



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

DIFUZNÍ VLASTNOSTI OSB DESEK V DŮSLEDKU ZASAŽENÍ NADMĚRNOU VLHKOSTÍ

DIFFUSION PROPERTIES OF THE OSB BOARDS DUE TO EXCESSIVE HUMIDITY

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

SHORT VERSION OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Lucie Žižková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Bečkovský Ph.D.

BRNO 2023

ABSTRAKT

Předložená disertační práce pojednává o změně difuzních vlastností u desek z orientovaných plochých třísek (OSB) po zasažení nadměrnou vlhkostí. OSB desky po zasažení nadměrnou vlhkostí a následném vysušení změní své difuzní vlastnosti, a tak díky odlišnému faktoru difuzního odporu již neodpovídají původnímu návrhu skladby stěny dřevostavby. Cílem práce je popsat změnu difuzních vlastností laboratorně změřenou a tuto zakomponovat do reálné skladby stěny dřevostavby a posoudit její funkci pomocí počítačové simulace. Úvod práce tvoří teoretický základ pro zpracování experimentální části, ve které je obsaženo měření nasákavosti, difuzních vlastností a rizika růstu plísní. V experimentální části jsou popsány přístupy a metody k naplnění cíle disertační práce. Měření probíhalo v laboratořích ústavu pozemního stavitelství na zkušebních vzorcích z OSB desek. Po zasažení nadměrnou vlhkostí byly zkušební vzorky vysušeny pomocí dvou vysoušecích metod. Vysušené zkušební vzorky byly umístěny do zkušebních sestav, na kterých byla měřena difuze metodou suchých misek. Měření probíhalo ve dvou etapách, kdy v každé z výzkumných etap bylo měřeno na více než 80 vzorcích. V závěrečné části je měření vyhodnoceno formou grafů. Změna difuzních vlastností byla poté zakomponována do reálné skladby stěny dřevostavby a za pomoci počítačové simulace, která je v praxi nerozšířenější, dle ČSN 73 0540 posouzena.

KLÍČOVÁ SLOVA

Difuze, vlhkost, OSB desky, dřevostavby, dřevo, plísně, vlhkost materiálu, nadměrná vlhkost, EMW metoda, mikrovlnné záření, vysoušení, konstrukce, faktor difuzního odporu, zkušební vzorek.

ABSTRACT

The presented dissertation focuses on the change of diffusion properties in oriented strand board (OSB) panels after exposure to excessive moisture. OSB panels undergo a change in their diffusion properties after being affected by excessive moisture and subsequently dried, causing them to deviate from the original design of the wooden wall structure. The aim of this study is to describe the experimentally measured change in diffusion properties and incorporate it into the composition of a real wooden wall structure, evaluating its performance through computer simulation. The introduction of the dissertation provides the theoretical basis for the experimental section, which includes measurements of water absorption, diffusion properties, and the risk of mold growth. The experimental section describes the approaches and methods used to achieve the objectives of the dissertation. The measurements were conducted on test samples of OSB panels in the laboratories of the Institute of Civil Engineering. After being exposed to excessive moisture, the test samples were dried using two drying methods. The dried test samples were placed in testing assemblies, where diffusion was measured using the dry cup method. The measurements were carried out in two stages, with more than 80 samples measured in each research stage. In the final part, the measurements are evaluated through graphs. The change in diffusion properties was then incorporated into the composition of a real wooden wall structure and assessed using computer simulation, which is more commonly used in practice according to ČSN 73 0540 (Czech Technical Standard).

KEYWORDS

Diffusion, moisture, oriented strand boards (OSB), timber structures, wood, mold, moisture of material, excessive humidity, EMW method, microwave radiation, drying, construction, diffusion resistance factor, test sample.

OBSAH

A. ÚVOD	4
B. TEORETICKÁ ČÁST	5
1. Současný stav ve výstavbě dřevostaveb.....	5
C. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	6
D. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	8
1. Metodika a postup měření.....	8
1.1. Použité materiály, zařízení a přístroje.....	8
1.2. Postup měření experimentální části.....	8
1.2.1. Příprava zkušebních vzorků.....	8
1.2.2. Vlhkostní testování.....	9
1.2.3. Vysoušení zkušebních vzorků.....	10
1.2.4. Měření difuze na zkušebních vzorcích z OSB desek.....	11
1.2.5. Faktor difuzního odporu.....	12
1.2.6. Ověření pevnostních charakteristik.....	12
1.2.7. Riziko růstu plísní.....	12
E. ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT	14
F. VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE	26
G. ZÁVĚR	29
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	31
VĚDECKO – VÝZKUMNÁ ČINNOST, SPECIFICKÝ VÝZKUM	32
PUBLIKACE	32

A. ÚVOD

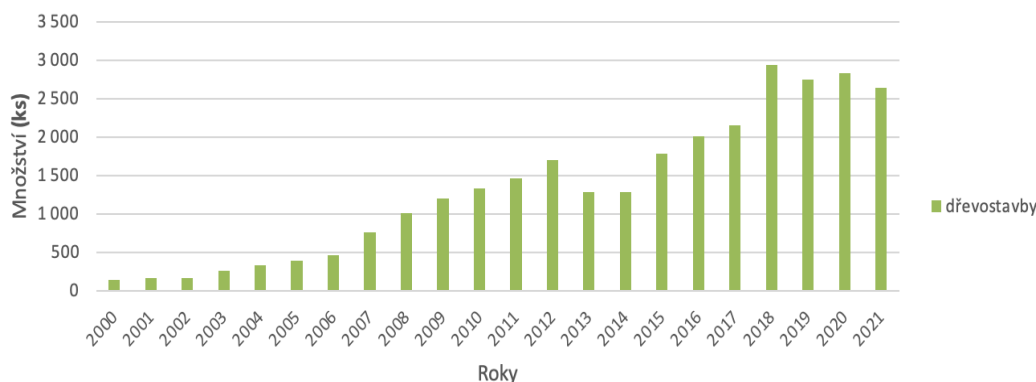
Popularita dřevostaveb v posledním desetiletí vykazuje vzrůstající tendenci, jak naznačují data získaná Českým statistickým úřadem, a také to reflektuje názor odborné veřejnosti. Díky nepopíratelným výhodám, které tato forma výstavby a materiál přináší, je předpoklad, že tato vzestupná tendence bude pokračovat. Mezi hlavní výhody patří rychlost výstavby, eliminace mokrých procesů, dostupnost materiálů i finanční, ekologická udržitelnost a estetičnost. Naopak mezi nevýhody u dřevostaveb a obecně dřevěných konstrukcí patří citlivost vůči nadměrné vlhkosti a s ní související změna stavebně fyzikálních vlastností. Nadměrná vlhkost ovlivňuje strukturu dřeva a může mít za následek jak změnu mechanických, tak i výše uvedených fyzikálních vlastností. Z mechanických vlastností se jedná zejména o pevnost a z fyzikálních vlastností je to například objemová hmotnost nebo difuzní vlastnosti. Nadměrná vlhkost dále přináší celou řadu úskalí od změny objemových charakteristik přes riziko napadení dřevní hmoty biotickými škůdci a plísněmi, následkem kterých dochází k rychlejšímu procesu degradace materiálu. Změna výše uvedených vlastností s sebou přináší i podstatné ovlivnění vnitřního klimatu stavby. Dalším rizikovým faktorem je realizace, kdy s nevhodným návrhem nebo technologickou nekázní při provádění může dojít ke vzniku výše zmíněných úskalí. Z hlediska stavební fyziky a faktoru difuzního odporu je návrh konstrukce dřevostavby stěžejní především u difuzně otevřených konstrukcí, kde jsou jednotlivé vrstvy skladby vhodně seřazeny právě dle velikosti difuzních vlastností. V případě zasažení konstrukce nadměrnou vlhkostí může nastat změna faktoru difuzního odporu u použitých materiálů, které na základě této změny již neodpovídají původním požadavkům návrhu. Proto je důležité tyto změny vlastností popsat a na jejich základě postupovat v případě zasažení konstrukce nadměrnou vlhkostí způsobenou například selháním nebo nehodou technických instalací. Sanace dřevostaveb po zasažení nadměrnou vlhkostí, včetně rodinných domů i bytových objektů, je náročný proces, který vyžaduje komplexní přístup. V případě bytových budov je sanace často výrazně složitější než v případě malých rodinných domů.

B. TEORETICKÁ ČÁST

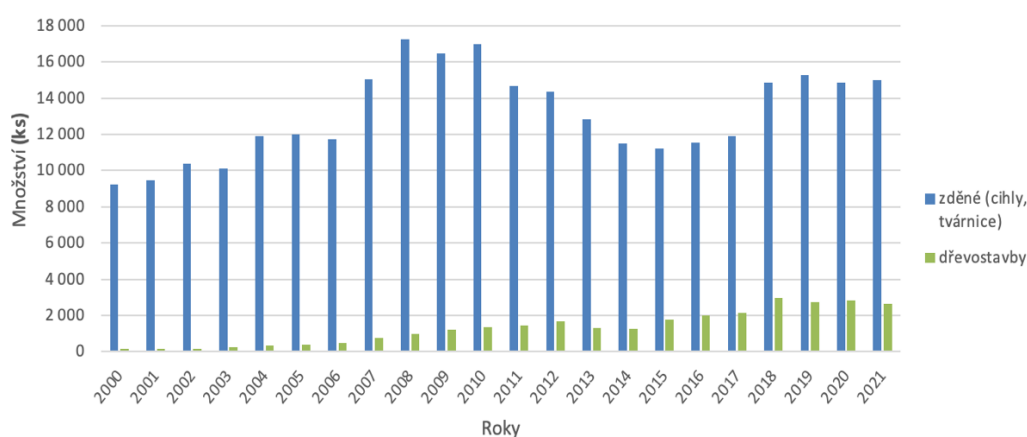
1. Současný stav ve výstavbě dřevostaveb

Bytové a rodinné domy patří na našem území k nejčastěji realizovaným stavbám. Z kvantitativního hlediska ještě stále dřevostavby nedosahují množství zděných staveb, avšak jejich tendence je vzestupná, jak naznačuje průběh Grafu č. 1. Z hlediska materiálové báze mají dlouhodobě nejvyšší podíl v zastoupení zděné rodinné domy, jak je patrné z Grafu č.2. Co se týče dřevostaveb v oblasti bytových domů, podíl těchto staveb z hlediska jejich množství zůstává minoritní a pohybuje se pouze v řádu jednotek, jak uvádí data Českého statistického úřadu.

Na vzrůstající trend počtu dřevostaveb mělo v určité míře vliv i období pandemie COVID-19, kdy se jejich realizace dočasně zpomalila v letech 2020 a 2021. Obecně lze však konstatovat, že dřevostavby představují atraktivní a udržitelnou alternativu k tradičním stavebním materiálům.



Graf č.1 – Počet dokončených rodinných domů dřevostaveb [1]



Graf č.2 – Počet dokončených rodinných domů dle svíslé nosné konstrukce [1]

C. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je popsat difuzní vlastnosti OSB desek po zasažení nadměrnou vlhkostí a následném vysušení. Pokud je již zabudovaná konstrukce zasažena nadměrnou vlhkostí a následně vysušena není známo, jestli a jak se faktor difuzního odporu změní. V případě difuzně otevřené skladby stěny dřevostavby by po změně faktoru difuzního odporu již tato skladba neplnila požadavky původního návrhu. Hrozí hromadění vlhkosti uvnitř skladby, znehodnocení použitých materiálů a růst plísní s rizikem ovlivnění vnitřního klimatu.

Hlavní cíl disertační práce

Popis změny faktoru difuzního odporu u desek z plochých orientovaných třísek, OSB desek, které byly zasaženy nadměrnou vlhkostí a následně vysušeny.

Další cíl disertační práce

Zhodnocení naměřených laboratorních výsledků vzorků OSB desek po zasažení nadměrnou vlhkostí a následném vysušení s OSB deskami nepoškozenými nadměrnou vlhkostí u dvou nejpoužívanějších výrobců (nasákavost, vysoušení 2 způsoby, difuzní tok, faktor difuzního odporu, ekvivalentní difuzní tloušťka).

Posouzení skladby s laboratorně naměřenými hodnotami a hodnotami faktoru difuzního odporu uváděné výrobcem OSB desek u difuzně otevřené a difuzně uzavřené skladby stěny dřevostavby dle ČSN 73 0540.

Zhodnocení rizika růstu plísní u vzorků OSB desek zasažených nadměrnou vlhkostí.

Naměřené hodnoty jasně reflektují chování tohoto materiálu při stabilních okrajových podmínkách, proto se tento parametr měřil pouze laboratorně. Při měření in situ by bylo měření difuzních parametrů složitě aplikovatelné, jelikož je OSB deska součástí skladby, proto s tímto druhem měření nebylo uvažováno.

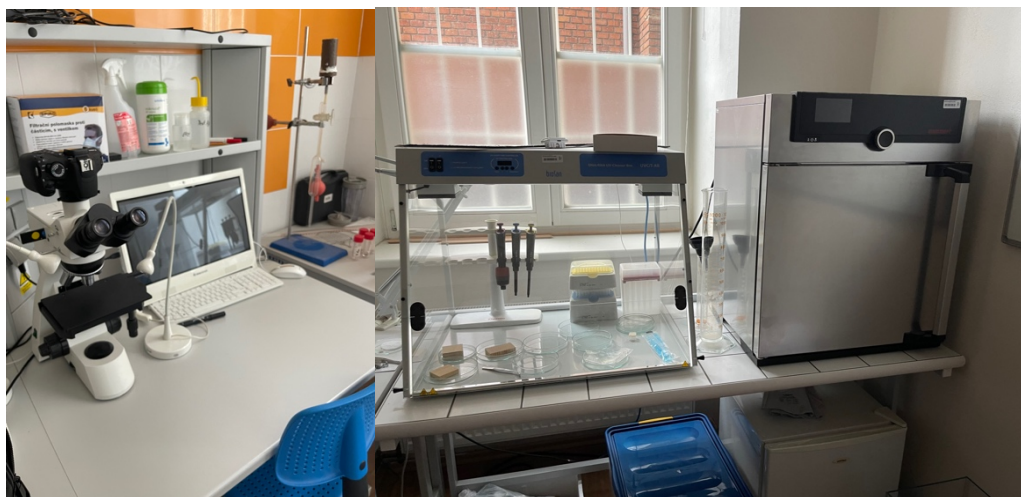
Prostředky a nástroje k dosažení cílů disertační práce

Kromě přístrojového a materiálového vybavení ústavu pozemního stavitelství byly použity tyto postupy:

1. Výběr a vlhkostní testování (zasažení vzorků OSB desek nadměrnou vlhkostí v laboratorních podmínkách) vzorků OSB desek.
2. Ověření difuzních vlastností vzorků OSB desek v laboratorních podmínkách metodou suché misky.
3. Ověření pevnostních charakteristik vzorků OSB desek po vlhkostním testování a následném vysušení.
4. Testování difuzních vlastností vzorků OSB desek po zasažení nadměrnou vlhkostí a následném vysušení v laboratorních podmínkách metodou suché misky.

5. Analýza rizika růstu plísní vzorků OSB desek po zasažení nadměrnou vlhkostí a následném vysušení.
6. Komparace faktoru difuzního odporu vzorků OSB desek před a po zasažení nadměrnou vlhkostí a následném vysušení.
7. Analýza vlivu změny fyzikálních vlastností OSB desek na difúzi vodních par stěnou dřevostavby, posouzení pomocí simulace a vyhodnocení dle ČSN 73 0540.

Zpracování, měření a částečné vyhodnocení některých výše uvedených dílčích cílů proběhlo již v roce 2015 a 2016. Od roku 2017 nastalo přerušení práce a nástup na mateřskou dovolenou do 03.2021. Již naměřené hodnoty nebyly zcela aktuální, a proto bylo laboratorní měření rozděleno do dvou etap a částečně opakováno. Druhá etapa byla realizována v roce 2021 a 2022. V obou etapách byly vybrány OSB desky dvou výrobců náhodně vybraných šarží, stejné tloušťky 12 mm. Získané hodnoty mohou sloužit jako ukazatel, zda testovaný materiál ve formě desek z orientovaných plochých třísek, OSB desek, prošel vývojem nebo změnou.



Obrázek č.1 – Laboratoř ústavu pozemního stavitelství (Zdroj: Autor)

D. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

1. Metodika a postup měření

Následující kapitola disertační práce se zabývá metodikou práce, která je rozdělena do několika dílčích částí, kde jsou specifikované měřicí postupy. V další části jsou sumarizovány všechny použité materiály a přístrojové vybavení použité k experimentu. Tato část je stěžejní pro splnění cílů disertační práce. Vybrané experimentální postupy byly provedeny dle norem a ostatní postupy byly nastaveny tak, aby co nejvíce přiblížily reálné podmínky. Měření 1 etapy probíhalo v letech 2015 a 2016. Měření druhé etapy probíhalo v roce 2021 a 2022. V obou etapách byly vytvořeny totožné podmínky tak, aby se měření co nejvíce shodovalo a bylo snadno komparovatelné.

1.1. Použité materiály, zařízení a přístroje

- OSB desky, Plastové boxy, Vykrūžovací korunka pro dřevo o průměru 11 mm, ocel, Pitná voda, Papírové utěrky, Roušky, Rukavice, Materiál pro popis a označení zkušebních vzorků, Silikagel s barevným indikátorem, Sklenářský silikon, Klimatická komora Memmert, Laboratorní váhy Radwag, Mikrovlnný generátor
- Mikroskop polarizační – zvětšení 40 - 1000x, okuláry širokouhlé, 4 planachromatické objektivy
- Flow box Biosan – určen pro čisté operace se vzorky, kovová konstrukce, stěny z plexiskla, s UV dekontaminační lampou a ventilátorem
- Inkubátor s chlazením Memmert – s chlazením a cirkulací vzduchu, přesná regulace teploty 0-70 °C, vnitřní komora i vnější plášť z nerezové oceli, vnitřní skleněné dveře
- Prostředky a nástroje potřebné ke kultivaci plísní, laboratorní sklo, které je odolné vůči vysokým teplotám a chemikáliím (Petriho misky, zkumavky, inokulační kličky, očkovací jehly, agarová média, mikroskopická podložní sklíčka, sterilní odběrové sady, pozorovací a kultivační roztoky, dezinfekce, gumové rukavice, roušky, magnetické laboratorní míchadlo).

1.2. Postup měření experimentální části

1.2.1. Příprava zkušebních vzorků

Experimentální část této disertační práce se zabývá laboratorním testováním difuzních vlastností u OSB desek a následným zjištěním změny faktoru difuzního

odporu u desek zasažených nadměrnou vlhkostí. Tomuto testování předcházela výběr OSB desek a příprava zkušebních vzorků.



Obrázek č.2 – Příprava zkušebních vzorků z OSB desek (Zdroj: Autor)

Pro celou tuto práci byly vybrány OSB desky dvou výrobců ve stejné tloušťce 12 mm. Výběr šarží OSB desek byl náhodný. Zkušební vzorky byly připraveny dle ČSN EN 326-1: Desky ze dřeva – Odběr vzorků, nařezávání a kontrola – Část 1: Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky. Zkušební vzorky pro testování difuzních vlastností byly přizpůsobeny tvaru krystalizační misky. Pro toto měření byly připraveny zkušební vzorky kruhového průřezu o průměru 110 mm a tloušťky 12 mm. Tloušťka by měla být stejná jako tloušťka materiálu při jeho reálném užití, což bylo splněno. Pro ověření pevnostních charakteristik byly připraveny zkušební vzorky obdélníkového tvaru o rozměru 390 mm x 150 mm a tloušťky 12 mm dle ČSN EN 789 – Dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Stanovení mechanických vlastností desek na bázi dřeva.

Po vyřezání byly laboratorní vzorky obroušeny a očištěny od přebytečných třísek a prachu. Poté byly zkušební vzorky uskladněny v laboratorním prostředí s teplotou 24 °C a relativní vlhkostí vzduchu 45 %. Pro první a druhou etapu měření bylo připraveno přes 80 kusů zkušebních vzorků, celkem tedy bylo použito k měření více než 160 kusů zkušebních vzorků z OSB desek.

Před měřením nasákavostí byly zkušební vzorky uloženy do klimatické komory s teplotou 23 °C a vlhkostí 50 % do ustálení hmotnosti. Poté byly zkušební vzorky rozděleny na tři části. Jedna část vzorků byla ponechána v klimatické komoře (vzorky – ETAL) a zbylé vzorky byly uloženy do vody (vzorky – AIR, EMW).

1.2.2. Vlhkostní testování

U části zkušebních vzorků proběhlo vlhkostní testování, kdy bylo pozorováno, jak rychle jsou zkušební vzorky schopné přijímat vodu. Kolik gramů vody je schopen zkoušený vzorek nasáknout. V první etapě byly zkušební vzorky testovány i dle ČSN EN 321 – Desky ze dřeva – stanovení odolnosti proti vlhkosti cyklováním [5]. Tento vlhkostní test obsahuje několik cyklu nasákání, mrazení a sušení. Zkušební vzorky zobrazené na obrázku č.3 byly po tomto testu extrémně poškozené. Vizualně byl zkoušený vzorek popraskaný, struktura byla nekompaktní, odpadávaly kusy štěpek a pozdější měření difuze prokázalo zásadní poškození materiálu.



Obrázek č.3 – Zkušební vzorky OSB desek po vlhkostním testování dle ČSN EN 321 (Zdroj: Autor)

Faktor difuzního odporu se u takto testovaných zkušebních vzorků pohyboval kolem hodnoty 10. Jelikož výše popsané vlhkostní testování se ani zdaleka nepodobá možným reálným podmínkám, bylo ze zpracování výsledků vyloučeno. Dále se zkušební vzorky testovaly pouze uložením ve vodě v laboratorních podmínkách při teplotě 24 °C a vlhkosti 45 %. Zkušební vzorky byly testovány tak, aby věrohodněji simulovaly situaci při havárii technického zařízení. Ve vodní lázni byly vzorky ponechány 3 dny a po odkapání přebytečné vody byly vzorky vysušeny. Mezi jednotlivými kroky byly zkušební vzorky váženy a hodnoty zapisovány.

1.2.3. Vysoušení zkušebních vzorků

První část vzorků (ETAL) byla ponechána v klimatické komoře do doby sestavení měřících sestav suchých misek. Druhá část zkušebních vzorků (AIR) byla po vlhkostním testování a osušení zvážena a ponechána v laboratorních podmínkách při teplotě 24 °C a vlhkosti 45 % na ocelové mřížce k vysoušení pouze vzduchem. Tyto vzorky byly pravidelně váženy po 48 hodinách do ustálení hmotnosti.

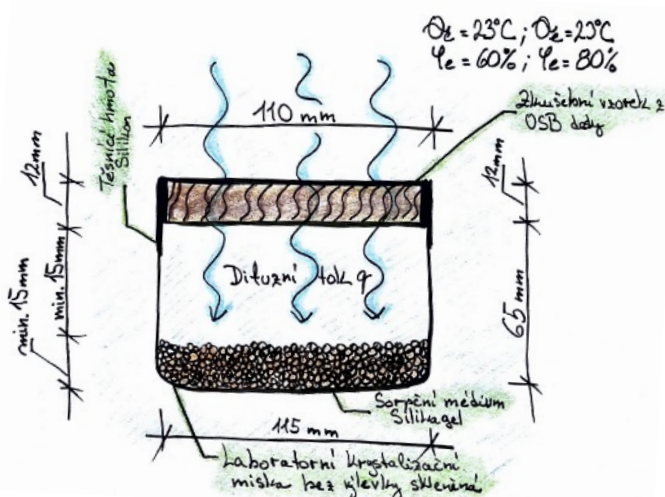
Poslední část zkušebních vzorků (EMW) byla vysušena pomocí mikrovlnného záření, metodou EMW. Tato metoda byla vybrána kvůli své dostupnosti (ústav pozemního stavitelství disponuje několika EMW generátory) a především efektivnosti. Metodou EMW lze vysušet různé materiálové báze včetně dřevěných struktur, kde je zásadní doba expozice a počet ozařovacích cyklů. V první i druhé fázi měření bylo z důvodu poškození vyřazeno z měření několik desítek zkušebních vzorků, které byly nevhodnou volbou vysoušecích cyklů spálené a zpuchřelé. Postupným zkoušením byl zvolen jako optimální čas 15 minut pro ozařování vzorků. Dle [6] má vzdálenost vysoušeného materiálu vliv na proces vysoušení. Po ozáření bylo nutné nechat zkušební vzorky vychladnout a umožnit tak odpaření přebytečné vlhkosti. Délka chlazení byla cca 60 minut a dle potřeby byla upravována. Zkušební vzorky metodou EMW byly ozařovány 15 minut ve třech cyklech. Délka vysoušení byla 3 dny. Výkon mikrovlnného generátoru byl 750 W.



Obrázek č.4 – Vysoušení vzorků OSB desek metodou EMW (Zdroj: Autor)

1.2.4. Měření difuze na zkušebních vzorcích z OSB desek

Zkušební vzorky ETAL uložené v klimatické komoře, vysušené vzorky AIR a EMW byly zváženy a jejich okraj (řez) byl ošetřen silikonem, tak aby difuze byla možná pouze přes povrch zkušební vzorku. U všech připravených vzorků byla měřena difuze metodou suché misky. Princip této zkušební metody spočívá ve vytvoření měřicí sestavy, která se skládá z krystalizační skleněné misky bez výlevky o průměru 115 mm a výšky 65 mm. Do této misky bylo vloženo sorpční médium – silikagel s barevným indikátorem vlhkostní změny. Dle normy má být výška sorpčního média minimálně 15 mm a současně má být vzdálena od zkoušeného vzorku minimálně 15 mm, jak je znázorněno obrázkem č. 5. Takto připravené měřicí sestavy byly ponechány cca 180 minut k vytvrzení silikonu. Poté byly zkušební sestavy vloženy do klimatické komory s požadovanou teplotou a vlhkostí. Nejprve byla difuze měřena u zkušebních sestav při teplotě 23 °C a vlhkosti 60 % a poté byla difuze měřena při teplotě 23 °C a 80% vlhkosti. Při rozdílných tlacích uvnitř a vně testovacích sestav se vodní pára pohybovala přes testované zkušební vzorky a přírůstek hmotnosti byl vážen v pravidelných 48hodinových intervalech.



Obrázek č.5 – Princip metody suché misky (Zdroj: Autor)



Obrázek č.6 – Zkušební sestavy pro měření difuze metodou suché misky (Zdroj: Autor)

1.2.5. Faktor difuzního odporu

Faktor difuzního odporu tvoří stěžejní část této disertační práce. Z naměřených hodnot byl vypočítán faktor difuzního odporu, který byl komparován s faktorem difuzního odporu, který uvádí výrobci OSB desek. Data změřená již v první etapě napovídají, že zásadní vliv na změnu faktoru difuzního odporu má vlhkost i způsob vysoušení.

1.2.6. Ověření pevnostních charakteristik

Na připravených zkušebních vzorcích OSB desek byly ověřeny pevnostní charakteristiky dle ČSN EN 789 – Dřevěné konstrukce – Zkušební metody – Stanovení mechanických vlastností desek na bázi dřeva. Pevnostní charakteristiky byly měřeny na všech sadách zkušebních vzorků.

Ověření pevnostních charakteristik není cílem disertační práce. Slouží pouze jako ukazatel změny parametrů zkušebních těles z důvodu ověření vlivu nadměrné vlhkosti a způsobu vysoušení na mechanické vlastnosti OSB desek.

1.2.7. Riziko růstu plísní

Následující podkapitola popisuje průběh testování rizika růstu plísní na zkušebních vzorcích OSB desek. Toto měření proběhlo pouze v první etapě měření z důvodu rozsáhlosti tématu. U zkušebních vzorků bylo na třech sadách ověřeno riziko růstu plísní. Tato analýza zahrnovala makroskopické i mikroskopické pozorování povrchu vzorků OSB desek na které byly kultivovány plísně v laboratorních podmínkách.

Plísně byly kultivovány na všechny druhy vzorků ETAL, AIR i EMW. Kultivované zkušební vzorky byly uloženy po dobu 6 dní do inkubátoru se stabilní teplotou 24 °C.

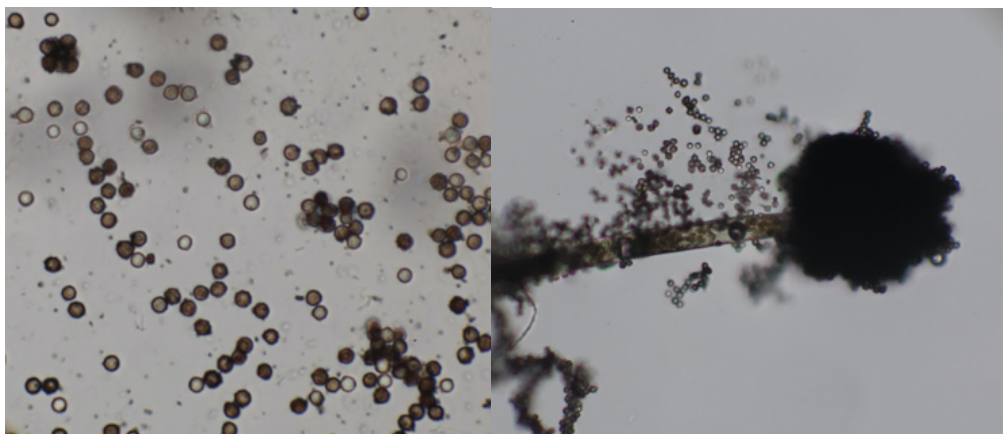
Po odběru byly plísně kultivovány nejprve na předem připravenou živnou půdu a následně na zkušební vzorky z OSB desek. Kultivace pobíhala dle postupů [7].



Obrázek č.7 – Kultivace odebraných vzorků plísní na živné agarové půdy (vlevo) a kultivované laboratorní vzorky v inkubátoru (vpravo) (Zdroj: Autor)

Po uplynutí inkubační doby byly vzorky pozorovány makroskopicky a byla hodnocena přítomnost, barva a velikost kolonie plísně.

Následovalo mikroskopické pozorování s pokusem o zařídění rodu plísně. Pro mikroskopické pozorování byl vytvořen nativní preparát, který se skládal z mikroskopického sklíčka, pozorovacího roztoku, peptonu a vzorku odebrané plísně.



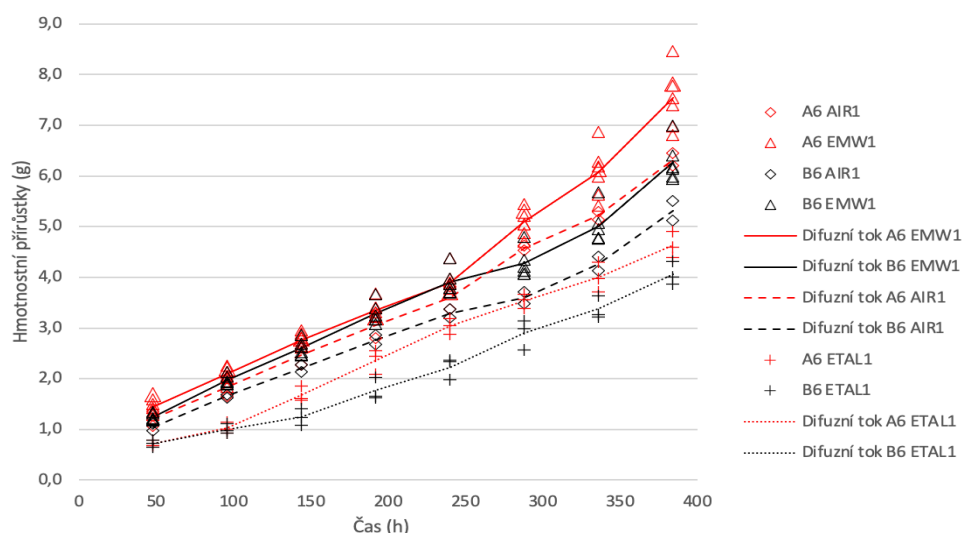
Obrázek č.8 – Mikroskopický pohled na spóry kultivované plísně, nativní preparát připraven po 12denní inkubační době (Zdroj: Autor)

E. ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT

V následující kapitole jsou popsány a pomocí grafů znázorněny výsledky experimentálního měření. Celé experimentální měření bylo rozděleno na dvě etapy, v závěru se nachází komparace jednotlivých etap. Jelikož toto rozdělení nebylo původním záměrem jsou některé z částí výzkumu obsažené pouze v jedné z etap dle pozdější profilace disertační práce.

Difuzní vlastnosti – první etapa měření

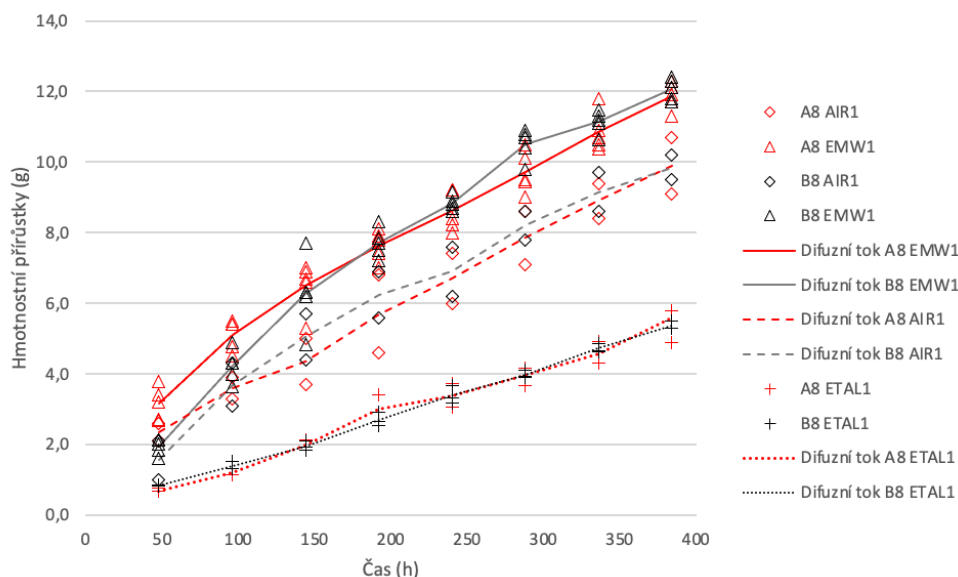
Graf č.3 obsahuje zkušební sestavy obou testovaných vzorků A i B. Graf zobrazuje hmotnostní přírůstky jednotlivých zkušebních sestav v závislosti na čase. Tato testovací sada obsahuje všechny druhy zkušebních vzorků ETAL, AIR i EMW.



Graf č.3 – Difuze zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 60 %. Osa x zobrazuje čas (h), osa y zobrazuje hmotnostní přírůstky (g).

Difuze byla měřena v prostředí klimatické komory s relativní vlhkostí 60 %. Uvedený graf zobrazuje jednotlivé zkušební sestavy s hodnotami hmotnostních přírůstků i difuzní toky všech uvedených sestav. Z grafu je patrné, že nejvyšších hmotnostních přírůstků dosahovaly zkušební sestavy se vzorky, které byly po vlhkostním testování vysušené metodou EMW obecně. Nejvyšších hodnot ze všech uvedených zkušebních sestav dosahují vzorky A, které byly po vlhkostním testování vysušeny pomocí mikrovlnného záření. Nejnižší hodnoty hmotnostních přírůstků dosahovaly zkušební sestavy se vzorky B, které nebyly vlhkostně testovány.

Graf č.4 obsahuje zkušební sestavy se vzorky obou testovaných výrobců A i B. Testovací sada obsahuje všechny druhy zkušebních vzorků ETAL, AIR i EMW. Difuze byla měřena v prostředí klimatické komory s relativní vlhkostí 80 % a teplotou 23°C. Graf zobrazuje hmotnostní přírůstky jednotlivých zkušebních sestav v závislosti na čase.

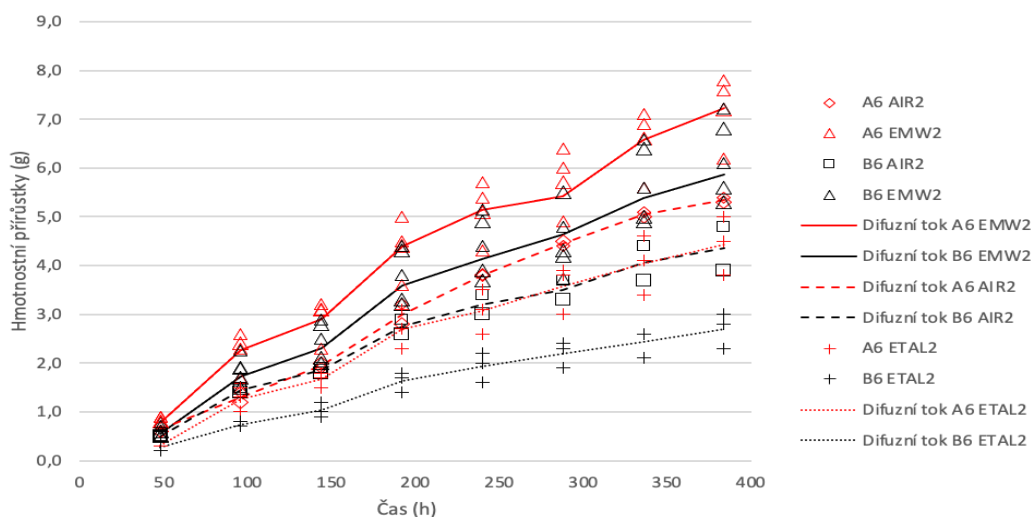


Graf č.4 – Difuze zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 80 %. Osa x zobrazuje čas (h), osa y zobrazuje hmotnostní přírůsteky (g).

. Z grafu je patrné, že nejvyšších hmotnostních přírůstků dosahovaly zkušební sestavy se vzorky, které byly po vlhkostním testování vysušené metodou EMW. Nejvyšších hodnot ze všech uvedených zkušebních vzorků dosahují vzorky A, které byly po vlhkostním testování vysušeny pomocí mikrovlnného záření. Nejnižší difuzi vykazovaly zkušební vzorky B a A, které nebyly vlhkostně testovány a dosahují podobných hodnot.

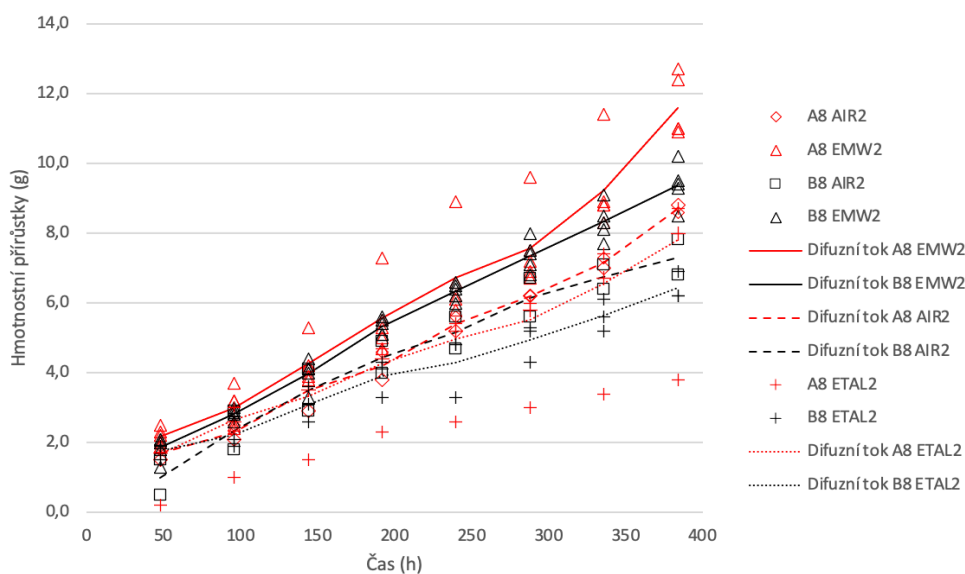
Difuzní vlastnosti – druhá etapa měření

Graf č. 5 znázorňuje měření difuzí u první sady se zkušebními vzorky obou testovaných výrobců v prostředí klimatické komory s relativní vlhkostí 60 %. Graf znázorňuje zaznamenané hmotnostní přírůstky v závislosti na čase. Z grafu jsou patrné hodnoty hmotnostních přírůstků a difuzní toky pro jednotlivé sady zkušebních vzorků. Nejvyšších hmotnostních přírůstků dosahovaly zkušební vzorky, které byly po vlhkostním testování vysušeny pomocí mikrovlnného záření bez ohledu na výrobce. Nejnižších hodnot dosahovaly testovací sady se zkušebními vzorky ETAL, které nebyly vlhkostně testovány. Obecně lze z naměřených dat říci, že zkušební vzorky B dosahovaly menších hodnot hmotnostních přírůstků.



Graf č.5 – Difuze zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 60 %. Osa x zobrazuje čas (h), osa y zobrazuje hmotnostní přírůstky (g).

Graf č. 6 zobrazuje měření difuze pro zkušební sestavy se vzorky obou výrobců měřených v prostředí klimatické komory s teplotou 23 °C a relativní vlhkostí 80 %. Z grafu jsou čitelné hmotnostní přírůstky v závislosti na čase a difuzní toky pro jednotlivé měřicí sady. Nejvyšších hodnot hmotnostních přírůstků dosahovaly zkušební vzorky EMW, které byly vysoušeny pomocí mikrovlnného záření. Křivka difuzního toku je průběžně rostoucí a u zkušebních vzorků výrobce A jeví největší progres. Nejmenších hmotnostních přírůstků dosahovaly zkušební vzorky ETAL, které nebyly vlhkostně testovány. Tomu odpovídají i nejmenší difuzní toky. Obecně vykazovaly zkušební vzorky výrobce B nižší hodnoty hmotnostních přírůstků než zkušební vzorky výrobce A.



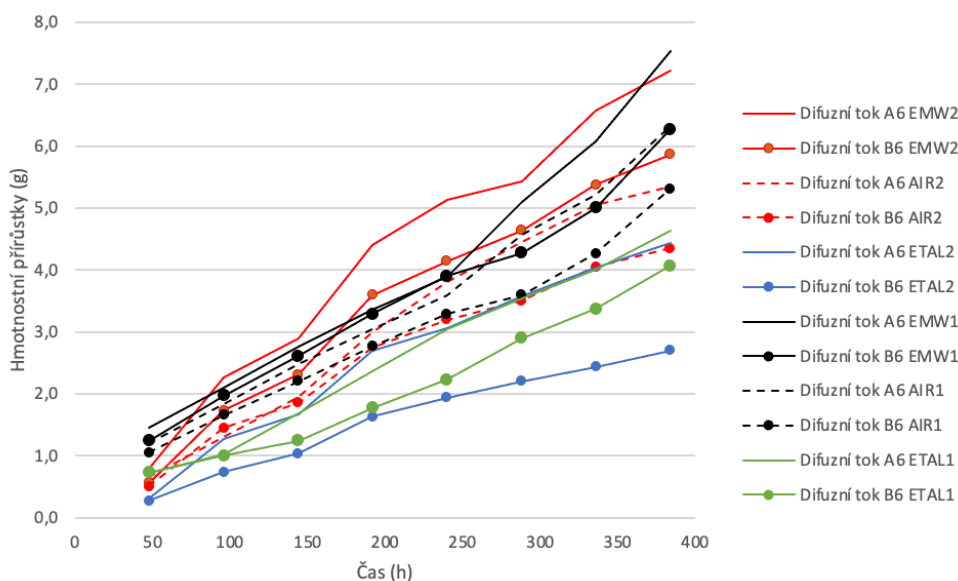
Graf č.6 – Difuze zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 80 %. Osa x zobrazuje čas (h), osa y zobrazuje hmotnostní přírůstky (g).

Komparace první a druhé etapy měření

Pomocí následujících grafů je provedena komparace výsledků první a druhé etapy laboratorního měření. U naměřených dat byla provedena komparace difuzních vlastností, faktoru difuzního odporu, ekvivalentní difuzní tloušťky a pevnostních charakteristik zkušebních vzorků OSB desek.

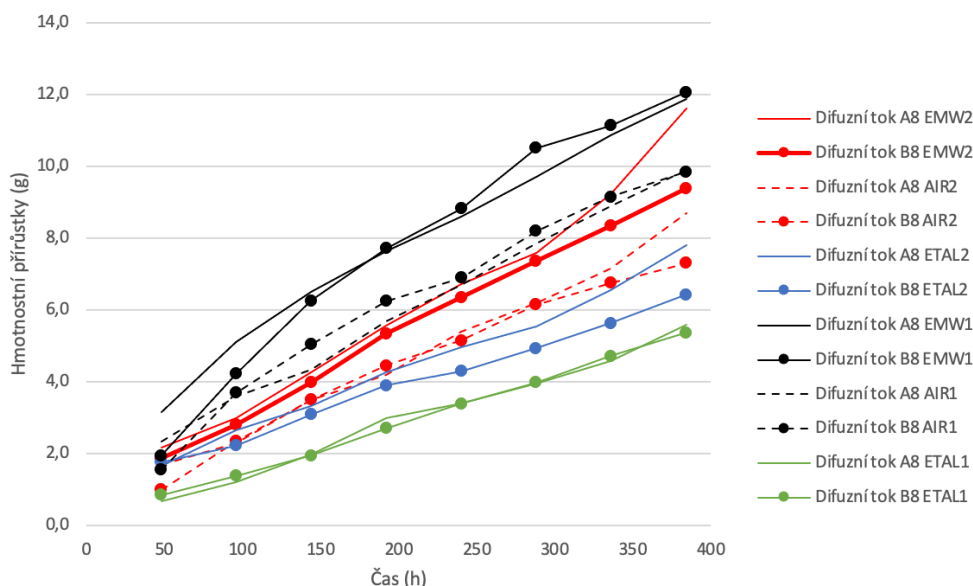
Difuzní vlastnosti

Z naměřených dat vyplývá, že nejprogresivnější jsou difuzní toky u zkušebních vzorků vlhkostně testovaných. Lze poukázat, že nepochybný vliv měl i způsob vysoušení. U všech testovaných vzorků zvýšilo vysoušení pomocí mikrovlnného záření hmotnostní přírůstky a tyto zkušební vzorky umožnily rychlejší prostup vodních par. Toto platí pro případ měření difuzí v 60% relativní vlhkosti v grafu č. 7 i pro měření difuzí v 80% relativní vlhkosti uvedené v grafu č. 8. Testovací sady se zkušebními vzorky EMW dosahovaly nejvyšších hodnot hmotnostních přírůstků. Následovaly vlhkostně testované zkušební vzorky AIR, které dosahovaly u všech testovaných sad vždy středních hodnot hmotnostních přírůstků. Tyto jsou označeny v grafu č. 7 a 8 čárkovanou čarou.



Graf č. 7 – Porovnání difuzních toků první a druhé výzkumné etapy zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 60 %. Osa x zobrazuje čas (h), osa y zobrazuje hmotnostní přírůsteky (g).

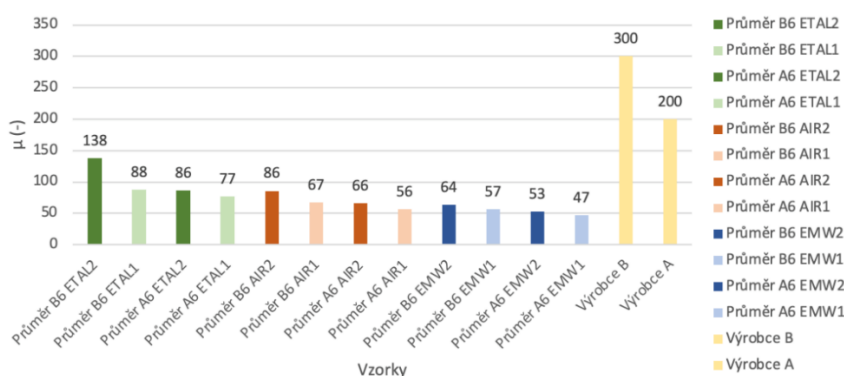
Nejmenší hmotnostní přírůstky byly naměřeny u zkušebních vzorků ETAL, které nebyly vlhkostně testovány. Tyto jsou zaznamenány grafem č. 7 a 8 pomocí průběhové křivky difuzního toku v zelené a modré barvě znázorněné plnou čarou. Plnou čarou červenou nebo černou jsou znázorněny průběhy difuzních toků zkušebních vzorků EMW, které byly po vlhkostním testování vysoušené pomocí mikrovlnného záření.



Graf č.8 – Porovnání difuzních toků první a druhé výzkumné etapy zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 80 %. Osa x zobrazuje čas (h), osa y zobrazuje hmotnostní přírůstky (g).

Obecně tedy platí, že vliv na difuzní vlastnosti mělo vlhkostní testování. Všechny sady zkušebních vzorků vlhkostně testovaných dosahovaly vyšších hodnot hmotnostních přírůstků než zkušební vzorky ETAL, které nebyly vlhkostně testovány bez ohledu na výrobce. Nejvyšších hodnot hmotnostních přírůstků dosahovaly zkušební vzorky vlhkostně testované a následně vysoušené pomocí mikrovlnného záření. Z hlediska porovnání materiálu zkušebních vzorků OSB desek dle výrobce dosahovaly téměř u všech experimentů vyšších hodnot hmotnostních přírůstků zkušební vzorky výrobce A.

Faktor difuzního odporu



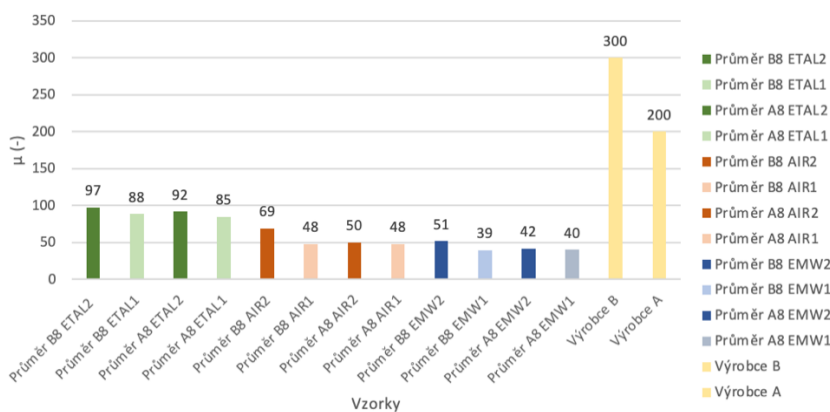
Graf č.9 – Porovnání průměrných hodnot faktoru difuzního odporu první a druhé výzkumné etapy zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 60 %. Osa x zobrazuje zkušební vzorky, osa y zobrazuje hodnoty faktoru difuzních odporů (-).

Graf č.9 zobrazuje porovnání hodnot faktoru difuzního odporu naměřených hodnot a hodnot faktoru difuzního odporu, které uvádí výrobce. Jak již bylo zmíněno výše vlhkostní testování mělo vliv na snížení faktoru difuzního odporu u všech testovaných zkušebních vzorků. Průměrně nejvyšších hodnot faktoru difuzního

odporu dosahovaly zkušební vzorky ETAL, které nebyly vlhkostně testovány. Pro první etapu dosahovaly tyto zkušební vzorky průměrné hodnoty 88 u výrobce B a 77 u výrobce A. Pro druhou etapu měření dosahovaly zkušební vzorky ETAL hodnoty 138 u výrobce B a 86 u výrobce A.

Zkušební vzorky AIR, tedy vzorky vysoušené pouze na vzduchu dosahovaly v první etapě experimentu průměrných hodnot 67 u zkušebních vzorků výrobce B a průměrné hodnoty 56 u výrobce A. Ve druhé etapě dosahovaly zkušební vzorky AIR hodnoty 86 u výrobce B a průměrné hodnoty 66 u výrobce A. Nejnižších hodnot faktoru difuzního odporu dosahovaly opět zkušební vzorky EMW, které byly po vlhkostním testování vysoušeny pomocí mikrovlnného záření. V první etapě měření dosahovaly zkušební vzorky průměrné hodnoty 57 u výrobce B a průměrné hodnoty 47 u výrobce A. Ve druhé etapě dosahovaly zkušební vzorky výrobce B průměrné hodnoty 64 a zkušební vzorky výrobce A průměrné hodnoty 53. Naměřená data potvrzují závěry z předchozích experimentů, které prokazují vliv nadměrné vlhkosti na snížení faktoru difuzního odporu. Dále z naměřených dat vyplývá vliv mikrovlnného záření na snížení faktoru difuzního odporu. Obecně lze tvrdit, že zkušební vzorky výrobce B dosahovaly vyšších hodnot faktoru difuzního odporu než zkušební vzorky výrobce A bez ohledu na provedené měření.

Graf č.10 zobrazuje porovnání průměrných hodnot faktoru difuzního odporu zkušebních vzorků obou výrobců. Data byla měřena v prostředí klimatické komory s vlhkostí 80 %. V první etapě byly průměrné hodnoty faktoru difuzního odporu u zkušebních vzorků ETAL 88 u výrobce B a 85 u výrobce A. Ve druhé etapě dosahovaly průměrné hodnoty faktoru difuzního odporu podobných hodnot a to 97 u výrobce B a 92 u výrobce A.



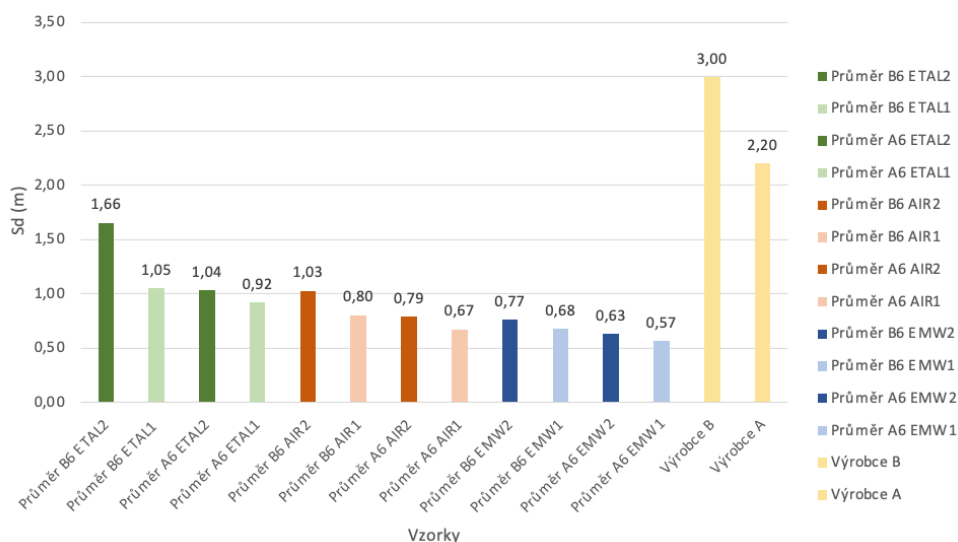
Graf č.10 – Porovnání průměrných hodnot faktoru difuzního odporu první a druhé výzkumné etapy zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 80 %. Osa x zobrazuje zkušební vzorky, osa y zobrazuje hodnoty faktoru difuzních odporů (-).

Nejvyšších hodnot dosahovaly zkušební vzorky ETAL, které nebyly vlhkostně testovány a nejnižší hodnoty vykazovaly zkušební vzorky EMW, které byly po vlhkostním testování vysoušeny pomocí mikrovlnného záření.

Ekvivalentní difuzní tloušťka

Ze získaných hodnot faktoru difuzního odporu byly vypočítány hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky.

Grafy č.11 a graf č. 12 znázorňují dosažené hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky u zkušebních vzorků z OSB desek. Pro níže uvedené grafy platí stejná analogie popsaná v předchozí kapitole.

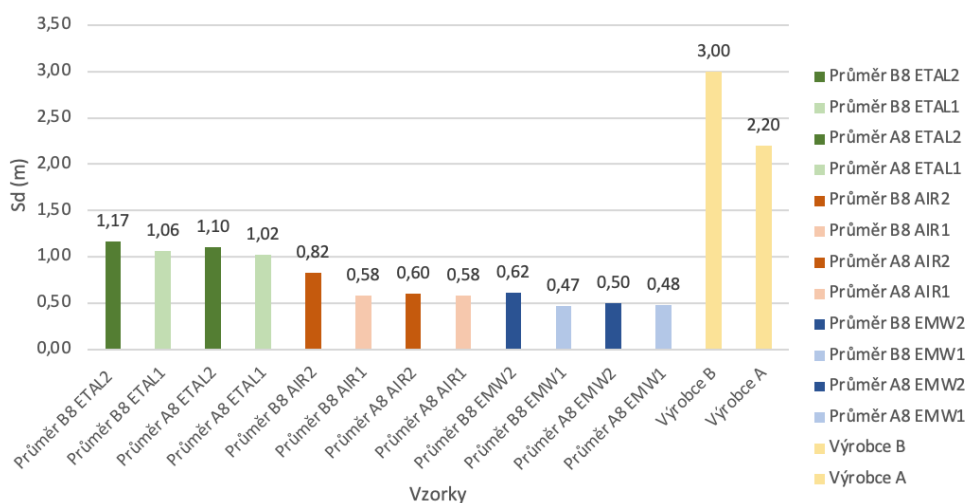


Graf č.11 – Porovnání průměrných hodnot difuzních tlouštěk první a druhé výzkumné etapy zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 60 %. Osa x zobrazuje zkušební vzorky, osa y zobrazuje hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky (m).

Zkušební vzorky ETAL vykazovaly nejvyšší hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky z testovaných zkušebních vzorků. Nejnižších hodnot ekvivalentní difuzní tloušťky dosahovaly zkušební vzorky EMW, které byly po vlhkovním testování vysušeny pomocí mikrovlnného záření. Z grafu č. 11 jsou patrné difuzní tloušťky všech testovaných zkušebních vzorků u kterých byla měřena difuze v prostředí klimatické komory s teplotou 23 °C a relativní vlhkostí 60 %. U zkušebních vzorků ETAL měřených v první etapě byla ekvivalentní difuzní tloušťka 1,05m u výrobce B a 0,92m u výrobce A. Ve druhé etapě vykazovaly zkušební vzorky ETAL hodnoty 1,66m u výrobce B a 1,04m u výrobce A. Středních průměrných hodnot dosahovaly zkušební vzorky AIR, které za první etapu měření vykazovaly hodnoty 0,80m u výrobce B a 0,67m u výrobce A. Pro druhou etapu měření dosahovaly zkušební vzorky AIR 1,03m u výrobce B a 0,79m u výrobce A. Nejnižší hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky vykazovaly zkušební vzorky EMW, které u první etapy dosahovaly průměrných hodnot 0,68m u výrobce B a 0,57m u výrobce A. Ve druhé etapě byly dosažené hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky u výrobce B 0,77m a 0,63m u výrobce A. Obecně vyšší hodnoty vykazovaly zkušební vzorky měřené ve druhé etapě pravděpodobně z důvodu úpravy receptury s následkem zlepšení některých parametrů OSB desek.

Graf č.12 zobrazuje hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky zkušebních vzorků u kterých byla měřena difuze v prostředí klimatické komory s teplotou 23 °C a relativní

vlhkostí 80 %. Nejvyšší dosažené hodnoty byly u zkušebních vzorků ETAL, které nebyly vlhkostně testovány. V první etapě vykazovaly zkušební vzorky ETAL hodnoty 1,06m u výrobce B a 1,02m u výrobce A. Ve druhé etapě zkušební vzorky ETAL dosahovaly hodnoty 1,17m u výrobce B a 1,1m u výrobce A. Zkušební vzorky AIR vykazovaly hodnoty pro první etapu měření 0,58m u obou testovaných výrobců. Ve druhé etapě vykazovaly zkušební vzorky AIR hodnoty 0,82m u výrobce B a 0,60m u výrobce A. Nejnižších průměrných hodnot dosahovaly zkušební vzorky EMW, které byly po vlhkostním testování vysušené pomocí mikrovlnného záření. Tyto zkušební vzorky vykazovaly v první etapě hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky 0,47m u výrobce B a 0,48 u výrobce A. Ve druhé etapě měření vykazovaly vzorky EMW hodnoty 0,62m u výrobce B a 0,50m u výrobce A.



Graf č.12 – Porovnání průměrných hodnot difuzních tlouštěk první a druhé výzkumné etapy zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Difuze měřena v klimatické komoře s relativní vlhkostí vzduchu 80 %. Osa x zobrazuje zkušební vzorky, osa y zobrazuje hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky (m).

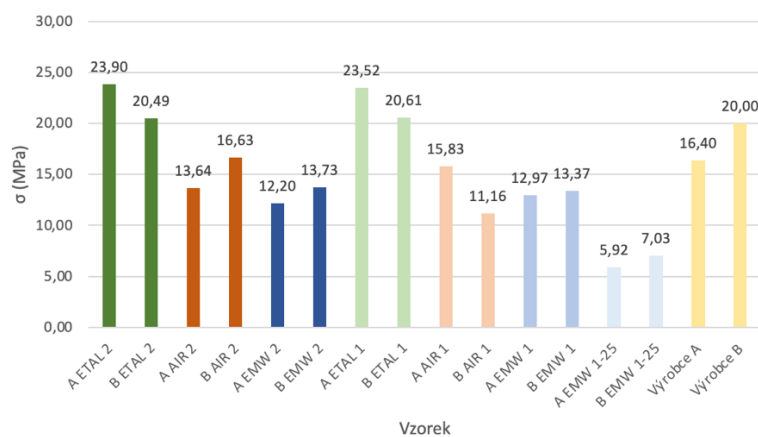
Při porovnání průměrných difuzních tlouštěk bylo zjištěno, že hodnoty zobrazené v grafu č. 12 vykazovaly minimální rozdíly v rámci měření zkušebních sad. Toto je čitelné pouze u zkušebních vzorků, na kterých probíhalo měření difuze v prostředí klimatické komory s relativní vlhkostí 80 %.

Ověření pevnostních charakteristik

Pevnosti byly ověřeny na všech sadách zkušebních vzorků ETAL, ARI a EMW. Dále byly do porovnání přidány zkušební vzorky testované v první etapě, které byly ozařovány po dobu 25 minut pomocí mikrovlnného záření ve třech cyklech při výkonu 750 W. Pevnostní charakteristiky byly testovány pomocí tří bodového ohybu.

Graf č. 13 znázorňuje pevnosti zkušebních těles a pevnosti obou výrobců, kdy výrobce A uvádí hodnotu pevnosti 16,4 MPa a výrobce B uvádí pevnost 20 MPa. Z laboratorně naměřených hodnot pevností vykazovaly nejvyšší hodnoty dosažených pevností zkušební vzorky ETAL, které nebyly vlhkostně testovány. Pro první etapu měření dosahovaly zkušební vzorky výrobce A hodnoty pevnosti 23,52 MPa a zkušební tělesa výrobce B 20,61 MPa. Ve druhé etapě vykazovaly zkušební vzorky

ETAL hodnoty pevností 23,90 MPa u výrobce A a 20,49 MPa u výrobce B. Zkušební vzorky AIR pro první etapu měření vykazovaly hodnoty pevnosti 15,83 MPa u výrobce A a 11,16 MPa u výrobce B. Pro druhou etapu měření byly zaznamenány hodnoty pevnosti 13,64 MPa u výrobce A a 16,63 MPa u výrobce B. Průměrně nejnižší hodnoty pevností vykazovaly zkušební vzorky EMW, které dosahovaly hodnot pevnosti 12,97 MPa u výrobce A a 13,37 MPa u výrobce B měřené v první etapě. Dále zkušební vzorky EMW vykazovaly pevnost 12,20 MPa u výrobce A a 13,73 MPa u výrobce B měřené ve druhé etapě. Poslední zkušební vzorky jsou EMW 1-25, které byly dány do porovnání s ostatními naměřenými hodnotami pevností. Tyto zkušební vzorky vykazovaly pevnost 5,92 MPa u výrobce A a 7,03 MPa u výrobce B. Měření pevností potvrdilo původní předpoklad vlivu vlhkosti na snížení pevnosti zkušebních vzorků. Dále naměřené hodnoty poukazují na vliv mikrovlnného záření na snížení pevností.



Graf č.13 – Porovnání průměrných hodnot pevností první a druhé etapy měření zkušebních vzorků OSB desek výrobců A a B. Osa x zobrazuje zkušební vzorky, osa y zobrazuje hodnoty dosažených pevností (MPa).

Posouzení dle ČSN 73 0540

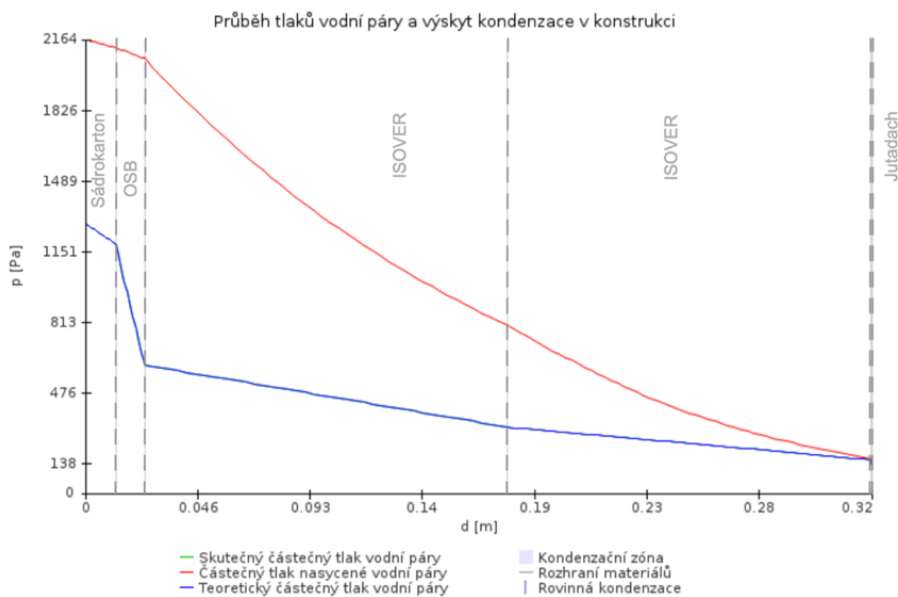
Posouzení difuzně otevřené a difuzně uzavřené skladby stěny dřevostavby bylo provedeno pomocí simulace a vyhodnoceno dle ČSN 73 0540 – Tepelná ochrana budov. U obou skladeb byly vloženy a upraveny průměrné hodnoty faktoru difuzního odporu. Simulace tedy posoudila celkem 2 skladby se 3 průměrnými hodnotami faktoru difuzního odporu. Simulace a posouzení bylo provedeno v programu Tepelná technika – DEKSOFT. Níže uvedené grafy zobrazují průběh tlaků vodní páry na jednotlivých materiálových rozhraních směrem od interiéru do exteriéru.

Laboratorně zjištěné hodnoty faktoru difuzního odporu

- $\mu = 250$ (-) průměrná hodnota uváděná výrobcem
- $\mu = 70$ (-) průměrná hodnota AIR
- $\mu = 50$ (-) průměrná hodnota EMW

Tabulka č.1 – Difuzně otevřená skladba obvodové stěny dřevostavby EXDR1

Difuzně otevřená skladba - obvodová konstrukce				
Materiál	Specifikace	d (mm)	μ (-)	Sd (m)
Sádrokartonová deska	Rigips	12,5	8	0,1
OSB deska	Kronopol OSB 3	12	200	2,2
Dřevěný profil 50x150 mm	Smrkové dřevo	150	157	23,55
MVD mezi sloupky	Isover orsík	150	1	0,15
MVD fasádní desky vč. laťování	Deska z kamenné vlny	150	1	0,15
Kontaktní difuzní fólie	Jutadach 135	0,5	40	0,02
Větraná vzduchová dutina		60		
Dřevěný fasádní obklad		20		

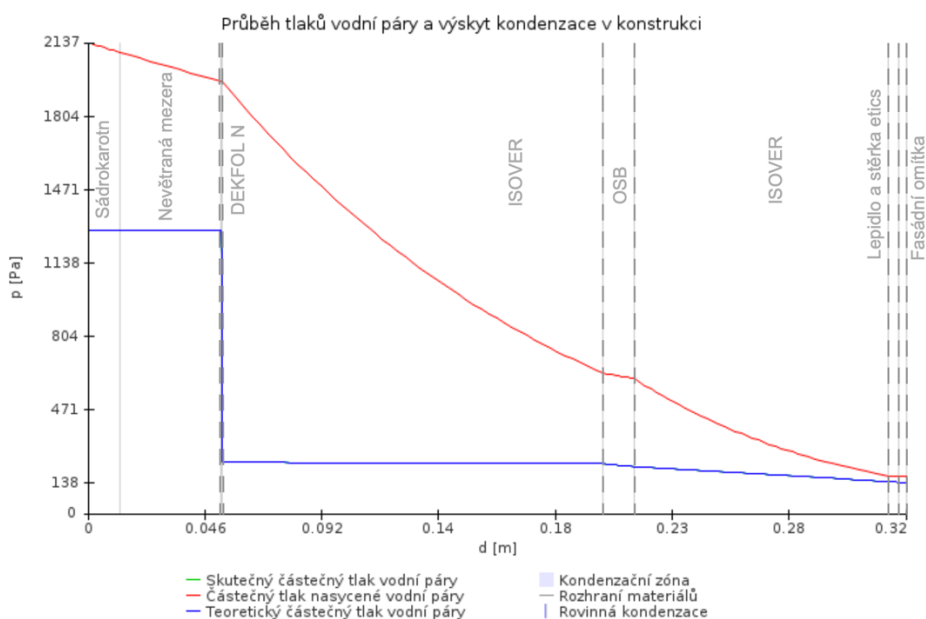


Graf č.14 – Simulace výskytu kondenzace v difuzně otevřené skladbě stěny dřevostavby s faktorem difuzního odporu 50

Konstrukce obvodové stěny difuzně otevřená byla primárně hodnocena z hlediska šíření vodní páry v konstrukci a vzniku kondenzátu. Do simulace byly vloženy vstupní parametry materiálu a postupně všechny tři hodnoty změněného faktoru difuzního odporu, u kterých vyšlo posouzení vzniku kondenzace totožně. Z tohoto důvodu je výše uveden pouze graf průběhů tlaků vodní páry s nejnepříznivějším faktorem difuzního odporu 50 OSB desek. Dle posouzení ČSN 73 0540-4 v konstrukci nedochází ke kondenzaci vodní páry, jak je viditelné v grafu č. 14. Při posouzení dle ČSN EN ISO 13788 byla konstrukce vyhodnocena jako konstrukce bez vnitřní kondenzace. Difuzně otevřená skladba s faktorem difuzního odporu 50 OSB desek splnila doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla. Posouzením dřevěných prvků v konstrukci byl hodnocen vznik kondenzace v místech dřevěných prvků a materiálů na bázi dřeva. Ani v těchto rozhraních nedochází ke vzniku kondenzace a hmotnostní vlhkost dřeva a materiálů na bázi dřeva byla stanovena do 18 %.

Tabulka č.2 – Difuzně uzavřená skladba obvodové stěny dřevostavby EXDRI

Difuzně uzavřená skladba - obvodová konstrukce				
Materiál	Specifikace	d (mm)	μ (-)	Sd (m)
Sádrokartonová deska	Rigips	12,5	8	0,1
Vzduchová dutina		40	0,25	0,01
Parotěsná fólie	Dekfol N 140 standard	0,25	200 000	50
Dřevěný profil 50x150 mm	Smrkové dřevo	150	157	23,55
MVD mezi sloupky	Deska z kamenné vlny	150	2	0,3
OSB deska	Kronopol OSB 3	12	200	2,2
EPS 70 F, lepeno na PUR	Isover EPS 70F	100	30	3
Lepidlo a stěrka etics	Fasco univerz. lepidlo a stěrka na zatepl. systém	4	35	0,14
Fasádní omítka/barva, silikon	Weber - terranova	3	50	0,15



Graf č.15 – Simulace výskytu kondenzace v difuzně uzavřené skladbě stěny dřevostavby s faktorem difuzního odporu 50

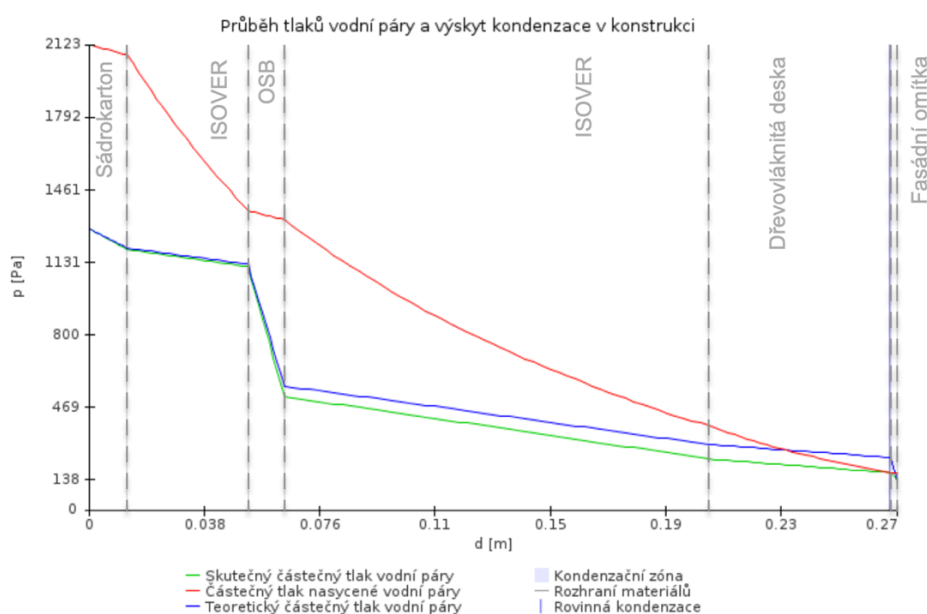
Druhou hodnocenou skladbou byla skladba stěny dřevostavby difuzně uzavřená, která je uvedena v tabulce č. 2. Tato skladba byla hodnocena dle stejných norem jako skladba difuzně otevřená. Hodnocením dle ČSN 73 0540-4 v konstrukci nedochází ke kondenzaci vodní páry, jak je patrné z grafu č.15. Šíření vodní páry v konstrukci dle ČSN EN ISO 13788 byla konstrukce vyhodnocena jako konstrukce bez vnitřní kondenzace. Difuzně uzavřená skladba s faktorem difuzního odporu 50 OSB desek splnila doporučení ČSN 73 0540-2:2011 na součinitel prostupu tepla. Při posouzení kondenzace vodní páry v místě dřevěných prvků a materiálů na bázi dřeva opět nedocházelo ke kondenzaci v místě dřevěných prvků. Hmotnostní vlhkost dřeva a materiálů na bázi dřeva byla stanovena do 18 %.

Průměrný faktor difuzního odporu uváděný výrobcem je 250. V případě zasažení OSB desek nadměrnou vlhkostí a následném vysušení pouze vzduchem se snížil faktor difuzního odporu na 70. Po vysušení pomocí mikrovlnného záření se snížil faktor difuzního odporu na průměrnou hodnotu 50. Po zadání těchto parametrů nedocházelo ke kondenzaci ani ve skladbě difuzně uzavřené ani ve skladbě difuzně otevřené.

Výsledek posouzení ovšem nelze paušalizovat a zobecňovat pro jakoukoli skladbu difuzně otevřenou nebo difuzně uzavřenou. Jako demonstrativní příklad byla posouzena ještě difuzně otevřená skladba, která neměla provětrávanou fasádu, ale silikátovou fasádní omítku. Tato skladba je uvedena v tabulce č. 3.

Tabulka č.3 – Difuzně otevřená skladba obvodové stěny dřevostavby

Difuzně otevřená skladba - obvodová konstrukce				
Materiál	Specifikace	d (mm)	μ (-)	Sd (m)
Sádrokartonová deska	Rigips	12,5	8	0,1
Minerální vlna	Isover orsik	40	2	0,08
OSB deska	Kronopol OSB 3	12	250	3
MVD mezi sloupky	Isover orsik	140	2	0,28
Dřevovláknitá deska		60	1	0,06
Fasádní omítky	Silikátová	2	50	0,1



Graf č.16 – Simulace výskytu kondenzace v difuzně otevřené skladbě stěny dřevostavby s faktorem difuzního odporu 50

Při posouzení difuzně otevřené skladby uvedené v tabulce č. 3 dle ČSN 73 0540-4 došlo k nadměrné kondenzaci vodní páry v konstrukci s naměřenou průměrnou hodnotou faktoru difuzního odporu 70 i 50. Z grafu č. 16 je patrné že ke kondenzaci dochází na hranici dřevovláknité desky a omítky. Z výše uvedeného posouzení je patrné, že průměrné hodnoty faktoru difuzního odporu po vlhkostním testování a vysušení neplní funkci původního návrhu difuzně otevřené skladby stěny dřevostavby. Každou skladbu je vždy nutné posoudit individuálně.

F. VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavním cílem disertační práce bylo popsat změnu difuzních vlastností OSB desek po zasažení nadměrnou vlhkostí. Ze získaných dat experimentálního měření jsou vyvozeny následující závěry.

První krok experimentu se zabýval vlhkostním testováním zkušebních vzorků z OSB desek. V první etapě byly zkušební vzorky OSB desek primárně testovány dle ČSN EN 321 – Stanovení odolnosti proti vlhkosti cyklováním. Tento test obsahoval několik cyklů nasákání, zmrazení a vysoušení. Po dokončení tohoto vlhkostního testu byly zkušební vzorky nadměrně poničené. Následně byly zkušební vzorky umístěny do měřících sestav pro měření difuzí metodou suché misky. Hmotnostní přírůstky dosahovaly vysokých hodnot a zjištěná hodnota faktoru difuzního odporu se pohybovala kolem hodnoty 10. Po zhodnocení experimentu a poradě s vedoucím práce bylo toto vlhkostní testování ze zpracování výsledků vyřazeno z důvodu nevypovídajících hodnot faktoru difuzního odporu a nereálnosti průběhu vlhkostních cyklů. Vlhkostní testování bylo upraveno tak, aby věrohodněji simulovalo případ havárie technických zařízení. Zkušební vzorky byly smáčeny po dobu 3 dnů v boxu s pitnou vodou v prostředí laboratoře. Upravený vlhkostní experiment potvrdil velmi vysokou míru nasákavosti zkušebních vzorků OSB desek.

Druhým krokem experimentu bylo vysoušení zkušebních vzorků z OSB desek pomocí dvou vybraných vysoušecích metod. Průběh vysoušení je k nahlédnutí v kapitole „Analýza naměřených dat“ ve formě grafů, které jsou zaznamenány pouze ve druhé etapě měření. Průběhy vysoušení zkušebních vzorků u testovaných sad nebyly součástí první etapy z důvodu odlišné profilace disertační práce v první etapě. V obou etapách byly zkušební vzorky vysoušeny pomocí mikrovlnného záření a pomocí přirozeného vysychání na vzduchu. Z průběhu vysoušecích křivek je patrná inklinace k návratu k původní vlhkosti vzorku. V případě umístění nasáklých těles do prostředí s vyšší teplotou a nižší relativní vlhkostí vzduchu došlo k velmi rychlému poklesu hmotnosti. Zkušební vzorky AIR byly umístěny v prostředí laboratoře s teplotou 24 °C a relativní vlhkostí 45 %.

Zkušební vzorky EMW byly vysoušeny pomocí mikrovlnného záření. V první etapě byl testován počet cyklů a doba expozice mikrovlnného záření u zkušebních vzorků OSB desek, než byla nalezena optimální kombinace. Značné množství zkušebních těles bylo spáleno a jejich stav vylučoval použití pro další měření. Jako optimální doba ozařování zkušebních vzorků byl stanoven čas 15 minut ve třech cyklech. Po ukončení každého cyklu bylo nutné nechat zkušební vzorek vychladnout a umožnit tak odpaření přebytečné vlhkosti. Výkon mikrovlnného generátoru byl 750 W. Nicméně i po ozařování dle optimální i kratší doby expozice vykazovaly zkušební vzorky známky poškození. U většiny zkušebních vzorků se objevovaly trhlinky ve struktuře materiálu nebo se přímo odlupovaly štěpky z povrchu vzorků. Zkušební vzorky působily vysušeným a křehkým dojmem. Z naměřených dat jasně vyplývá, že vysoušení pomocí mikrovlnného záření znamená značné snížení faktoru difuzního odporu. Toto potvrzují výsledky provedených měření, kdy byl zaznamenán trend

snížení faktoru difuzního odporu právě po mikrovlnném vysoušení u všech testovacích sad zkušebních vzorků. Ač je vysoušení pomocí mikrovlnného záření velmi účinnou metodou naměřená data poukazují na nevhodnost této vysoušecí metody pro OSB desky.

Po vysoušení zkušebních vzorků do ustálení hmotnosti následoval test difuzních vlastností metodou suché misky. Difuzní vlastnosti byly měřeny v prostředí klimatické komory s relativní vlhkostí 60 % poté 80 % a teplotou 23°C. Zkušební sestavy byly váženy v pravidelných intervalech, z nichž byly zaznamenány hmotnostní přírůstky. Průběh jednotlivých měření je zpracován v kapitole „Analýza neměřených dat“ ve formě grafů. Ve všech provedených experimentech měření difuzních vlastností se opakoval trend nejnižších hmotnostních přírůstků, kterých dosahovaly zkušební sestavy se vzorky ETAL, které nebyly vlhkostně testovány. Následovaly zkušební sestavy se vzorky AIR a nejvyšší hodnoty hmotnostních přírůstků zpravidla vykazovaly zkušební sestavy se vzorky EMW, které byly po vlhkostním testování vysoušeny pomocí mikrovlnného záření.

Posledním krokem byl výpočet faktoru difuzního odporu u měřených zkušebních vzorků a následný přepočet na ekvivalentní difuzní tloušťku. Ve všech případech vykazovaly zkušební vzorky AIR a EMW, které byly vlhkostně testovány nižší hodnoty faktoru difuzního odporu než zkušební vzorky ETAL, které nebyly vlhkostně testovány. Lze tedy potvrdit přímý vliv nadměrné vlhkosti na snížení hodnoty faktoru difuzního odporu, které už předznamenala publikace [8]. Tento fakt znamená značné riziko v případě zasažení stěny dřevostavby nadměrnou vlhkostí zvláště u difuzně otevřených skladeb, kdy je kladen důraz na správné řazení jednotlivých materiálových vrstev právě dle faktoru difuzního odporu. Další vliv na snížení faktoru difuzního odporu mělo i mikrovlnné záření. Zkušební vzorky EMW zpravidla vykazovaly nižší hodnoty faktoru difuzního odporu než zkušební vzorky AIR, které byly vysoušeny pouze vzduchem.

Stejný trend platí i v případě ekvivalentní difuzní tloušťky. Ekvivalentní difuzní tloušťka dosahovala zpravidla nejvyšších hodnot u zkušebních vzorků ETAL, které nebyly vlhkostně testovány. Nejnižší hodnoty ekvivalentní difuzní tloušťky vykazovaly zkušební vzorky EMW, které byly po vlhkostním testování vysoušeny pomocí mikrovlnného záření.

Na základě provedených experimentálních měření lze závěrem potvrdit vliv nadměrné vlhkosti na snížení faktoru difuzního odporu zkušebních vzorků z OSB desek.

U všech zkušebních těles byly ověřeny pevnostní charakteristiky pomocí tří bodového ohybu. Zkušební tělesa ETAL vykazovala průměrnou pevnost v ohybu 22,1 MPa. U zkušebních těles AIR byla naměřena průměrná pevnost 14,3 MPa a u zkušebních těles EMW byla naměřena pevnost 13,1 MPa. Dále byly do porovnání přidány zkušební tělesa EMW 1-25, která byla vysoušena pomocí mikrovlnného záření po dobu 25 minut ve třech cyklech. Výkon mikrovlnného generátoru byl 750 W. Průměrné hodnoty pevností u zkušebních těles ozařovaných 25 minut byly 6,4 MPa. Tato změřená data potvrdila vliv nadměrné vlhkosti i vliv mikrovlnného ozařování na snížení pevnosti zkušebních těles z OSB desek.

Z důvodu posouzení kondenzace vodní páry ve skladbě stěny dřevostavby byly naměřené hodnoty faktoru difuzního odporu zkušebních vzorků OSB desek posouzeny dle ČSN 73 0540. Naměřené průměrné hodnoty faktoru difuzního odporu byly zakomponovány do difuzně otevřené a difuzně uzavřené skladby stěny dřevostavby a tyto následně posouzeny. Posouzeny byly hodnoty faktoru difuzního odporu 250, kterou uvádí výrobce. Dále byla posouzena průměrná hodnota faktoru difuzního odporu 70 a 50. Výsledkem posouzení bylo zhodnocení, že ani v jednom případě skladeb se změněným, sníženým faktorem difuzního odporu nedochází ke kondenzaci. Vlhkost dřevěných prvků byla do 18 %. Tento výsledek posouzení nelze paušalizovat na všechny difuzně uzavřené a difuzně otevřené konstrukce. Z tohoto důvodu byla posouzena skladba difuzně otevřená se silikátovou omítkou s výše získanými hodnotami faktoru difuzního odporu. Simulací a posouzením této skladby byla zjištěna kondenzace na rozhraní dřevovláknité desky a omítky. Z tohoto důvodu je po změně faktoru difuzního odporu nutnost individuálního posouzení každé skladby stěny dřevostavby.

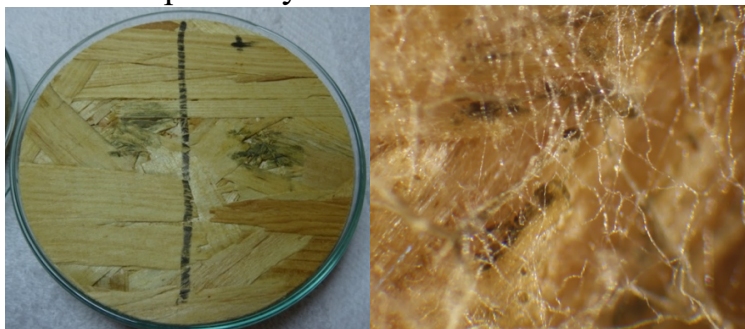
Poslední částí první etapy byla analýza rizika růstu plísní. Odebrané vzorky plísní byly v laboratorních podmínkách kultivovány na živné půdy pro potřeby mikroskopického pozorování.

Kultivace na zkušební vzorky ETAL, AIR a EMW proběhla za stejných podmínek. Kultivovaný vzorek plísně se uchytil a rostl na všech sadách zkušebních vzorků pouze s rozdílnou inkubační dobou. Nejkratší inkubační dobu měly zkušební vzorky vlhkostně testované AIR a EMW, přičemž na zkušebních vzorcích EMW byla makroskopicky pozorovatelná kolonie plísně už 5 den.

U zkušebních vzorků AIR byla kolonie plísně makroskopicky pozorovatelná 7 den od kultivace a u zkušebních vzorků ETAL až 16 den od provedené kultivace. Makroskopicky pozorovatelné znaky potvrdily přítomnost kolonie plísní. Barva mycelia byla zelenošedá s přítomností konídií. Mikroskopická stavba hyf jednoduchá, šlahounovitá. Sporangia kulovitá, černá.

Při přímé kultivaci na dřevěné struktury nebo materiály na bázi dřeva je pravděpodobný výskyt a růst kultivovaného vzorku což bylo experimentem potvrzeno. Důležitým ukazatelem byla inkubační doba, kdy u zkušebních vzorků AIR a EMW bylo možné pozorovat založení mycelia a růst hyf již po 5 dnech (EMW) a po 7 dnech (AIR).

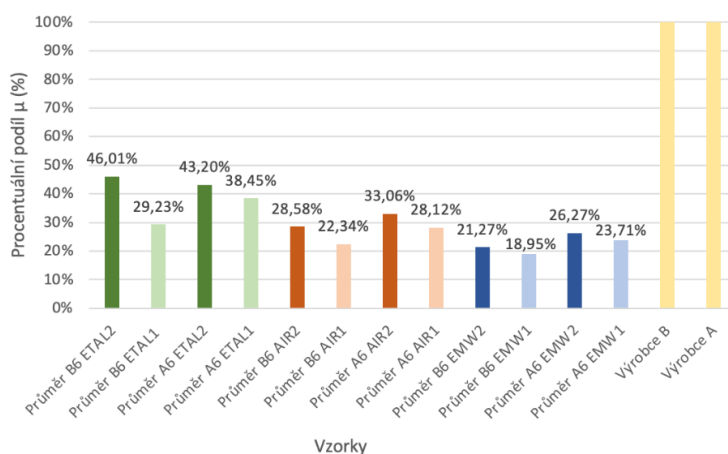
Z provedeného experimentu lze usuzovat že značný vliv na rychlost růstu plísně má nadměrná vlhkost ale i způsob vysoušení.



Obrázek č.9 – Zkušební vzorky OSB desek po uplynutí inkubační doby 8dní, T=24 °C, makroskopicky pozorovatelné kolonie plísní(vlevo), mikroskopický pohled (vpravo) (Zdroj: Autor)

G. ZÁVĚR

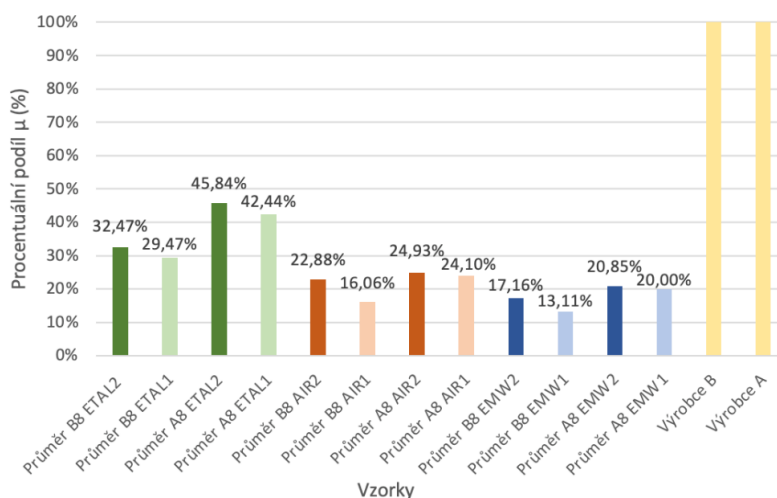
Hlavním cílem disertační práce bylo popsat změnu difuzních vlastností u zkušebních těles z OSB desek dvou vybraných výrobců, které byly zasaženy nadměrnou vlhkostí. Na základě provedených experimentů lze potvrdit vliv nadměrné vlhkosti na difuzní vlastnosti zkušebních vzorků OSB desek. Nejvyšších hodnot dosahovaly zkušební vzorky ETAL, které nebyly vlhkostně testovány pro difuzi měřenou v 60% i 80% relativní vlhkosti. Následovaly hodnoty zkušebních vzorků AIR, které byly po vlhkostním testování vysoušené přirozeně na vzduchu v prostředí laboratoře s teplotou 24 °C a relativní vlhkostí 45 %. Nejnižších hodnot dosahovaly obecně zkušební vzorky EMW, které byly po vlhkostním testování vysoušeny pomocí mikrovlnného záření. Níže zobrazené grafy jsou zpracovány jako procentuální zisky faktoru difuzního odporu průměrných hodnot zkušebních sad vzorků. Obecně lze na základě obou níže uvedených grafů potvrdit, že zkušební vzorky testované ve druhé etapě dosahovaly vyšších hodnot. Tento fakt vysvětluje potvrzení zástupce výrobce OSB desek, že od roku 2016 došlo k upravení receptury a zlepšení některých parametrů OSB desek. Na základě hodnot z grafu č. 17 a 18 lze vyvodit dosažené průměrné procentuální hodnoty faktoru difuzního odporu.



Graf č.17 – Porovnání průměrných hodnot procentuálních podílů dosažených hodnot faktoru difuzního odporu. Difuze zkušebních sad měřena v prostředí 60% relativní vlhkosti. Osa x zobrazuje sady zkušebních vzorků, osa y zobrazuje výši procentuálního podílu dosaženého faktoru difuzního odporu (%)

Zkušební vzorky ETAL vykazovaly faktor difuzního odporu 95 a přibližně 60% snížení zjištěné hodnoty faktoru difuzního odporu ve srovnání s hodnotami výrobce. Zkušební vzorky AIR dosahovaly průměrných hodnot faktoru difuzního odporu 60, přičemž vykazovaly cca 75% snížení hodnoty faktoru difuzního odporu. Nejnižších hodnot faktoru difuzního odporu dosahovaly zkušební vzorky EMW, a to průměrné hodnoty 49. Tyto zkušební vzorky vykazovaly průměrné 80% snížení hodnoty faktoru difuzního odporu ve srovnání s hodnotami výrobce. Na základě výše uvedeného porovnání lze potvrdit vliv nadměrné vlhkosti na hodnotu faktoru difuzního odporu. Dále lze potvrdit nezanedbatelný vliv mikrovlnného záření na snížení hodnoty faktoru

difuzního odporu. Tento druh vysoušení je velmi efektivním a finančně dostupným řešením odstranění vlhkosti, nicméně není vhodným pro vysušování OSB desek.



Graf č.18 – Porovnání průměrných hodnot procentuálních podílů dosažených hodnot faktoru difuzního odporu. Difuze zkušebních sad měřena v prostředí 80% relativní vlhkosti. Osa x zobrazuje sady zkušebních vzorků, osa y zobrazuje výši procentuálního podílu dosaženého faktoru difuzního odporu (%)

V případě zasažení OSB desek nadměrnou vlhkostí a následném vysoušení je nutné se snížením faktoru difuzního odporu počítat, nebo dle potřeb návrhu přistoupit k výměně poškozených částí materiálu.

Naměřená data prokázala, že vlivem působení vlhkosti klesá pevnost OSB desek. Dále byl prokázán vliv mikrovlnného záření na snížení pevnosti v závislosti na době expozice.

K ověření funkčnosti navržené skladby se změněným faktorem difuzního odporu byla použita simulace a posouzení dle ČSN 73 0540, které je nejběžnější v praxi. Do posouzení byly zadány průměrné naměřené hodnoty faktoru difuzního odporu, přičemž nejnižší hodnota byl faktor difuzního odporu 50 pro OSB desky tloušťky 12 mm vysoušené pomocí mikrovlnného záření. Při posouzení difuzně otevřené a difuzně uzavřené skladby stěny dřevostavby s nejnižší průměrnou hodnotou nevykazovaly posuzované skladby vznik kondenzátu a posouzení vyhověly. Nelze ovšem výsledek simulace paušalizovat pro všechny difuzně otevřené a difuzně uzavřené skladby stěn dřevostaveb, jak ukázalo posouzení difuzně otevřené skladby se silikátovou omítkou. Je nutné vždy každou skladbu individuálně posoudit, jelikož dle [9] může celkovou bilanci vlhkosti materiálů zabudovaných do konstrukce ovlivnit i vzduchová propustnost spár nebo styků materiálů jednotlivých materiálových vrstev. Proto může být celkové množství vodních par prostupujících konstrukcí větší.

Z hlediska posouzení rizika růstu plísní byl prokázán rychlejší výskyt a růst kultivovaných plísní na zkušebních vzorcích AIR a EMW, které byly vlhkostně testovány. Provedeným experimentem lze poukázat na vliv nadměrné vlhkosti na zvýšení rizika růstu plísní.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD: Dokončené domy podle svislé nosné konstrukce. ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD: Dokončené domy podle svislé nosné konstrukce [online]. Praha, 2022, 06.09.2022 [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/bvz_cr
- [2] SONDEREGGER, W a P NIEMZ. Thermal conductivity and water vapour transmission properties of wood-based materials. European Journal of Wood and Wood Products. 2009, (67(3), 313-321. ISSN 1436-736X.
- [3] SOBOTKA, Jindřich, Karel ŠUHAJDA a Zdeněk JIROUŠEK. Mikrovlnná teorie ve stavební praxi. TZB INFO [online]. 3.4.2017 [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: doi:<https://stavba.tzb-info.cz/izolace-strechy-fasady/15568-mikrovlnna-teorie-ve-stavebni-praxi>
- [5] ČSN EN 321: Desky ze dřeva - Stanovení odolnosti proti vlhkosti zkouškou cyklováním. PRAHA: ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ, 2002.
- [6] SOBOTKA, J A SMOLKA, R. Thermal performance of wooden elements exposed to microwave radiation during treatment of building defects. In MATEC Web of Conferences , roč. 279, str.02012. EDP Sciences, 2019. Dostupné z: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2019/28/mateconf_bd18_02012/mateconf_bd18_02012.html
- [7] Obecná mykologie. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav botaniky a zoologie [online]. 2015 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/botany/mycology/mykolog.htm>
- [8] ABBASI, Fariba, Mohammad SAMAE, Zahra MANOOCHERI, Mahrokh JALILI a Ebrahim YAZDANI. The effect of incubation temperature and growth media on index microbial fungi of indoor air in a hospital building. Journal of Building Engineering [online]. Elsevier, 2020, 19.3.2020, (31) [cit. 2023-05-27]. ISSN 2352-7102. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219310435>
- [9] ŘEHÁNEK, J. Vzduchová propustnost konstrukce a její vliv na možnou kondenzaci vodní páry uvnitř konstrukce. Tepelná ochrana budov. 2005, 8, 3-5. ISSN 1213-0907.
- [9] OLAOYE, Toba Samuel, Mark DEWSBURY a Hartwig KUNZEL. A Method for Establishing a Hygrothermally Controlled Test Room for Measuring the Water Vapor Resistivity Characteristics of Construction Materials [online]. ENERGIES, 2021, 2021, 14(1), 1-19 [cit. 2021-12-06]. Dostupné z: https://www.mdpi.com/1996-1073/14/1/4#framed_div_cited_count
- [10] FEDORIK, Filip, Kimmo ILLIKAINEN. HAM and mould growth analysis of a wooden wall. International Journal of Sustainable Built Environment [online]. 2013, 24.9.2013, 19-26 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2013.09.002>

VĚDECKO – VÝZKUMNÁ ČINNOST, SPECIFICKÝ VÝZKUM

[1] Analýza růstu plísní a difuzních vlastností u desek na bázi dřeva zasažených nadměrnou vlhkostí, zahájení: 1. 3. 2016, ukončení: 28. 2. 2017, FAST–J–16–3797, Projekt specifického výzkumu
- hlavní řešitel

[2] Vliv způsobu vysoušení obvodové stěny moderní dřevostavby na fyzikální parametry OSB desek, zahájení: 1. 1. 2014, ukončení: 31. 12. 2014, FAST–J–14–2499, Projekt specifického výzkumu
- hlavní řešitel

[3] Rozvoj materiálového modelu technologicky kombinované konstrukce pomocí experimentálně naměřených dat s verifikací na výseku prototypu, zahájení: 1. 1. 2015, ukončení: 31. 12. 2016, FAST-S-15-2757, Projekt specifického výzkumu
- spoluřešitel

PUBLIKACE

[1] PROCHÁZKOVÁ, M.; BEČKOVSKÁ, T.; VACKOVÁ, L.; TICHOMIROV, V. Diffusion of water vapor through the damaged light weight wooden wall. *Applied Mechanics and Materials*, 2016, č. 824, s. 571-578. ISSN: 1662-7482.

- spoluautor článku

[2] VACKOVÁ, L. Důsledky nadměrné vlhkosti v interiérech budov. In *Juniorstav 2016*. 2016. s. 1-6. ISBN: 978-80-214-5311-1.

- aktivní prezentace na konferenci Juniorstav 2016

[3] VACKOVÁ, L.; BEČKOVSKÝ, D. The effect of moisture and relative humidity on oriented strand boards properties. *Applied Mechanics and Materials*, 2016, č. 824, s. 606-613. ISSN: 1662-7482.

- spoluautor článku

[4] BEČKOVSKÝ, D.; VACKOVÁ, L.; BEČKOVSKÁ, T.; SOBOTKA, J.; PĚNČÍK, J.; LAVICKÝ, M. Analysis of the diffusional properties of Peripheral walls of wooden houses during Emw radiation exposure. *WOOD RESEARCH*, 2016, roč. 61, č. 4, s. 627-635. ISSN: 1336-4561.

- aktivní prezentace na konferenci Dřevostavby 2016 ve Volyni

[5] VACKOVÁ, L.; VÁVRA, P. Analýza vlivu difuzního odporu osb desek na jejich vzduchotěsnost. In *Sborník abstraktů Juniorstav 2015*. Brno: 2015. s. 1-6. ISBN: 978-80-214-5091-2.

- aktivní prezentace na konferenci Juniorstav 2015

[6] ŽIŽKA, L.; VACKOVÁ, L. Vliv navlhavosti dřeva na relativní vlhkost v prostředí. In *Sborník abstraktů*. Brno: 2015. s. 1-6. ISBN: 978-80-214-5091-2.

- spoluautor článku

[7] ŽIŽKA, L.; VACKOVÁ, L.; ŠPÁS, L. Shrinkage of Industrial Concrete Floors. In *Advanced Materials Research*. Switzerland: TRANS TECH PUBLICATION, 2014. s. 317-322. ISSN: 1022-6680.

- spoluautor článku