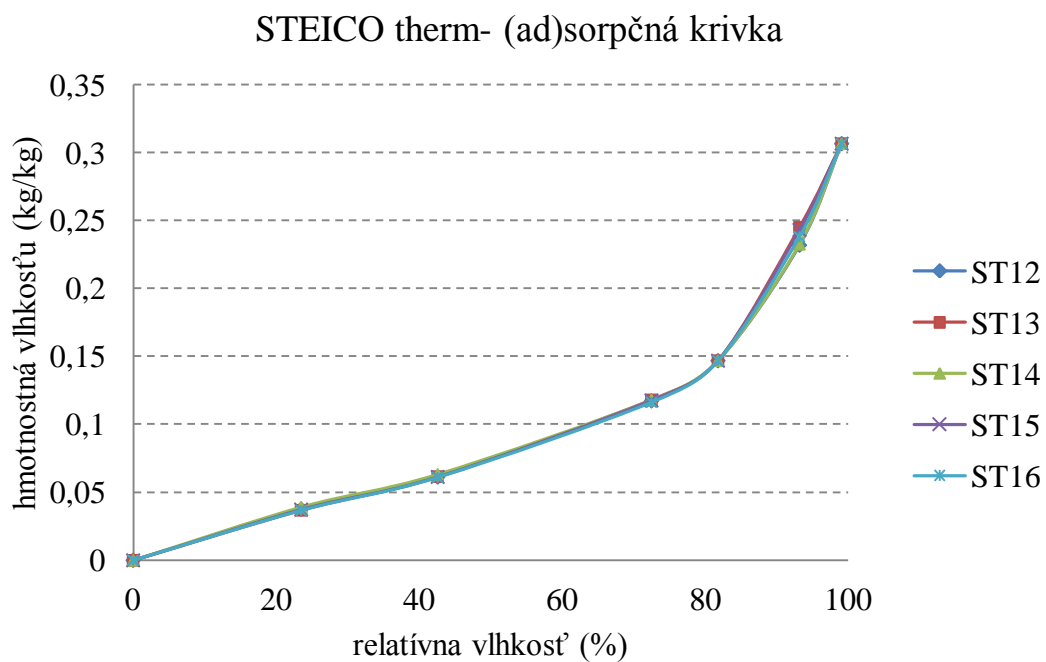
Priebeh zvyšovania hmotnosti je pre vzorky od rovnakého materiálu takmer identický. Z priebehu zmien hmotnosti jednotlivých vzoriek je vidieť ustáľovanie na jednotlivé relatívne vlhkosti. Bod 4 možno pri niektorých materiáloch vyzerá ako neustálený, ale zmena medzi jednotlivými meraniami bola menšia ako 0,1% hmotnosti vzorku, čo bola limitná hodnota ustálenia. Je vidieť, že bod 6 však ešte nebol ustálený, ale napriek tomu bol do grafu pridaný. Ustáľovanie na vysoké relatívne vlhkosti trvá dlhšie. Keby bolo viac času, bod 6 by sa posunul v krivkách vyššie.



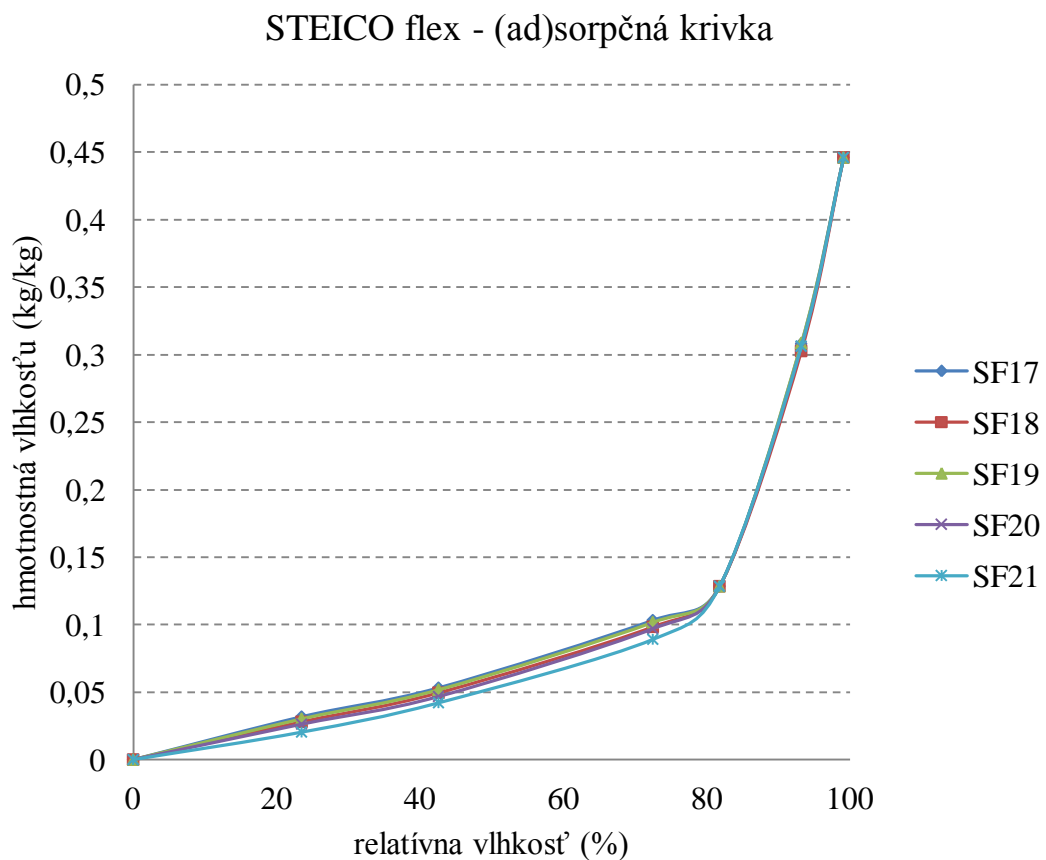
Obrázok 36 Sorpčná izoterma OSB dosky



Obrázok 37 Sorpčná izoterma DHF dosky

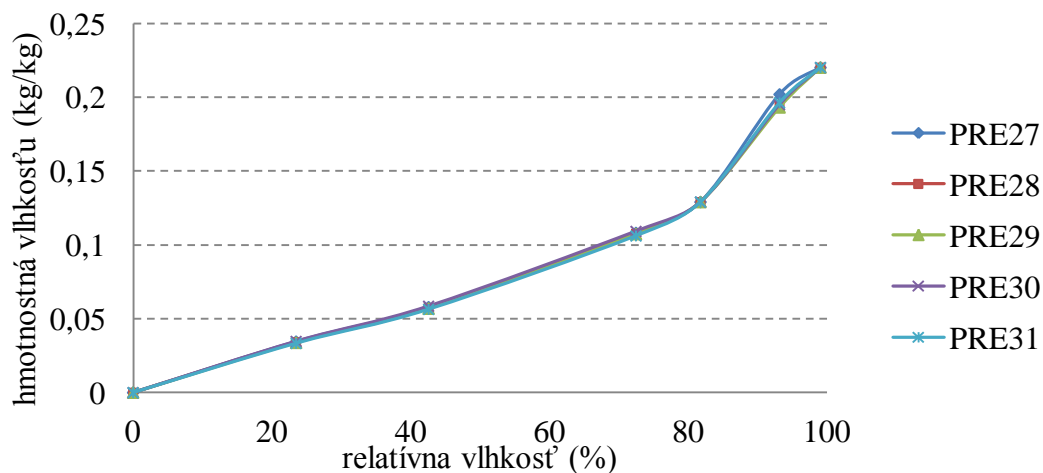


Obrázok 38 Sorpčná izoterma STEICO-therm



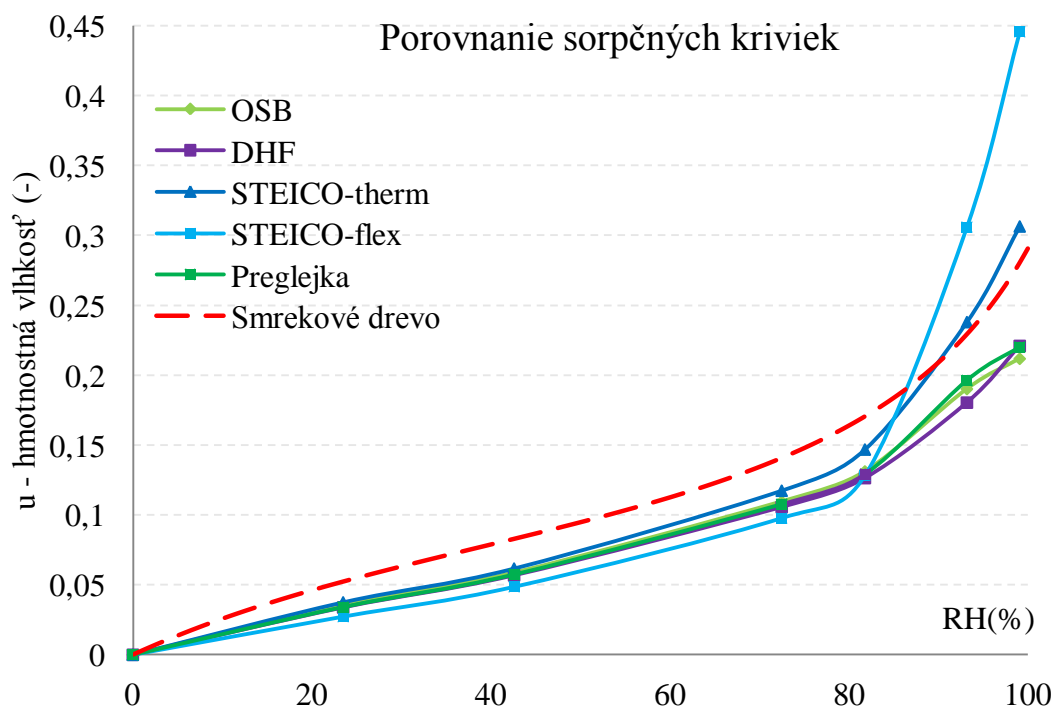
Obrázok 39 Sorpčná izoterma STEICO-flex

Preglejka - (ad)sorpčná krivka



Obrázok 40 Sorpčná izoterma preglejky

Z piatich grafov, kde sú znázornené priebehy sorpčných izoterm pre každú vzorku, je vidieť, že krivky sa pre jednotlivé materiály skoro prekrývajú. K dispozícii od výrobcov boli iba sorpčné izotermy OSB dosky a DHF dosky firmy EGGER, kde však nebolo zadané, či sa jedná o adsorpčnú alebo o desorpčnú izotermu. Podľa meraní v laboratóriu sa vykresľovala adsorpčná izoterma – krivka od výrobcu bola položená vyššie. Výrobcom by mal udávať u akú krivku ide. Všetky krivky by mali vyzeráť podobne, ako sorpčná izoterma smrekového dreva.



Obrázok 41 Porovnanie sorpčných kriviek s krivkou smrekového dreva. [2]

Z priebehu adsorpčných izoterm vidieť, že všetky materiály na báze dreva majú sorpčnú krivku veľmi podobného tvaru. Posledný BOD 6 je len orientačný, pretože hmotnosť vzoriek stále stúpala, ale z časového dôvodu bol experiment ukončený. Drevené materiály by tak nasorbovali viac vlhkosti a sorpčná izoterma by sa tak viac priblížila tej izoterme smrekového dreva.

Pri určovaní polohy bodu 6 pri relatívnej vlhkosti 97,6% mohli byť výsledky ovplyvnené príliš vysokou relatívnou vlhkosťou a kolísavou teplotou spôsobenou priebehom iných experimentov v laboratóriu, ktorých spolupôsobenie zapríčinilo to, že došlo ku vzniku jemného kondenzátu na stenách exsikátore. Ak sa kondenzát uložil aj na vzorkách proces sorpcie tak bol zastavený a skúška nevykonaná úplne správne. Po vybratí z exsikátoru vyzeral byť povrch vzoriek suchý, ale lepidlo, ktoré spája dve dosky materiálu STEICO-therm sa rozpilo – čo mohlo skresliť posledné body na krivke. Občas pri vyšších relatívnych vlhkostiach vzniká na povrchu materiálov pleseň, čo sa pri meraní nestalo.



Obrázok 43 Miera rozpítia lepidla na STEICO-therm ustálenom na bod 5



Obrázok 42 Miera rozpítia lepidla na STEICO-therm ustálenom na bod 6

Prevýšenie posledných dvoch bodov 5 a 6 drevovláknitých materiálov oproti sorpčnej krivke smrekového dreva je zapríčinené rozdielnou pórovitosťou drevovláknitých dosiek.

Všetky krivky sú posadené pri nižších relatívnych vlhkostiach do 85% nižšie ako sorpčná izoterma smrekového dreva. Tento rozdiel by mohol byť spôsobený buď nedostatočným vysušením alebo nedostatočným ustálením na dané body. Avšak v prípade experimentu sa tak stalo neúmyselnou výrobou akéhosi „thermowood“ – dreva odolného voči vlhkosti a plesniam.

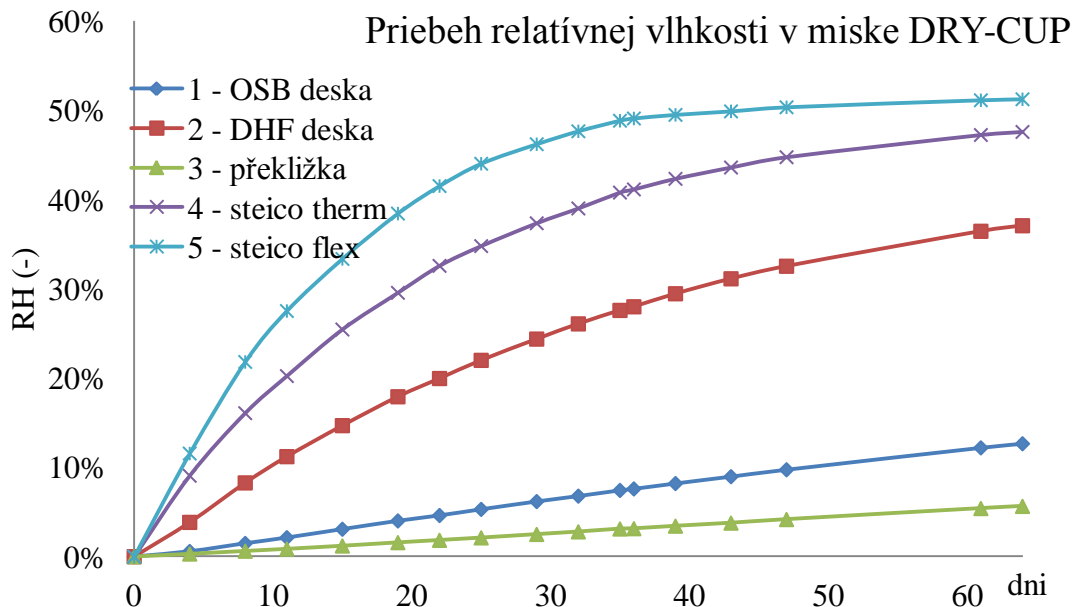
Tepelnou úpravou dochádza k vyhladeniu vnútorného povrchu materiálu a tým sa zmenší plocha, ktorá je schopná na seba nadviazať vodu. Čím je drevo zhriate na vyššiu teplotu, tým menej vlhkosti sorbuje. [20] Drevo dosiahlo tieto vlastnosti pri sušení, kde sa použila príliš vysoká teplota 105°C a príliš dlhá doba na sušenie – cca 1 mesiac. Sušiť by sa malo pri nižšej teplote. Dôkazom je aj zmena farby a štruktúry dosiek STEICO-flex. Materiály na báze dreva po sušení boli vlhkostne odolnejšie, nenasorbovali toľko vlhkosti, ako by nasorbovalo správne vysušené smrekové drevo. Nesprávne sušenie spôsobilo zlepšenie odolnosti voči vlhkosti. Odolnosť voči plesniam sa netestovala.

| BOD | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------|----|------|------|------|------|------|------|
| RH (%) | 0 | 23,5 | 42,6 | 72,5 | 81,8 | 93,2 | 99,1 |
| OSB | 0% | 31% | 29% | 22% | 21% | 17% | 24% |
| DHF | 0% | 35% | 31% | 25% | 24% | 21% | 21% |
| STEICO-therm | 0% | 28% | 25% | 17% | 12% | -4% | -10% |
| STEICO-flex | 0% | 48% | 41% | 30% | 23% | -33% | -60% |
| Preglejka | 0% | 35% | 31% | 23% | 22% | 14% | 21% |

Tabuľka 8 Zlepšenie sorpčných vlastností nesprávnym sušením (v drevovláknitých doskách pri vysokých teplotách dochádza ku kondenzácii)

3.3 Difúzny odpor – výsledky meraní

Meranie sa riadilo podľa normy. Norma udáva pre dry-cup spád vlhkostí 0/50. Namerané hodnoty faktoru difúzneho odporu metódou dry-cup boli stanovené pri rozdiely v relatívnych vlhkostiach 0/56-54/56. Ako vysúšadlo bol použitý silikagél, ktorý však nevytváral úplne nulovú relatívnu vlhkosť. Silikagél má sám o sebe svoju sorpčnú krivku. Táto skutočnosť zapríčinila, že vlhkosť v miske bola premenlivá a narastala v závislosti na difúzných vlastnostiach vloženého materiálu. Tzn. že silikagél v miskách s drevovláknitými vzorkami navlhal rýchlejšie ako silikagél s drevitými vzorkami. Z tohto vyplýva že použitie silikagélu je pre túto skúšku nevhodné. Vhodnejšie by bolo použiť roztok, ktorý udržuje stálu relatívnu vlhkosť, čím najbližšiu nule. Pre menej priepustné materiály (OSB, preglejky) sú výsledky pomerne presné, avšak pre priepustné materiály (DHF, drevovláknité dosky) je výsledok vysoko ovplyvnený, avšak pri veľmi nízkych hodnotách faktora difúzneho odporu týchto materiálov je zmena hodnoty v radoch desiatin zanedbateľná. Priebeh relatívnych vlhkostí v suchej miske je viditeľný na grafe.



Obrázok 44 Graf priebehu priemernej relatívnej vlhkosti v miskách

Vlhkostný spád pre skúšku metódou wet-cup bola 60/98, čo je zas viac ako udáva norma, takže získané hodnoty by mali byť menšie ako tie normové, kde sa skúška vykonáva spádom 50/94. Hmotnosť by mala v priebehu experimentu v miskách klesať. Avšak v prvých pár dňoch hmotnosť misiek stúpala, čo je zapríčinené tým, že vzorky neboli dostatočne kondicionované, ich relatívna vlhkosť bola menšia ako 60% v exsikátore, tým pádom vzorky prvotne nasávali vlhkosť z oboch strán – aj z misky aj z okolitého prostredia a až neskôr sa tok usmernil a vlhkosť prúdila z misky cez vzorky von.

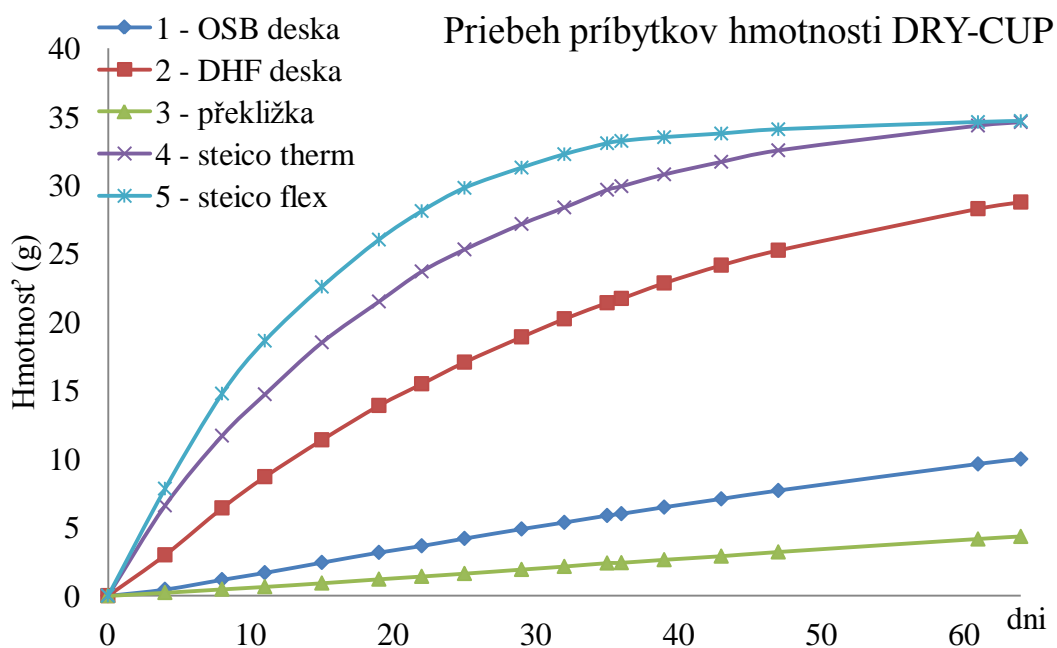
Čím je relatívna vlhkosť spádu vyššia, tým nižšie je μ , pretože vlhkosť prúdi rýchlejšie. To potvrdzuje, že hodnoty wet-cup sú vždy vyššie ako hodnoty pre dry-cup. Ak výrobca udáva, že hodnoty sú rovnaké, nie je to pravda.

Difúzne deje prebiehali na vzorkách viac ako 2 mesiace – čo je na zdĺhavý proces difúzie pomerne krátka doba, aby sa tok úplne ustálil a výsledky boli tak čo najpresnejšie. Difúzna skúška sa však z dôvodu časových možností ukončila skôr a vychádzalo sa z nameraných úbytkov/príbytkov vlhkosti v priebehu cca dvoch mesiacov.

Pri výpočtoch sa brali do úvahy netesnosti miskou, prekrytie okraju misky, zväčšujúca sa vzduchová vrstva pod miskou v metóde wet-cup a sorpčná schopnosť silikagélu pri metóde dry-cup.

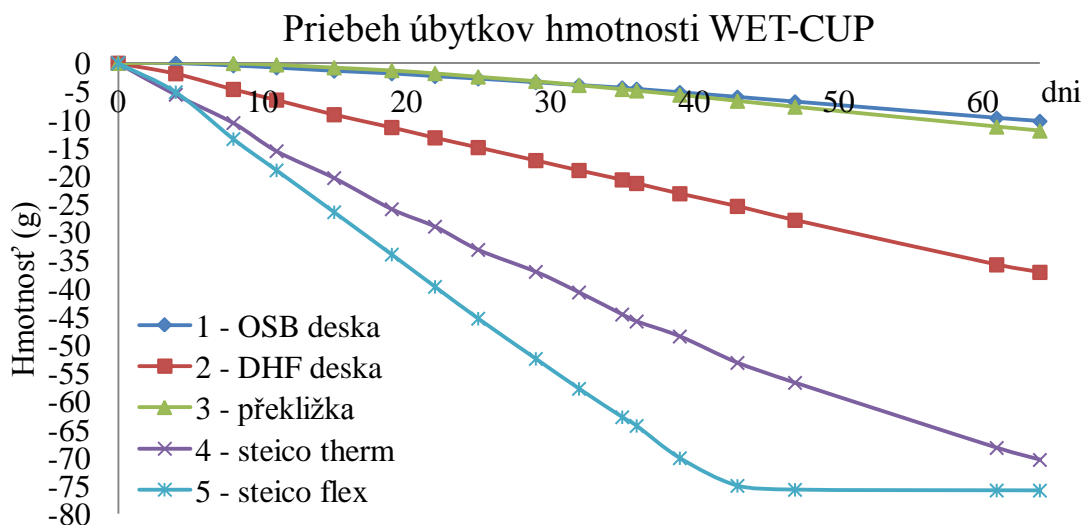
Podľa grafu do misky preniklo isté množstvo (v prípade drevovláknitých dosiek až cez 35 gramov) vodnej pary, z čoho väčšina bola absorbovaná silikagélom, čo spôsobilo zvýšenie relatívnej vlhkosti v miske. Pribudnuté množstvo vodnej pary je nepriamo úmerne faktoru difúzneho odporu pri suchom stave.

Pri drevovláknitých doskách došlo k stavu, že celá miska – materiál, vzduch aj silikagél dosiahli stav – že všetko malo takmer rovnakú relatívnu vlhkosť ako prostredie exsikátoru. Z nasýteného vzduchu v exsikátore sa najskôr nasýtil materiál, časť vlhkosti z materiálu pohltil silikagél, začal proces difúzie, cez materiál začala prúdiť vodná para do misky, z ktorej sa nasycoval silikagél a postupne sa aj skúšaný materiál nasycoval viac a viac, z neho vlhkosť poputovala do silikagélu až sa dosiahol ustálený stav, kedy takmer žiadna vlhkosť do misky neprúdila, čo je vidieť aj v grafe. Graf je analogický s grafom relatívnych vlhkostí v čase.



Obrázok 45 Priebeh priemerných zmien - príbytkov hmotnosti pri metóde DRY-CUP

Z grafu úbytkov hmotností v miskách je vidieť závislosť faktoru difúzneho odporu wet-cup od množstva uvoľnenej vodnej pary. Pri STEICO-flex, najviac priepustnom materiáli, z grafu vidieť, že roztok bol už minútý, takže skúška prebiehala len cca do 40 dňa – a je viditeľné, že miske sa na začiatku skúšky umiestnilo 75 ml roztoku.



Obrázok 46 Priebeh priemerných zmien - úbytkov hmotnosti pri metóde WET-CUP

| R.H. | 31-49% | 79% |
|---------------------|---------------|---------------|
| materiál | DRY-CUP μ | WET-CUP μ |
| OSB | 85 | 51 |
| DHF | 21 | 15 |
| Preglejka | 218 | 41 |
| STEICO-therm | 3,0 | 2,9 |
| STEICO-flex | 1,8 | 1,3 |

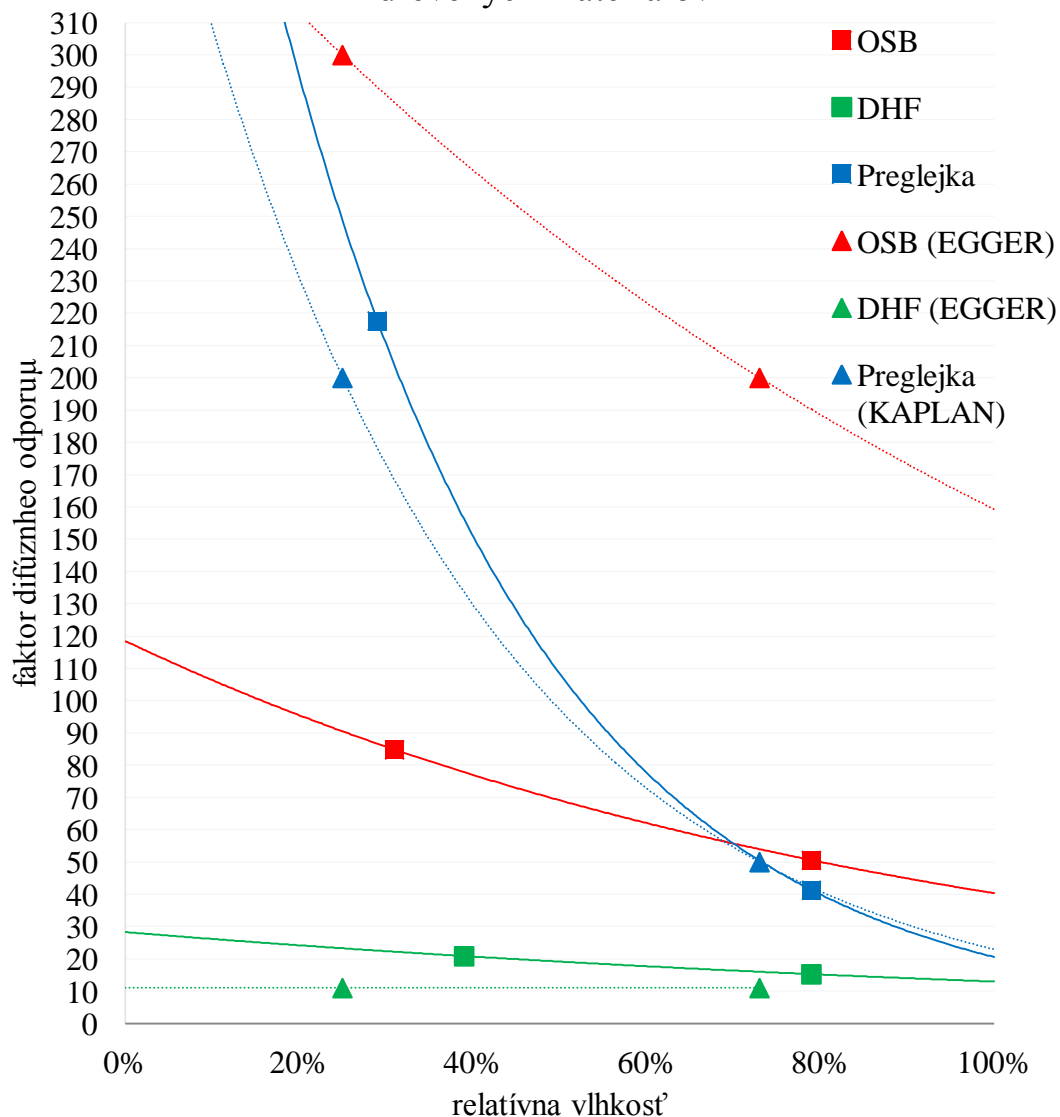
Tabuľka 9 Laboratórne namerané vlastnosti (hodnoty faktora difúzneho odporu boli zaokrúhľované na celé čísla pri drevitých materiáloch, pri drevovláknitých na jedno desatinné miesto)

| R.H. | 25% | 73% |
|-----------------------|---------------|---------------|
| materiál | DRY-CUP μ | WET-CUP μ |
| OSB (EGGER) | 300 | 200 |
| DHF (EGGER) | 11 | 11 |
| Preglejka (KAPLAN) | 200 | 50 |
| STEICO-therm (STEICO) | 5 | 5 |
| STEICO-flex (STEICO) | 2 | 1 |

Tabuľka 10 Faktory difúzných odporov udávané výrobcami

Z výsledkov je zrejmé, že výrobcovia udávajú pomerne kvalitné vlastnosti OSB dosiek, OSB doska býva často používaná pri konštrukčných skladbách ako jediná parobrzdna vrstva. Pri zavedení hodnôt výrobcom do výpočtov tak môžu vzniknúť chybné návrhy a veľmi poruchové konštrukcie. OSB doska v porovnaní s preglejkou, kde sa štruktúry pri prúdení vlhkosti otvárajú rovnomerne. Má medzi jednotlivými trieskami v medzerách vzduch, čo vysvetľuje väčšiu prievzdušnosť, tzn. menší faktor difúzneho odporu pri nižších relatívnych vlhkostiach.

Faktor difúzneho odporu μ - DRY-CUP a WET-CUP drevených materiálov

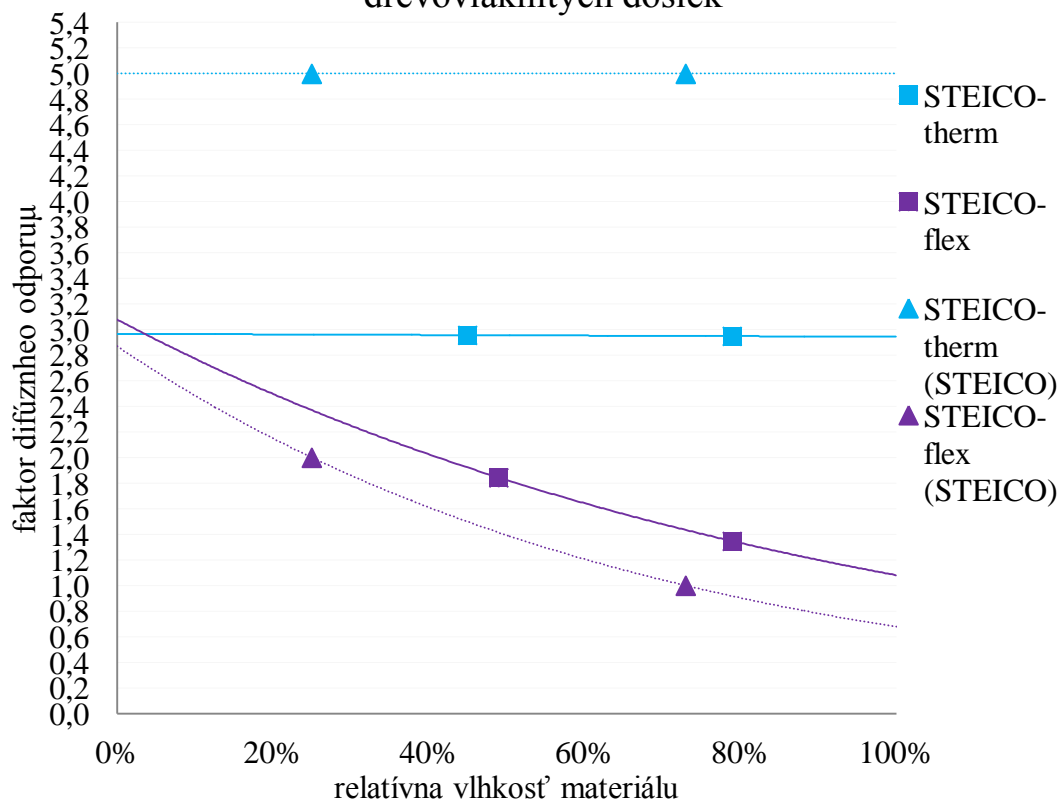


Obrázok 47 Graf predpokladaného priebehu faktoru difúzneho odporu drevených materiálov v závislosti na vlhkosti- výsledky meraní bez zahrnutia neistôt vs. hodnoty udávané výrobcom

U preglejky a DHF dosky sú výsledky už o niečo podobnejšie. DHF doska vykazuje lepšie výsledky ako udáva výrobca. Samozrejme – výrobca udával iba jedno číslo, čo by na strane bezpečnosti malo udávať hodnotu wet-cup. Aj keď sú informácie od preglejkách z rôznych zdrojov, závislosť faktoru difúzneho odporu je podobná a dokonca boli namerané lepšie hodnoty, ako zdroje udávajú. [13], [15]

Vzhľadom na použitie OSB dosiek za parobrzdňú vrstvu na interiérovej strane skladby drevostavieb, je vhodnejšie nahradiť ju preglejkou, ktorá v suchom stave dosahuje vyšší faktor difúzneho odporu.

Faktor difúzneho odporu μ - DRY-CUP a WET-CUP drevovláknitých dosiek



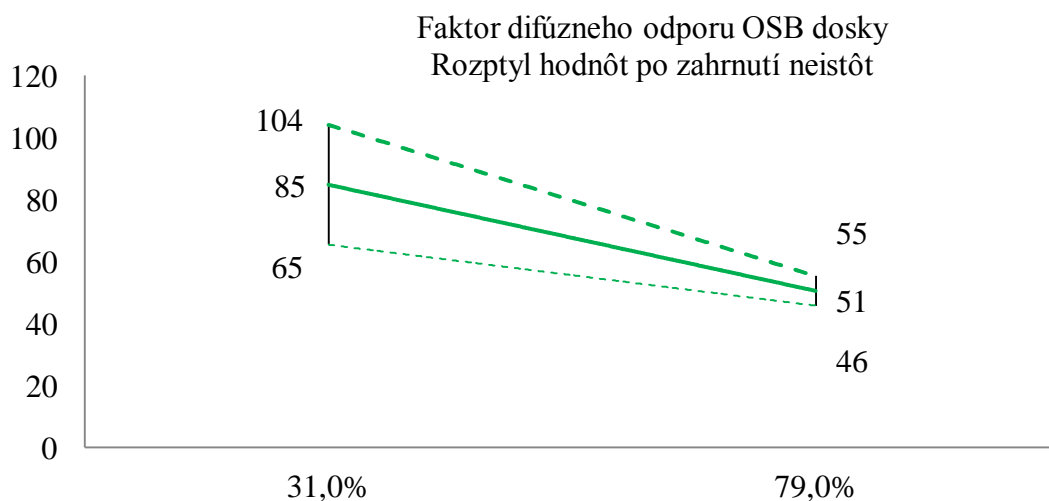
Obrázok 48 Graf predpokladaného priebehu faktoru difúzneho odporu drevovláknitých materiálov v závislosti na vlhkosti- výsledky meraní(+predpoklad priebehu) bez zahrnutia neistôt vs. hodnoty udávané výrobcom

Chyby meraní mohli byť spôsobené viacerými faktormi a úpravami v skúške oproti norme:

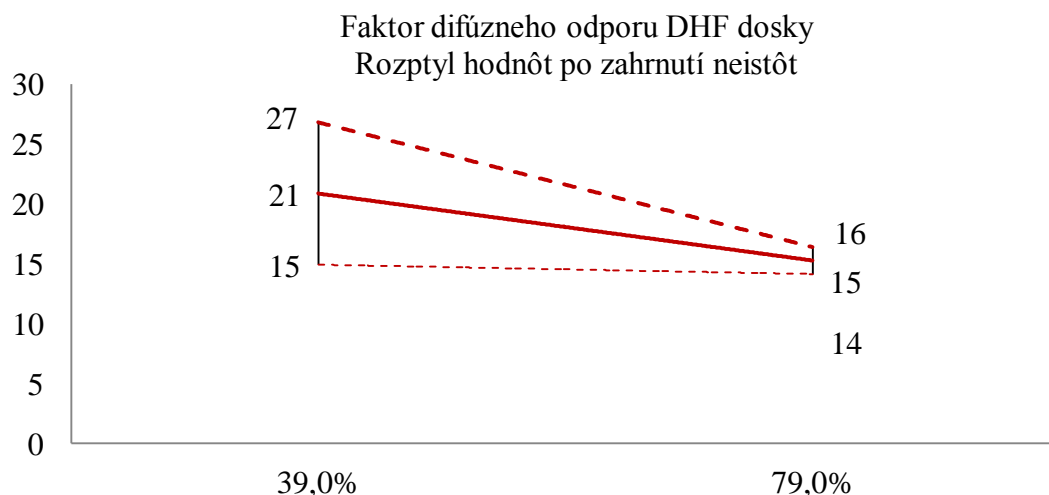
- nevhodné použitie silikagélu ako vysúšadlo, ktoré spôsobilo zníženie hodnoty dry-cup v dôsledku premenlivej vlhkosti v miske – čím vyššia je vlhkosť, tým je μ menšie (v skutočnosti môžu byť hodnoty μ_{dry} pre priepustnejšie materiály vyššie)
- iný vlhkosťný spád, odlišnosť voči norme, ktorá mohla deje skresliť oproti hodnotám od výrobcov
- použitie silikagélu pri metóde dry-cup, vhodnejšie by bolo použiť roztok, ktorý udržiava konštantnú relatívnu vlhkosť – predišlo by sa tak komplikovanejším výpočtom i nerovnomernému procesu difúzie
- dĺžka skúšky, difúzia je v skutočnosti dej, ktorý prebieha veľmi pomaly, preto doba 64 dní nie je dosť dlhá doba na to, aby sa na základe nej určil difúzny súčiniteľ

- nedostatočné množstvo roztoku pri metóde wet-cup pri drevovláknitých doskách, ktoré majú nízky faktor difúzneho odporu – roztok sa vyparil rýchlejšie ako stihla prebehnúť celá difúzna skúška

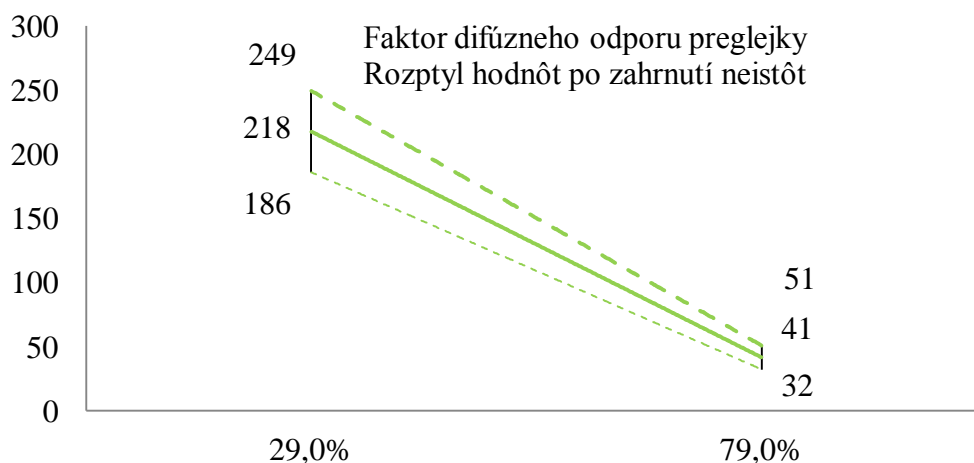
Po zahrnutí neistôt je rozptyl hodnôt faktoru difúzneho odporu pre jednotlivé materiály zobrazený na grafoch.[18] Chyba vznikajúca pri metóde dry-cup je vo všeobecnosti väčšia. Môže za to okrem iného aj nepresnosť spôsobená nesprávnym použitím silikagélu, ktorý neudržiaval miskú konštantne suchú.



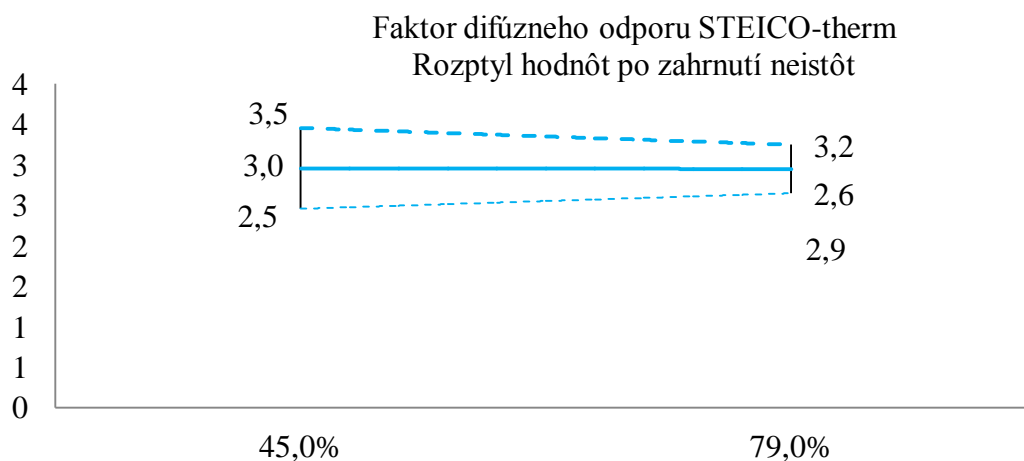
Obrázok 49 Graf závislosti μ OSB dosky na RF po zahrnutí neistôt



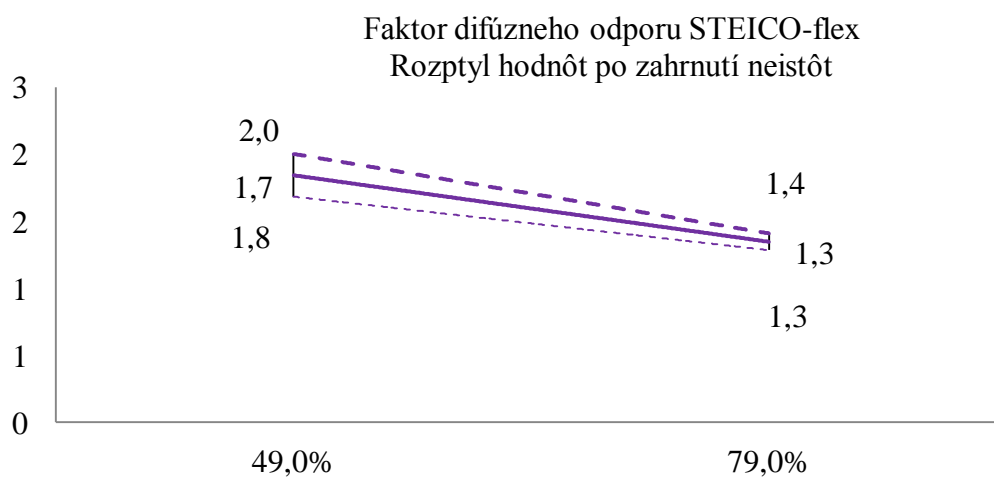
Obrázok 50 Graf závislosti μ DHF dosky na RF po zahrnutí neistôt



Obrázok 51 Graf závislosti μ preglejky na RF po zahrnutí neistôt



Obrázok 52 Graf závislosti μ STEICO-therm na RF po zahrnutí neistôt



Obrázok 53 Graf závislosti μ STEICO-flex na RF po zahrnutí neistôt

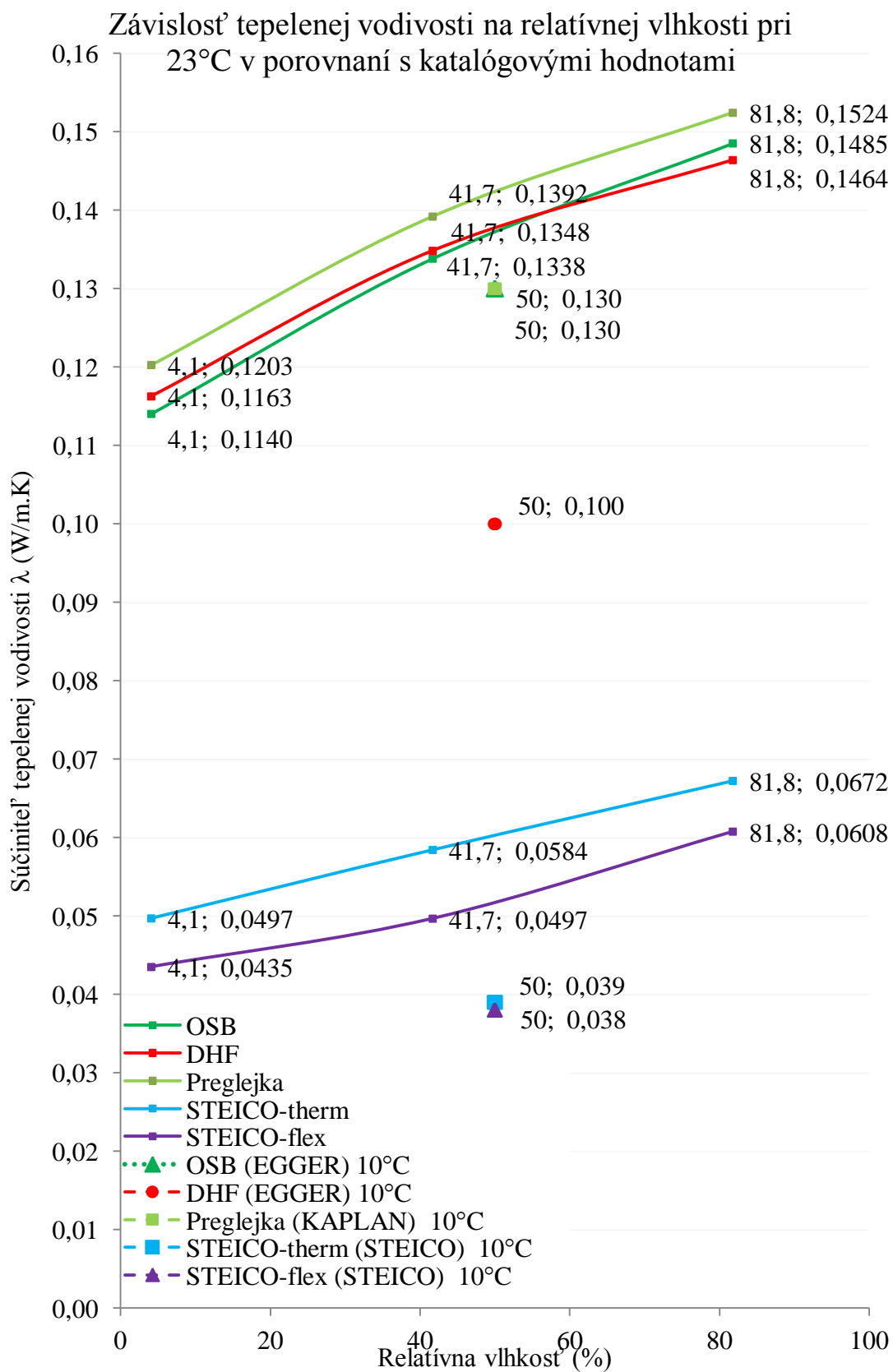
3.4 Tepelná vodivosť – výsledky meraní

Normová skúška prebieha pri teplote 10°C a relatívnej vlhkosti 50%. Pri vyšších relatívnych vlhkostiach má materiál s väčším obsahom vody vyššiu tepelnú vodivosť. To isté platí pre vyššie teploty pri meraní. Molekuly materiálu sa hýbu v teple rýchlejšie a tak sú viac vodivé. Pre určenie priebehu závislosti súčiniteľa tepelnej vodivosti na relatívnej vlhkosti je potrebné určiť aspoň tri body. Jeden bol sa určil pri suchom vzorku, tzn. relatívnej vlhkosti 0%, druhý pri vlhkosti 43% a tretí pri relatívnej vlhkosti 85%. Pre každú relatívnu vlhkosť a každý materiál boli vykonané tri merania – spolu 45 meraní Isometom.

Tromi bodmi boli preložené polynomicke krivky. Výsledné hodnoty λ sa samozrejme podľa predpokladu v závislosti s narastajúcou vlhkosťou zvyšovali.

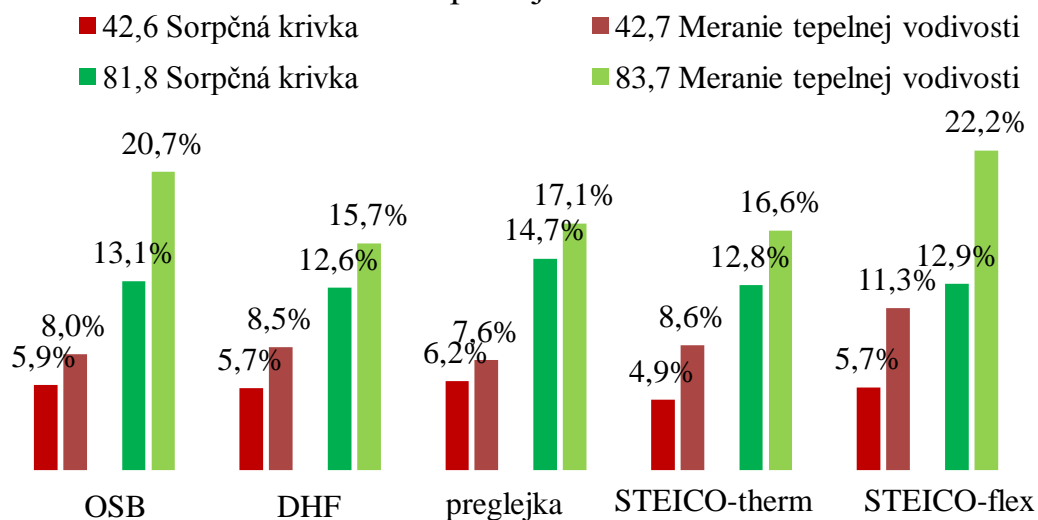
Tepelná vodivosť od výrobcov sa meria pri 10°C a 50% R.H., pri vlastnom meraní v laboratóriu Isometom sa výsledky líšia, pretože meranie prebiehalo pri inej teplote – 23°C a pri iných relatívnych vlhkostiach - 0%, 43% a 85% – čím väčšia relatívna vlhkosť, tým vyšší súčiniteľ tepelnej vodivosti λ a tiež čím vyššia teplota, tým vyššia λ . Z grafu je vidieť, že katalógové hodnoty sú tak posadené nižšie ako predpokladané priebehy závislostí určených zo zmeraných hodnôt.

Chyby meraní môžu byť ďalej ovplyvnené únikmi vlhkosti do prostredia laboratória pri výmene materiálov medzi meraniami, presunmi sondy na inú časť materiálu. Chyba toho, že všetky vzorky neboli úplne rovnaké bola eliminovaná presunom sondy a počtom meraní. Chyba nedostatočnej hrúbky materiálu sa snažila byť eliminovaná uložením viacerých dosiek na seba, avšak v tomto prípade zas vzniká chyba merania vloženou medzerou – prerušením materiálu. Sonda nie je dostatočne ťažká na to, aby drevené vzorky ku sebe dokonale pritlačila a pri drevovláknitých materiáloch zas mäkkosť podkladového skúšaného materiálu mohol spôsobiť nestálosť sondy. Chyba je však menšia, ako keby sa meralo na materiáli s nedostatočnou hrúbkou.



Obrázok 54 Závislosť súčiniteľa tepelnej vodivosti na relatívnej vlhkosti v porovnaní s hodnotami od výrobcov

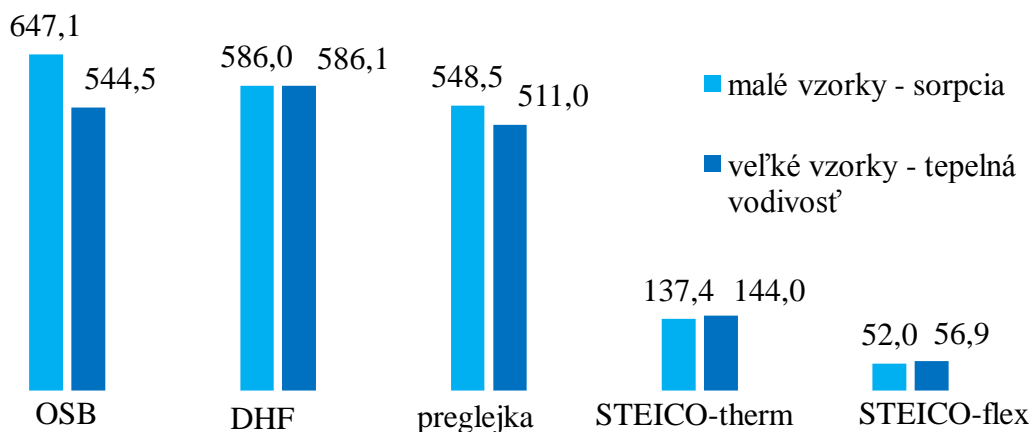
Porovnanie hmotnostných vlhkostí meraných pri sorpcii vs. pri skúške tepelnej vodivosti



Obrázok 55 Graf porovnania hmotnostných vlhkosti vzoriek vs. údaje so sorpčnej krivky

Rozdiely medzi hodnotami hmotnostných vlhkostí na malých vzorkách použitých na sorpčnú skúšku a na veľkých vzorkách použitých na skúšku tepelnej vodivosti sú pomerne veľké. Táto odlišnosť vznikla už spomínaným vytvorením vlhkosťne odolného dreva. Rozdiel v hodnotách je ovplyvnený aj tým, že vzorky na meranie tepelnej vodivosti nešli od nulovej relatívnej vlhkosti, to znamená že mohli aj desorbovať a vtedy je hmotnostná vlhkosť pre danú relatívnu vlhkosť vyššia ako pri adsorpčnej krivke.

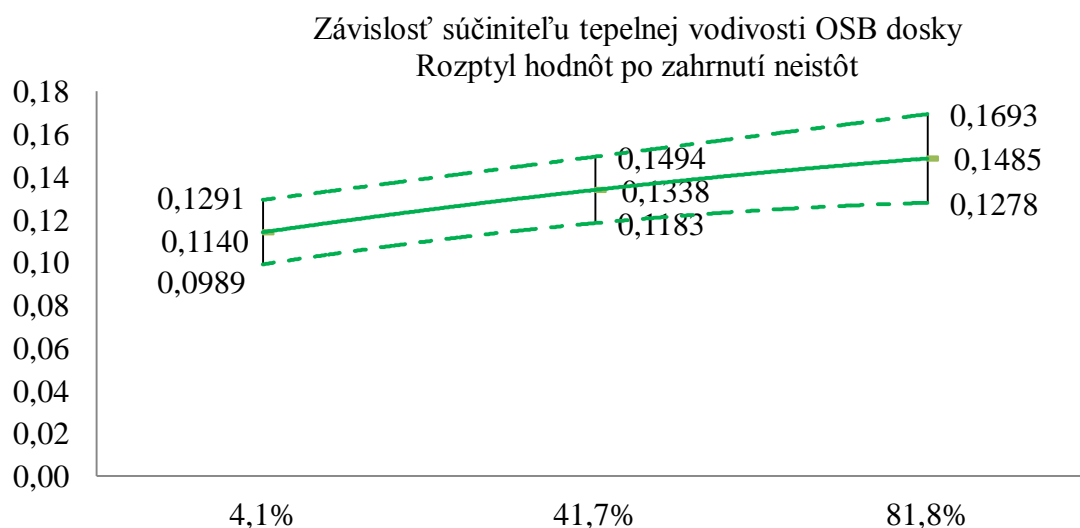
Porovnanie objemových hmotností pri sorpčnej skúške vs. pri skúške tepelnej vodivosti



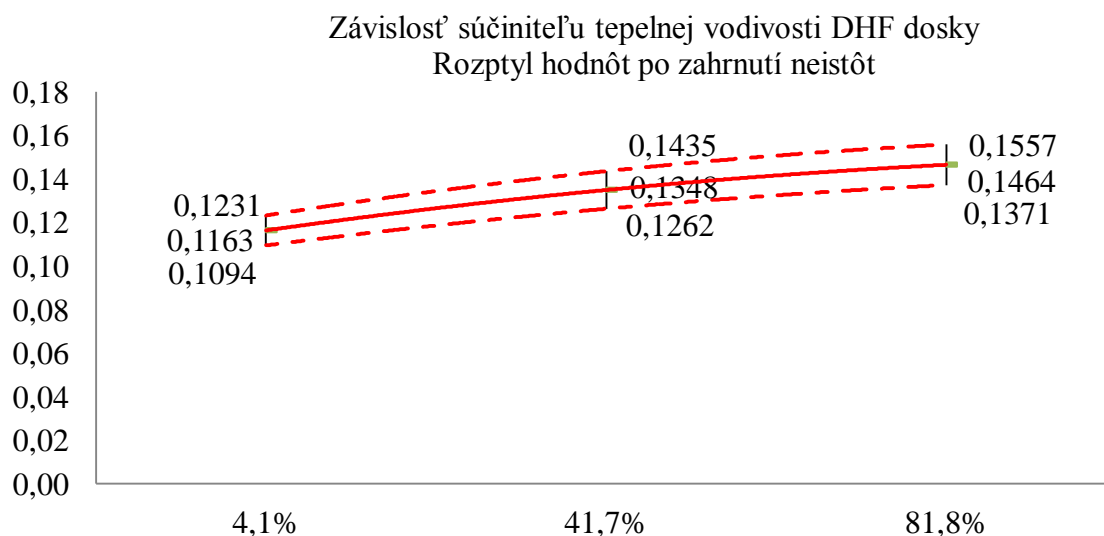
Obrázok 56 Graf porovnanie rozdielnych objemových hmotností suchých vzoriek pri rôznych postupoch merania – veľkosti vzoriek a dĺžke sušenia

Objemové hmotnosti sa líšia. Sušenie na meranie tepelnej vodivosti prebiehalo o polovicu kratšie. Pri difúzne otvorenejších materiáloch (drevovláknité dosky a DHF doska) došlo pri dlhšom sušení k väčšiemu úbytku hmotnosti, takže pri dlhšom sušení na sorpčnú skúšku bola objemová hmotnosť menšia. Pri difúzne uzavretejších materiáloch (OSB, preglejka) nedošlo pri dlhšom sušení až k takej zmene. Rozdiely v objemovej hmotnosti boli nadobudnuté veľkosťou vzoriek a nepresnosťami merania rozmerov.

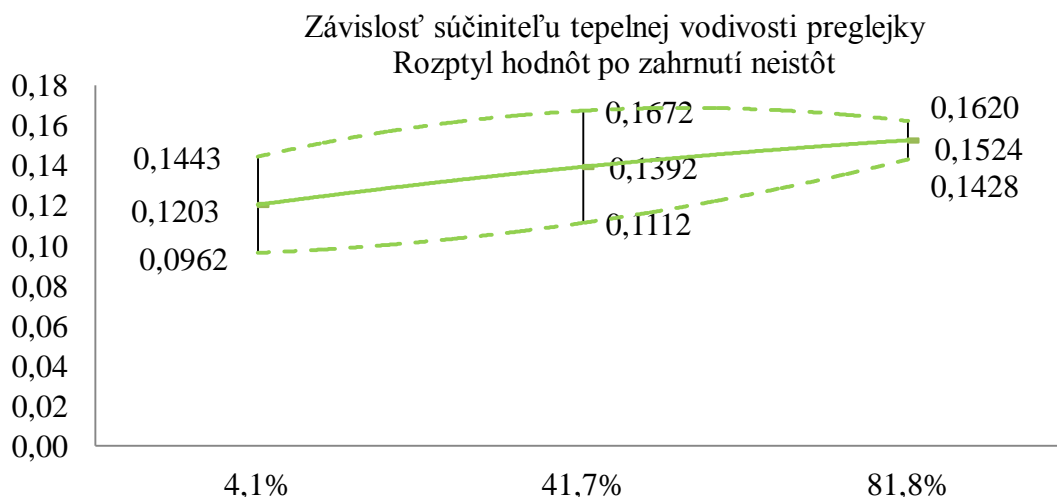
Po zahrnutí neistôt je možný rozptyl hodnôt súčiniteľa tepelnej vodivosti zobrazený na grafoch. Chyby by sa dali značne eliminovať zvýšením počtu meraných vzoriek a opakovateľnosťou meraní. [19]



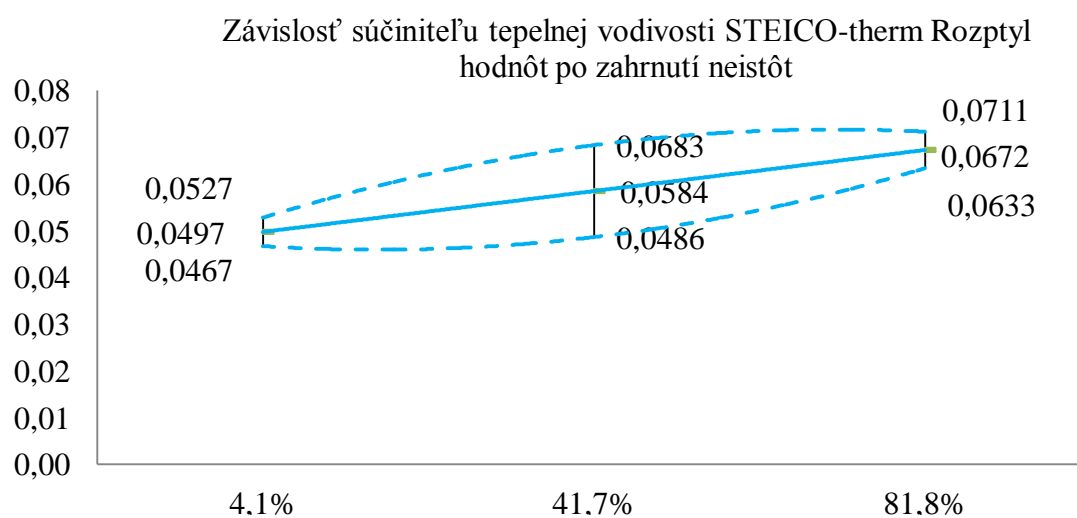
Obrázok 57 Graf závislosti λ na RH - rozptyl hodnôt OSB dosky po zahrnutí neistôt



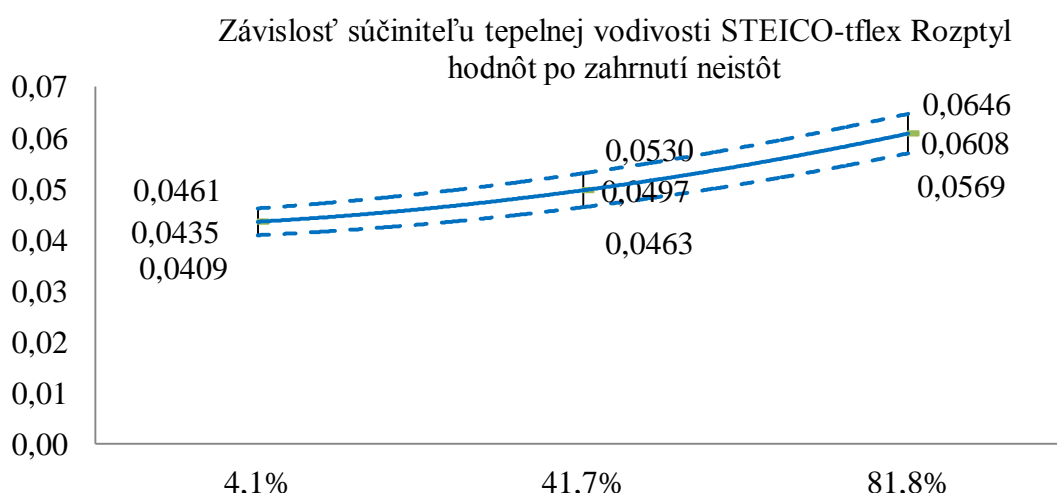
Obrázok 58 Graf závislosti λ na RH - rozptyl hodnôt DHF dosky po zahrnutí neistôt



Obrázok 59 Graf závislosti λ na RH - rozptyl hodnôt preglejky po zahrnutí neistôt



Obrázok 60 Graf závislosti λ na RH - rozptyl hodnôt STEICO-therm po zahrnutí neistôt



Obrázok 61 Graf závislosti λ na RH - rozptyl hodnôt STEICO-flex po zahrnutí neistôt

4 Počítačové simulácie s použitím nameraných dát

Tepelno-vlhkostné deje boli sledované pomocou programov TEPLO a WUFI. Výsledky z programov s rôznymi vstupnými hodnotami (vlastné laboratórne zistené hodnoty, katalógy výrobcov, katalógy programov) boli porovnané a posúdené základné tepelno-vlhkostné požiadavky konštrukcií. Pre simulácie boli použité 4 skladby stien drevostavieb so stĺpikovou nosnou konštrukciou [21] (skladby sú v poradí od exteriéru k interiéru, súčiniteľ prestupu tepla je udávaný vrátane nosnej časti):

SKLADBA 1 – difúzne otvorená, dvojplášťová, doskový obklad ($U=0,162\text{W/m}^2\text{K}$)

- palubné dosky 20 mm
- zvislé latky 30/50 á 400 mm 30 mm
- DHF doska 15 mm
- nosná konštrukcia + fúkaná celulóza 205 mm
- OSB doska Egger 4PD (spoje lepené PU) 15 mm
- drevený rošt 24/60 mm + Orsil Orsik 60 mm
- sadrokartón 12,5 mm

SKLADBA 2 – difúzne otvorená, dvojplášťová, doskový obklad ($U=0,165\text{W/m}^2\text{K}$)

- palubné dosky 20 mm
- zvislé latky 30/50 á 470 mm 30 mm
- difúzna fólia Jutadach 115 g -
- vodorovné latky 40/80 + Orsil Orsik 80 mm
- KVH hranol 140/40 + Orsil Orsik 140 mm
- OSB doska Egger 4PD (spoje lepené PU) 15 mm
- drevený rošt 24/60 mm + Orsil Orsik 60 mm
- sadrokartón 12,5 mm

SKLADBA 3 – difúzne otvorená, jednoplášťová ($U=0,171\text{W/m}^2\text{K}$)

- finálna vonkajšia omietka Weber 1,5 mm
- stierka s armovacou tkaninou 5 mm
- Orsil NF 333 80 mm
- DHF doska 15 mm
- KVH hranol 140/40 + Orsil Orsik 140 mm
- OSB doska Egger 4PD (spoje lepené PU) 15 mm
- drevený rošt 24/60 mm + Orsil Orsik 60 mm
- sadrokartón 12,5 mm

SKLADBA 4 – difúzne uzavretá, jednoplášťová, vonkajší kontaktný zatepľovací systém ($U=0,167\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

- | | |
|---|---------|
| • finálna vonkajšia omietka Sto | 1,5 mm |
| • stierka s armovacou tkaninou | 5 mm |
| • EPS-F | 80 mm |
| • OSB doska Egger 4PD | 15 mm |
| • KVH hranol 140/40 + Orsil Orsik | 140 mm |
| • parotesná fólia Dekfol N 110 Standard | - |
| • drevený rošt 24/60 mm + Orsil Orsik | 60 mm |
| • sadrokartón | 12,5 mm |

Pôvodné materiálové zloženie skladieb bolo pre účely aplikácie nameraných vlastností potrebné upraviť. Vždy išlo o zámenu materiálu v pôvodnej skladbe za materiál s podobnými funkčnými a príbuznými materiálovými vlastnosťami. Tam kde to bolo možné sa použité tepelné izolácie nahradili izoláciami STEICO.

- namiesto Orsil Orsik použitý STEICO-flex
- namiesto fúkanej celulózy použitý taktiež STEICO-flex
- namiesto TF Profi použitý STEICO protect (vlastnosti tohto materiálu neboli laboratórne skúšané, ale podľa katalógu výrobcu sa vo faktore difúzneho odporu a v hodnote mernej tepelnej kapacity zhoduje so STEICO therm. STEICO protect má ale vyšší súčiniteľ tepelnej vodivosti a tiež objemovú hmotnosť – preto pri vstupných hodnotách do simulácií sú zadané tieto katalógové hodnoty a pre merania s vlastnými vstupmi sú použité hodnoty Steico protect prepočítané pomerovo pomocou STEICO-therm)
- v difúzne otvorenej skladbe sa ponechal EPS
- namiesto OSB 4PD sa použila OSB 3 E0, ktorej vlastnosti sa merali v laboratóriu (podľa výrobcu EGGER má horšie difúzne vlastnosti ako 4PD)

4.1 Simulácie v programe TEPLO

V programe sa vykonalo štandardné posúdenie konštrukcií - posúdenie súčiniteľu priestupu tepla, skondenzovaného množstva a bilancia kondenzácie a vyparovania. Množstvo skondenzovanej vodnej pary $M_{c,a}$ musí byť menšie ako množstvo vypariteľnej vodnej pary $M_{ev,a}$, pričom celkové množstvo kondenzátu nesmie presiahnuť 0,1 kg na meter štvorcový konštrukcie za rok.

Pre upravené skladby sa zadali vstupy z programu TEPLO, vstupné hodnoty od výrobcov a namerané hodnoty. Podľa výsledkov experimentu vykazuje preglejka v porovnaní s OSB doskou pri nižších relatívnych vlhkostiach priaznivejšie difúzne vlastnosti. Pre využitie týchto dát sa pre posúdenie vyskúšala použiť obmena tretej varianty ďalšia varianta, kde sa v skladbách všade namiesto OSB dosky použila preglejka a sledovali sa zmeny v tepelno-vlhkostnom správaní týchto dvoch skladieb. Vstupné hodnoty, čo sa týka vlastností materiálov boli teda pre simulácie zadávané štyrmi spôsobmi.:

- a) hodnoty katalógov programov – všeobecné názvy materiálov
- b) hodnoty udávané výrobcami
- c) hodnoty namerané pri skúškach v laboratóriu
- d) hodnoty namerané pri skúškach v laboratóriu – namiesto OSB dosky preglejka s lepšími difúznymi vlastnosťami

V prípade za c) a za d), kde sa použili vlastné namerané dáta, bolo dôležité čo najsprávnejšie vybrať vstupnú vlastnosť pre aktuálnu relatívnu vlhkosť. Podľa výstupnej hodnoty strednej relatívnej vlhkosti vo vrstvách v grafickom vyhodnotení bude upravovaná ich vstupná hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti λ a faktoru difúzneho odporu μ , hodnoty budú odčítavané z grafov priebehu týchto veličín z laboratórnych meraní až kým sa výstupné a vstupné hodnoty nebudú takmer zhodovať.

Z dôvodu posudzovania konštrukčnej skladby (nie celej steny) sa zanedbali nosné konštrukčné stojky a rošty. Pre výpočty boli použité vstupné okrajové podmienky:

- interiér = obytné miestnosti $T_i=20,6^\circ\text{C}$
- vlhkostné zaťaženie: trieda 3, $\phi_i=40,3\%$
- exteriér $T_e= -13^\circ\text{C}$, $\phi_e=84\%$
- prirážka na súčiniteľ prestupu tepla $\Delta U=0,000\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (tzn. bez prirážky)
- tepelný odpor pri prestupe tepla na vnútornej strane $R_{si}=0,13\text{m}^2\text{K/W}$
- tepelný odpor pri prestupe tepla na vonkajšej strane pre jednoplášťové konštrukcie $R_{se}=0,04\text{m}^2\text{K/W}$, pre dvojplášťové konštrukcie $R_{se}=0,13\text{ m}^2\text{K/W}$

Skladba 1 upravená pre simulácie (DOK – prevetrávaná)

Upravená skladba od exteriéru k interiéru:

- palubné dosky 20 mm
- zvislé latky 30/50 á 400 mm 30 mm
- DHF doska 15 mm
- nosná konštrukcia + *STEICO flex* 205 mm
- OSB doska Egger 3 (spoje lepené PU) / preglejka 15 mm
- drevený rošt 24/60 mm + *STEICO flex* 60 mm
- sadrokartón 12,5 mm

| SKLADBA 1 | U | M _{c,a} | M _{ev,a} |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| Vstupy | W/m ² K | kg/m ² rok | |
| Katalóg TEPLO | 0,159 | 0,011 | 11,305 |
| Technické listy výrobcov | 0,132 | nedochádza ku kondenzácii | |
| Vlastné merania | 0,186 | 0,052 | 11,165 |
| Náhrada OSB preglejkou | 0,187 | 0,004 | 10,933 |

Tabuľka 11 Výstupy z programu TEPLO - skladba 1[F],[G]

Kondenzačná zóna sa nachádza v konštrukcii medzi DHF doskami a drevovláknitými doskami STEICO-flex.

Skladba 2 upravená pre simulácie (DOK – prevetrávaná)

Upravená skladba od exteriéru k interiéru:

- palubné dosky 20 mm
- zvislé latky 30/50 á 470 mm 30 mm
- difúzna fólia Jutadach 115 g -
- vodorovné latky 40/80 + *STEICO flex* 80 mm
- KVH hranol 140/40 + *STEICO flex* 140 mm
- OSB doska Egger 3 (spoje lepené PU) / preglejka 15 mm
- drevený rošt 24/60 mm + *STEICO flex* 60 mm
- sadrokartón 12,5 mm

| SKLADBA 2 | U | M _{c,a} | M _{ev,a} |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| Vstupy | W/m ² K | kg/m ² rok | |
| Katalóg TEPLO | 0,153 | nedochádza ku kondenzácii | |
| Technické listy výrobcov | 0,128 | nedochádza ku kondenzácii | |
| Vlastné merania | 0,178 | nedochádza ku kondenzácii | |
| Náhrada OSB preglejkou | 0,178 | nedochádza ku kondenzácii | |

Tabuľka 12 Výstupy z programu TEPLO - skladba 2[F],[G]

Skladba 3 upravená pre simulácie (DOK – omietka)

Upravená skladba od exteriéru k interiéru:

- finálna vonkajšia omietka Weber 1,5 mm
- stierka s armovacou tkaninou 5 mm
- *STEICO protect* 80 mm
- DHF doska 15 mm
- KVH hranol 140/40 + *STEICO flex* 140 mm
- OSB doska Egger 3 (spoje lepené PU) / preglejka 15 mm
- drevený rošt 24/60 mm + *STEICO flex* 60 mm
- sadrokartón 12,5 mm

| SKLADBA 3 | U | M _{c,a} | M _{ev,a} |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| Vstupy | W/m ² K | kg/m ² rok | |
| Katalóg TEPLO | 0,153 | 0,002 | 19,938 |
| Technické listy výrobcov | 0,135 | nedochádza ku kondenzácii | |
| Vlastné merania | 0,205 | 0,017 | 9,595 |
| Náhrada OSB preglejkou | 0,201 | nedochádza ku kondenzácii | |

Tabuľka 13 Výstupy z programu TEPLO - skladba 3[F],[G]

Kondenzačná zóna je medzi DHF doskami a doskami STEICO-flex.

Skladba 4 upravená pre simulácie (DUK – omietka)

Upravená skladba od exteriéru k interiéru:

- finálna vonkajšia omietka Sto 1,5 mm
- stierka s armovacou tkaninou 5 mm
- EPS-F 80 mm
- OSB doska Egger 3 / preglejka 15 mm
- KVH hranol 140/40 + *STEICO flex* 140 mm
- parotesná fólia Dekfol N 110 Standard -
- drevený rošt 24/60 mm + *STEICO flex* 60 mm
- sadrokartón 12,5 mm

| SKLADBA 4 | U | M _{c,a} | M _{ev,a} |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|
| Vstupy | W/m ² K | kg/m ² rok | |
| Katalóg TEPLO | 0,148 | nedochádza ku kondenzácii | |
| Technické listy výrobcov | 0,130 | nedochádza ku kondenzácii | |
| Vlastné merania | 0,156 | nedochádza ku kondenzácii | |
| Náhrada OSB preglejkou | 0,157 | nedochádza ku kondenzácii | |

Tabuľka 14 Výstupy z programu TEPLO - skladba 4[F],[G]

Všetky skladby boli navrhnuté s vyhovujúcimi tepelno-technickými vlastnosťami pre steny na hodnoty podľa ČSN 730540-2. [F]

Použitie preglejky namiesto OSB dosky je veľmi vhodné, značne zlepšuje difúzne vlastnosti, znižuje množstvo kondenzátu, prípadne jeho vznik úplne eliminuje, zatiaľ čo tepelno-technické vlastnosti zostanú zachované. Použitím preglejky sa tak isto znižuje vypariteľné množstvo vodnej pary.

Z výsledkov je jasne vidieť, že výrobcovia si častokrát nadhodnocujú hodnoty udávané v katalógoch od výrobcov. Konštrukcie sa pri dosadení hodnôt z katalógových listov môžu zdať bezproblémové, ale v skutočnosti ku kondenzácii dochádza. Hodnoty λ a μ sa veľmi menia v závislosti na vlhkosti a katalógy udávajú iba jednu hodnotu, preto sú tepelno-vlhkostné výsledky s použitím vstupných dát z katalógov tak prijateľné. V skutočnosti je v konštrukcii vyššia vlhkosť, čo zhoršuje λ a μ a tým aj výsledky. Výrobcovia by nemali udávať jednu hodnotu, ale vždy funkčné závislosti.

Pri používaní programoch treba vždy preveriť aktuálnosť materiálovej databázy. Hodnoty z databáz sú síce použiteľné na bežné rýchle približné výpočty, ale pri použití konkrétneho materiálu nie je správne používať všeobecné názvy (napr. drevovláknité dosky mäkké, drevovláknité dosky lisované atd.), pretože trh v súčasnosti ponúka široké spektrum materiálov, ktoré sa v rámci svojho druhu vlastnosťami výrazne odlišujú.

Vzniknuté chyby vo výsledkoch s vlastnými laboratórne nameranými vstupmi mohli byť spôsobené rôznymi vplyvmi. Jedna z nepresností vznikla tým, že nebolo možné zadať do EDU verzie programu TEPLO viac ako 7 vrstiev, preto sa súvrstvie omietok zlúčilo do jednej vrstvy a tak aj po sebe nasledujúce dve vrstvy rovnakej izolácie.

4.2 Simulácie v programe WUFI

Pre simulácie v programe sa vybrala skladba so zastúpením najväčšieho množstva materiálov – skladba 3. Vstupná skladba do programu WUFI by mala byť čím najviac podobná skutočnosti a preto sa použili vstupné dáta s laboratórne zistenými materiálovými vlastnosťami.

| SKLADBA 3 | d (mm) | λ (W/mK) | c (J/kgK) | ρ (kg/m ³) | μ (-) |
|---|-----------|---------------------|---------------|--------------------------------|--------------|
| finálna vonkajšia omietka Weber | 1,5 | 0,954 | 850 | 1482 | 17 |
| stierka s armovacou tkaninou | 5 | 0,641 | 850 | 1475 | 17 |
| STEICO protect | 80 | 0,087 | 2100 | 230 | 3 |
| DHF doska EGGER | 15 | 0,149 | 2100 | 586 | 12,5 |
| KVH hranol 140/40 + STEICO flex | 140 | 0,058 | 2100 | 52 | 1,4 |
| OSB doska Egger 3 E0 PU) / preglejka | 15/ 15 | 0,141/ 0,145 | 2100/ 1880 | 647/ 549 | 63/ 120 |
| drevený rošt 24/60 mm + STEICO flex | 60 | 0,054 | 2100 | 52 | 1,6 |
| sadrokartón | 12,5 | 0,160 | 870 | 625 | 7 |

Tabuľka 15 Vstupné hodnoty do programu WUFI (stojky a rošty zanedbané)

Vyhodnocovali sa nasledujúce deje:

- a) správanie konštrukcie v kvazistálom stave po 5 rokoch (množstvo kondenzátu v konštrukcii, vlhkosť pod omietkou)
- b) čas, za ktorý sa z konštrukcie (z tepelnej izolácie) vyparí zabudovaná vlhkosť (napr. montáž, zlé skladovacie podmienky)

Pre výpočty stenovej konštrukcie boli použité vstupné okrajové podmienky:

- vonkajšie prostredie: **klimatické hodinové dáta pre lokalitu Praha, ČR**
- vnútorné prostredie: **stredné zaťaženie vlhkosťou**
- orientácia stien: **juhozápad, 90°, nízka budova**
- tepelný odpor vnútorný povrch **$R_{si}=0,125\text{m}^2\text{K/W}$**
- tepelný odpor vonkajšej povrch **$R_{se}=0,0588\text{m}^2\text{K/W}$**
- s_d hodnota **bez vonkajšieho aj bez vnútorného povrchu**
- vonkajší povrch **bez absorpcie slnečného žiarenia**
- faktor redukcie dažďovej vody: **0,7 (podľa inklinácie)**
- konštantná teplota v konštrukcii: **20°C**
- konštantná vlhkosť v konštrukcii: **50%**

4.2.1 Ustálený stav

V ustálenom stave sa hodnotí skladba 3 a v nej:

- **hmotnostná vlhkosť citlivých materiálov** (OSB, DHF, preglejka, STEICO)

V priebehu piateho roku od inštalácie konštrukcie bude v citlivých materiáloch nasledujúci rozptyl hmotnostných vlhkosti:

STEICO-protect – až 14,6 % hmotnostnej vlhkosti

DHF doska EGGER – až 14,1% hmotnostnej vlhkosti

STEICO-flex - až 12,1 % hmotnostnej vlhkosti

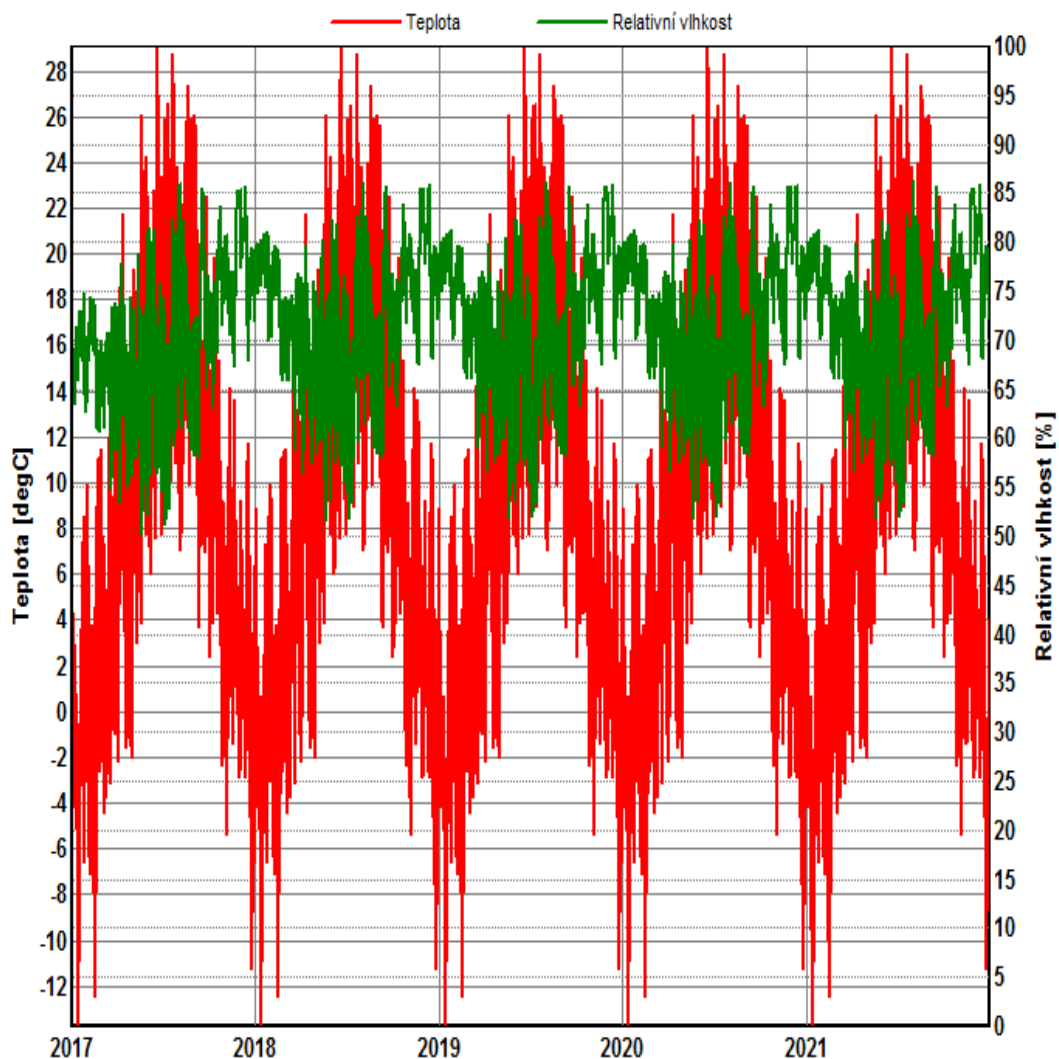
OSB doska EGGER – až 11,6 % hmotnostnej vlhkosti

Žiadna z hodnôt hmotnostnej vlhkosti ale nie je nad 18% hmotnostnej vlhkosti, aby ohrozila funkciu konštrukcie. Avšak, vlhkosťné pole v konštrukcii by sa dalo obmedziť náhradou OSB dosky za lepší materiál. Ten istý výpočet sa urobil pre variantné použitie preglejky namiesto OSB s lepšími difúznymi parametrami. Pri použití preglejky sa celkové množstvo vody v konštrukcii zmení z 6,4 kg/m² na 6,2 kg/m² (zlepšenie o 3 %). [H]

- **relatívna vlhkosť pod omietkou**

Vlhkosť pod omietkou na priliehajúcej vrstve drevovláknitej dosky STEICO-protect bude pri použití OSB dosky ako parobrzdnej vrstvy oscilovať medzi 50 a 90% R.H. Voda v tejto oblasti nebude kondenzovať.

Skutočné správanie pod omietkou bude celkovo lepšie, vzhľadom na počiatkové zanedbanie slnečného žiarenia. Zaťaženie dažďom je na západnej až juhozápadnej strane najväčšie. Takže výpočet je na strane bezpečnosti.



Obrázok 62 Priebeh teploty a vlhkosti pod omietkou

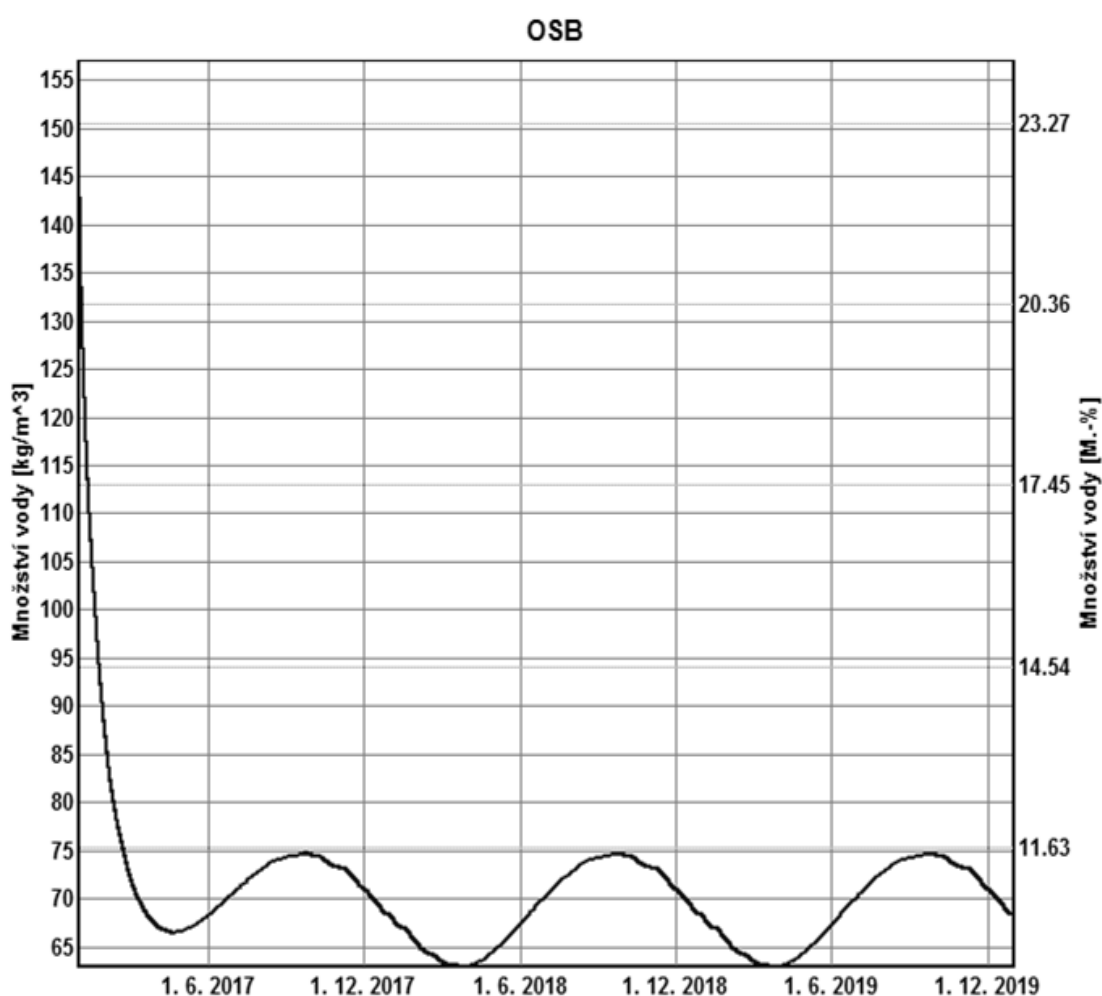
4.2.2 Zabudovaná vlhkosť v konštrukcii - vysychanie

Hodnotí sa zabudovaná vlhkosť v skladbe 3. Pri zabudovaní drevených materiálov do konštrukcií je dôležité dodržať dovolenú vlhkosť. Vlhkosť sa do materiálu môže dostať napr. pri nevhodných skladovacích podmienkach, čo znamená, že materiál má omnoho horšie tepelné i difúzne vlastnosti a ak prekročí hmotnostná vlhkosť materiálu vlhkosť 18%, je ohrozená celá funkcia tohto prvku v skladbe konštrukcie. Pri hmotnostných vlhkostiach nad 16% musí byť umožnený odvod vlhkosti z konštrukcie, skladba nesmie byť difúzne uzavretá. Na odstránenie tejto zvýšenej vlhkosti do zhruba 50% relatívnej vlhkosti je potrebný určitý čas. Čas je závislý na množstve zabudovanej vlhkosti, na difúznych vlastnostiach jednotlivých vrstiev a na okrajových podmienkach.

- Zabudovaná vlhkosť vzniknutá pri skladovaní materiálu v **95% R.H.** (zodpovedá cca 24% hmotnostnej vlhkosti materiálov na báze dreva)

Pre každý materiál na báze dreva je množstvo hmotnostnej vlhkosti trochu iné, závisí na sorpčnej krivke. Hodnoty pre vstupy boli pre všetky drevené a drevovláknité materiály skladby odčítané z všeobecnej krivky smrekového dreva.

Pre skladbu 3 je najdôležitejšia OSB doska, ktorej difúzne vlastnosti sú pre skladbu najviac potrebné. Priebeh vysychania vysokej zabudovanej vlhkosti je zrejмый z grafu.



Obrázok 63 Graf vysychania OSB dosky pri vysokej zabudovanej vlhkosti

Pri zabudovaní materiálu s relatívnou vlhkosťou 95% trvá odstránenie vlhkosti na ustálený stav takmer 8 mesiacov. Za toto obdobie vykazuje OSB doska neporovnateľne horšie tepelné a hlavne difúzne vlastnosti. Materiály treba skladovať vždy tak, aby nedošlo k ich znehodnoteniu a tým ovplyvneniu tepelno-vlhkostných dejov v skladbách.

D) Záver

Diplomová práca bola zameraná na konštrukčné a izolačné doskové materiály často používané v skladbách drevostavieb. OSB dosky a preglejky plnia vďaka svojmu vyššiemu difúznemu odporu úlohu interiérového opláštenia, DHF dosky sa zas kvôli difúznej otvorenosti používajú na opláštenie exteriérovej strany. Mäkké drevovláknité dosky plnia úlohu výplňovej izolácie, tvrdé slúžia nosná izolácia.

V diplomovej práci sa experimentálne zistili a overili vlastnosti materiálov na báze dreva a porovnali sa s dostupnými dátami od výrobcov. Zmerané objemové hmotnosti materiálov sa od hodnôt z technických listov líšili minimálne – objemová hmotnosť drevených materiálov dosahovala okolo 600 kg/m^3 , tvrdé drevovláknité dosky mali 137 kg/m^3 a mäkké 52 kg/m^3 .

Adsorpčné izotermy tepelne ošetrených materiálov sa znázornili pomocou 6 bodov. Odolnosť vzoriek voči vlhkosti sa po sušení zvýšila až o 30% oproti sorpčnej krivke smrekového dreva. Táto úprava ale spôsobila mechanické znehodnotenie materiálov. Sorpčná krivka dosiek STEICO je napriek tepelnej úprave pri vyšších relatívnych vlhkostiach strmšia. Potvrdilo sa, že materiály s vyššou objemovou hmotnosťou a menšou pórovitosťou dosahujú pri rovnakých podmienkach menšiu hmotnostnú vlhkosť. Sorpčná schopnosť je až o 10% vyššia pri tvrdých a až o 50% vyššia pri mäkkých drevovláknitých materiáloch ako sorpcia smrekového dreva.

Skúška prestupu vodnej pary prebehla metódami mokrej misky s použitím roztoku vytvárajúcom vysokú relatívnu vlhkosť a suchej misky s použitím silikagélu. OSB dosky, ktoré sú často používané ako jediná parobrzdna vrstva, podľa výsledkov meraní nedosahujú ani tretinové hodnoty faktoru difúzneho odporu udávané výrobcom. OSB dosky ($\mu_{\text{wet}}/\mu_{\text{dry}}=51/85$) je vhodné vzhľadom k suchému stavu nahradiť v konštrukčných skladbách preglejkami ($\mu_{\text{wet}}/\mu_{\text{dry}}=41/218$). DHF dosky vykazujú väčší faktor difúzneho odporu ako udáva výrobca. Drevovláknité dosky STEICO sú difúzne otvorené, vzniknuté odchýlky meraní pri takto priepustných materiáloch nehrajú v skutočnom správaní konštrukcie veľkú rolu.

Pre materiály sa prostredníctvom 3 bodov určili závislosti súčiniteľa tepelnej vodivosti na vlhkosti pri teplote 23°C . Tepelná vodivosť sa s narastajúcou teplotou zvyšuje a merania potvrdili, že narastá aj so zvyšujúcou sa relatívnou vlhkosťou. Namerané závislosti sú analogické závislostiam preloženým cez hodnoty od výrobcov, ktoré sú merané pri 10°C .

V porovnaní s OSB doskami podľa počítačových simulácií v programe TEPLO preglejky znižujú množstvo skondenzovanej vodnej pary alebo ho úplne eliminujú a aj znižujú množstvo vypariteľnej vodnej pary, bez zmeny tepelných vlastností konštrukcie. V konštrukčných skladbách je výhodné zameniť OSB dosku s funkciou parobrzdnej vrstvy za preglejku. Pri použití parametrov materiálov od výrobcov sa konštrukcie môžu zdať bezproblémové, ale výstupy zo simulácií po dosadení nameraných hodnôt sú dôkazom, že v konštrukcii kondenzuje vodná para. V programe WUFI sa posúdilo, že množstvo vlhkosti ohrozujúce materiály na báze dreva nepresahuje 16% hmotnostnej vlhkosti a vodná para pod omietkou nebude kondenzovať.

E) Zoznam použitej literatúry

- [1] Článok Smrek obyčajný, [online], Dostupné z:
https://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/lesnicka_fakulta/organizacne-clenenie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/kontakt/smrek-obycajny.html
- [2] STANĚK, Kamil: Sorpční křivka smrku EMC. Praha 2016 (dle Wood Handbook – Wood as an Engineering Material, FPL, 2010, Chapter 4, p. 4-3)
- [3] HLAVÁČ, Richard: Přednášky Dřevostavby 124DRS – Struktura dřeva, ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Praha 2015
- [4] Prezentácia Mikroskopická stavba dřeva. Jehličnany, [online], Dostupné z:
<http://docplayer.cz/13257277-Mikroskopicka-stavba-dreva-jehlicnany.html>
- [5] Prehľad produktov Bučina DDD, spol. s.r.o., [online], Dostupné z:
<http://www.bucina-ddd.sk/sk/osb-boards>
- [6] Technické listy OSB dosiek EGGER, [online], Dostupné z:
http://www.egger.com/shop/cs_CZ//OSB-desky/c/OSBBOARDS
- [7] Technický list OSB dosky EGGER, [online], Dostupné z: http://www.toposb.sk/images/stories/virtuemart/product/EGGER_OSB_technicke_udaje.pdf
- [8] Drevostavby. Smernice pre spracovanie. EGGER EUROSTRAND OSB, [online], Dostupné z: http://www.toposb.sk/images/stories/virtuemart/product/EGGER_OSB_drevostavby_smernice_pre_spracovanie.pdf
- [9] Technický list DHF dosky EGGER, [online], Dostupné z:
http://www.toposb.sk/images/stories/virtuemart/product/DHF_technicky_list.pdf
- [10] Drevostavby. Smernice pre spracovanie. EGGER DHF, [online], Dostupné z:
http://www.toposb.sk/images/stories/virtuemart/product/DHF_DFF_drevostavby_smernice_pre_spracovanie.pdf
- [11] Technický list STEICO therm, [online], Dostupné z: http://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/Products/STEICOtherm_cz_i.pdf

- [12] Technický list STEICO flex, [online], Dostupné z:
http://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/Products/STEICOflex_cz_i.pdf
- [13] Skriptá Konštrukčné drevené materiály, [online], Dostupné z:
<http://www.vos.volyne.cz/tu/soubory/KDM.pdf>
- [14] Produktový list Stavební překližka – smrková, jak. C/C Kaplan, s.r.o., [online],
Dostupné z: http://www.drevo-kaplan.cz/editor/image/eshop_products/soubor_344.pdf
- [15] Stavební fyzika. Vlhkost, [online], Dostupné z: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Vlhkost-CS.pdf> 4/2012
- [16] Článek Application Considerations. Sorpčná izoterma silikagélu, [online],
Dostupné z: <http://www.airxchange.com/resource-center-application-design.htm>
- [17] ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Zkušební laboratoř, OL 181 Odborná laboratoř experimentálního centra. Stanovení nejisoty výsledku zkoušek (Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě)
- [18] ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Zkušební laboratoř, OL 181 Odborná laboratoř experimentálního centra. Stanovení nejisoty výsledku zkoušek (Stanovení prostupu vodní páry)
- [19] ČVUT v Praze, Fakulta Stavební, Zkušební laboratoř, OL 181 Odborná laboratoř experimentálního centra. Stanovení nejisoty výsledku zkoušek (Stanovení tepelného odporu)
- [20] MURATA, Koji – WATANABE, Yasuhiro – NAKANO, Takato. 2013. Effect of Thermal Treatment on Fracture Properties and Adsorption Properties of Spruce Wood, [online], Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1944/6/9/4186/htm>
- [21] UCEEB. 2014. Vykresy_20141125_Moderní dřevostavba- Penatus, Experimentální fasáda

Použité normy

[A] ČSN 73 540-2 - Tepelná ochrana budov. Část 3: Návrhové hodnoty veličin.

[B] ČSN EN ISO 12570 – Tepelně-vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků
- Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě

[C] ČSN EN ISO 12571 - Tepelně-vlhkostní vlastnosti stavebních materiálů a výrobků - Stanovení hygroskopických sorpčních vlastností

[D] ČSN EN ISO 12572 – Tepelně-vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků
– Stanovení prostupu vodní páry

[E] ČSN EN 12667 – Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku ČSN EN

[F] ČSN 730540-2 - Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky.

[G] ČSN EN ISO 13788 - Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody

[H] ČSN EN 335 - Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Třídy použití:
definice, aplikace na rostlé dřevo a na výrobky na bázi dřeva

[I] ČSN EN 13986 (732871) - Desky na bázi dřeva pro použití ve stavebnictví -
Charakteristiky, hodnocení shody a označení

F) Zoznam elektronických príloh

1. Technický list OSB
2. Technický list DHF
3. Technický list STEICO therm
4. Technický list STEICO flex
5. Technický list STEICO protect