

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Vliv vlhkosti na růst plísní na povrchu
stavebních materiálů**

**Jan Schovanec
2020**

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Martin Böhm, P



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra: 123 Materiálového inženýrství a chemie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Schovanec Jméno: Jan Osobní číslo: 468328
Zadávající katedra: Katedra materiálového inženýrství a chemie
Studijní program: Příprava, realizace a provoz staveb
Studijní obor: Stavební inženýrství

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vliv vlhkosti na růst plísní na povrchu stavebních materiálů

Název bakalářské práce anglicky: Influence of relative humidity on mold growth on the surface of building materials

Pokyny pro vypracování:

Cíl práce:

Hlavním cílem bakalářské práce je vyhodnocení vlivu vlhkosti na růst plísní na povrchu interiérových stavebních materiálů. Mezi dílčí cíle patří především analýza jednotlivých parametrů ovlivňujících růst plísní.

Metodika:

Na základě provedené literární rešerše a vyhodnocení nevhodnějších typů technických materiálů pro experimentální měření budou připraveny zkušební vzorky. Testování bude provedeno při zvýšené vlhkosti v klimatizované komoře, vyhodnocení bude realizováno na základě hmotnostních zkoušek a obrazové analýzy.

Seznam doporučené literatury:

- 1) Pasanen, A.L., Juutinen, T., Jantunen, M.J. and Kalliokoski, P., 1992. Occurrence and moisture requirements of microbial growth in building materials. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 30(4), pp.273-283.
- 2) Nielsen, K.F., Holm, G., Utrup, L.P. and Nielsen, P.A., 2004. Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54(4), pp.325-336.
- 3) Příslušné normy ČSN a další odborné články z databáze WoS a Scopus

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Martin Böhms, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 17. února 2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 17. května 2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na růst plísní na površích stavebních materiálů, vyskytujících se v interiéru budov. Růst plísní byl zkoumán za hraničních podmínek, které se mohou v budovách vyskytovat. Mezi dílčí cíle patří analýza jednotlivých parametrů ovlivňující růst plísní. Vzorky nebyly nijak očkované, ani přiživovány živným médiem. Zcela vysušené vzorky, byly umístěny v klimatizační komoře při teplotě 22 °C a podrobeny sorpci v týdenních cyklech se zvyšující se relativní vlhkostí vzduchu (dále RH) RH- 80% - 85% - 90%. Po dosažení horní hranice RH bylo přistoupeno k desorpci, během které se z RH 90% postupně po týdenních periodách snižovala vlhkost (RH85%-RH80%). Některé difference v povrchových úpravách nebyly ani po pěti cyklech patrné, proto bylo nastaveno na klimatické komoře skokové zvýšení na RH 90% po dobu 7dní. Hmotnosti byly zaznamenávány po vysušení a dále pak při každé změně RH. Rozměrové charakteristiky byly zaznamenány při úplném vysušení a znovu pak při maximálním nasycení vzorků. Materiály byly posuzovány vizuálně a zaříděny dle procentuálního napadení. Bylo zjištěno, že i krátkodobé působení zvýšené vlhkosti vede u materiálů na bázi ligninu a celulózy k růstu plísní na jejich povrchu. Protipožární úpravy svou vysokou hygroskopicitou výrazně ovlivnily objem vlhkosti ve vzorku. Aglomerované materiály dosáhly největších objemových změn. Povrchy a materiály na bázi kamene, plastových hmot, kovové povrchy, pěnové sklo a kompaktní nejevily žádné napadení plísní.

Klíčová slova

Stavební materiál, plíseň, materiál na bázi ligninu a celulózy, povrch, povrchová úprava, relativní vlhkost vzduchu, rovnovážná vlhkost, rozměrové změny.



Abstract:

The bachelor's thesis is mainly focused on the growth of mold on the surfaces of building materials occurring in the interior of buildings. Mold growth has been studied under the boundary conditions that can occur in buildings. The partial goals include the analysis of individual parameters affecting the growth of mold. The samples were not inoculated or fed with nutrient medium. Completely dried samples were placed in a climate chamber at 22 °C and subjected to sorption in weekly cycles with increasing relative humidity (abbreviated as RH) - 80% - 85% - 90%. After reaching the upper limit of RH, desorption was started, where the humidity from RH 90% gradually decreased after weekly periods (RH85% -RH80%). Some differences in surface finishes were not visible even after five cycles, so sudden increase in RH to 90% was set at the climatic chamber for 7 days. Weights of samples were recorded after drying and then with each change in RH. Dimensional characteristics were recorded at complete drying and again at maximum sample saturation. The materials were assessed visually and classified according to the percentage of mold infestation. It was found that in materials based on lignin and cellulose, even short-term exposure to increased humidity, leads to the growth of mold on their surface. Fire-retardant treatments due to their high hygroscopicity, significantly affected the volume of moisture in the sample. Agglomerated materials achieved the largest volume changes. Surfaces and materials based on stone, plastics, metal surfaces, foam glass, compact, showed no mold infestation.

Key words

Building material, mold, lingo-cellulosic material, surface, coating, relative humidity, equilibrium moisture content, dimensional changes.



Prohlášení

Já, Jan Schovanec, prohlašuji, že jsem autor této bakalářské práce, kterou jsem napsal pod vedením doc. Ing. Martina Böhma, Ph.D., za použití zdrojů uvedených v seznamu literatury.

Souhlasím s dalším využitím mé práce i programu na ČVUT – Fakultě stavební, v souladu se zákonem č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne:

podpis:



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Martinovi Böhmovi, Ph.D. za trpělivost, pomoc a odborné rady, které mi poskytl při tvorbě této práce. Dále bych chtěl také poděkovat rodině, která mi vytvářela morální i hmotné zázemí v průběhu uplynulých semestrů. Bez těchto lidí by tvorba této práce byla mnohem těžší, stejně jako celé dosavadní studium.



Obsah

1 Úvod.....	12
2 Cíle práce.....	14
2.1 Dílčí cíle práce jsou:.....	14
3 Literární rozbor.....	15
3.1 Průběh RH během dne	15
3.2 Závislost tvorby plísní na vlhkosti.....	15
3.3 Pórovitost materiálů, výskyt vody	18
3.4 Objemové změny při působení vlhkosti.....	19
3.4.1 Vyjádření objemových změn	21
3.5 Vliv plísní na člověka.....	22
4 Experimentální část	23
4.1 Používané materiály.....	23
4.2 Příprava vzorků.....	26
4.2.1 Úprava rozměrů.....	26
4.2.2 Úprava povrchů	26
4.2.3 Příprava materiálů	29
4.3 Vystavení vzorků jednotlivým cyklům.....	30
4.4 Používaná měřicí zařízení	31
4.4.1 Klimatizační komora	31
4.4.2 Laboratorní váha	31
4.4.3 Elektronické posuvné měřidlo.....	31
4.4.4 Skener	32
4.5 Předpokládaný průběh jednotlivých cyklů	32
4.5.1 RH 80% při 22 °C (7 dní).....	32
4.5.2 RH 85% při 22 °C (7 dní).....	33
4.5.3 RH 90% při 22 °C (7 dní).....	33
4.5.4 RH 85% při 22 °C (7 dní).....	34
4.5.5 RH 80% při 22 °C (7 dní).....	34
4.5.6 RH 90% při 22 °C (7 dní).....	34
5 Výsledky.....	35



5.1 Prokazatelné změny na vzorcích	35
5.1.1 Klimatizování 17.3.-1.4. 2020 při RH 85%, 22 °C	35
5.1.2 Klimatizování 1.4.-7.4. 2020 při RH 90%, 22 °C	36
5.1.3 Klimatizování 7.4.-15.4. 2020 při RH 85%, 22 °C, desorpce	37
5.1.4 Klimatizování 15.4.-22.4. 2020 při RH 80%, 22 °C, desorpce	38
5.1.5 Klimatizování 22.-25.4. 2020 při RH 90%, 22 °C, sorpce	39
5.2 Sorpce a desorpce během cyklů	39
5.3 Vliv protipožárních úprav na vlhkost	41
5.4 Objemové změny	42
5.5 Délková roztažnost	44
5.6 Vlhkostní změny	46
5.7 Zatřídění dle stupně procentuálního napadení plísní	48
5.7.1 Obrazová analýza	48
5.8 Vliv ochranných nátěrů	52
5.8.1 Fungicidní nátěr (Lignofix)	52
5.8.2 Protipožární nátěr (Pyroplex)	52
5.8.3 Protipožární dřevotřísková deska	53
5.8.4 Opálený modřín, kartáčovaný s epoxidovým nátěrem	53
5.8.5 Opálený modřínový povrch, kartáčovaný + lněný olej	54
5.8.6 Polyuretanový podlahový lak	54
5.8.7 Povrch s lučním kvítím	54
5.9 Povlakové úpravy	54
5.9.1 Protipožární povrchová úprava na OSB/3 (Firestop)	54
5.9.2 Kovolaminát na MDF	55
5.9.3 Betonová stěrka na MDF	55
5.10 Konstrukční materiál	56
5.10.1 Rostlé dřevo	56
5.10.2 Lignocelulózové materiály	56
5.10.3 Organické desky	57
5.10.4 MDF desky	57
5.10.5 Překližkové desky	57
5.10.6 Rezistentní materiály	58



5.11	Vliv umístění vzorků v klimatizační komoře	58
6	Závěr	60
7	Citovaná literatura	62
8	Přílohy	66

Seznam obrázků:

Obrázek 1:	Průběh RH během dne při konstantní vzdušné vlhkosti	15
Obrázek 2:	Graf závislosti RH na teplotě	17
Obrázek 3:	Změny objemu vody v buňce dřeva	20
Obrázek 4:	Schéma rozdělení použitých materiálů	23
Obrázek 5:	Schéma povrchových úprav	24
Obrázek 6:	Ostatní použité materiály	24
Obrázek 7:	Metoda Shou sug iban	27
Obrázek 8:	Fasáda domu z opalovaného modřínu	28
Obrázek 9:	Měření modřínového prkna posuvným měřidlem	30
Obrázek 10:	Schéma klimatizování vzorků	31
Obrázek 10:	Umístění vzorků v klimatizační komoře	32
Obrázek 11:	Manipulace se vzorkem	33
Obrázek 12:	Modřín opalovaný + epoxidový nátěr, zvukově izolační MDF	35
Obrázek 13:	Slámová deska, OSB/3 s protipožární úpravou	36
Obrázek 14:	Buková překližka + protipožární nátěr	37
Obrázek 15:	Organoid, zvukově izolační MDF, Slámová deska	38
Obrázek 16:	Zvukově izolační MDF, lakovaná MDF	39
Obrázek 17:	Graf znázorňující jednotlivé sorpce-desorpce	40
Obrázek 18:	Graf vlivu protipožárních úprav na sorpce-desorpce	41
Obrázek 19:	Graf objemových změn	43
Obrázek 20:	Graf délkové roztažnosti	45
Obrázek 21:	Graf vlhkostního přírůstku	47
Obrázek 22:	Obrazová analýza použitá ve studii	48



Obrázek 23: Grafický výstup z výpočetního softwaru.....	49
Obrázek 24: Mapy protipožárního nátěru	53
Obrázek 25: Oddělení protipožární vrstvy	55
Obrázek 26: Zabarvení betonové stěrky	56
Obrázek 27: Vyznačená lokální ložiska na březové překližce	58
Obrázek 28: Horní hrana OSB/3 s protipožární úpravou.....	59
Obrázek 29: Spodní hrana OSB/3 s protipožární úpravou	59
Obrázek 30: Posuvné měřidlo	66
Obrázek 31: Klimatizační komora	66
Obrázek 32: Laboratorní váha.....	67
Obrázek 33: Skenování vzorků na distančním rámečku	67
Obrázek 34: V1 – Slámová deska.....	68
Obrázek 35: M3 – Modřínové prkno opalované + epoxidový nátěr	69
Obrázek 36: O1 – Organoid	70
Obrázek 37: B1 – Bambusová podlaha.....	71

Seznam tabulek:

Tab. 1: Seznam používaných materiálů	25
Tab. 2: Změny na zkušebních vzorcích, sorpce-RH 85%.....	35
Tab. 3: Změny na zkušebních vzorcích, sorpce-RH 90%.....	36
Tab. 4: Změny na zkušebních vzorcích, desorpce-RH 85%	37
Tab. 5: Změny na zkušebních vzorcích, desorpce-RH 80%.....	38
Tab. 6: Změny na zkušebních vzorcích, sorpce-RH 90%.....	39
Tab. 7: Výsledná tabulka ze softwaru pro vyhodnocení obrazové analýzy.....	49
Tab. 8: Zatřídění vzorků dle procentuálního napadení jejich povrchu	50
Tab. 9: Procentuální napadení povrchů.....	51
Tab. 10: Procentuální napadení povrchů.....	52



1 Úvod

Při stavbě nových budov se klade důraz na správný statický návrh, rychlost výstavby, estetiku a mnoho dalších aspektů. Úměrně s rostoucím životním komfortem se zvyšují požadavky na nové budovy. Daleko více se věnuje pozornost proslunění jednotlivých místností, větrání a tepelnému pohodlí. Stavby tak disponují složitějšími skladbami obvodových plášťů, střech, ale i základů, které si žádají řešení složitějších detailů. Toto vše je při dodržení pracovních postupů realizovatelné. Snížení energetické náročnosti se však netýká pouze novostaveb, týká se také dodatečného zateplování stávajících objektů. V obou případech se člověk snaží o co nejlepší provedení, které při špatné realizaci může vést k řadě problémů.

Většinu času trávíme v interiéru a vnitřní vzduch bývá obvykle znečištěn více než ten venkovní. Důvodem jsou zdroje emisí uvnitř budovy v kombinaci s nedostatečným větráním. Znečišťující látky v ovzduší jsou na bázi formaldehydů, těkavých organických sloučenin, ozonů a biologických kontaminantů. Budovy, ve kterých vzniká takto nepříjemné prostředí, mohou způsobovat tzv. Sick Building Syndrome (SBS), jehož průvodním znakem jsou zdravotní obtíže u více než 20 % obyvatel budovy, které přetrvávají více než dva týdny. (Sun, a kol., 2019; Thach, a kol., 2019)

V budovách s SBS tvoří velkou část znečištění škodliviny uvolňované z plísní, proto je práce zaměřena na růst plísní na površích stavebních materiálů. Ty se tvoří už při RH 75% (Nielsen, a kol., 2004). Plísně tak mohou vytvářet prostředí, které vede k řadě zdravotních obtíží (Fleming, a kol., 2010). Takové budovy způsobují infekce dýchacích cest, bolesti hlavy, zhoršení imunitní schopnosti a vznik astmatu. (Gravesen, a kol., 1994; Hodgson, a kol.; Purokovi, a kol., 2001; Gordon, a kol., 1999) I ze statistických hledisek vyplývá, že nejde o jev zcela nový a ojedinělý. Ve světě je velké množství budov zasaženo plísní, např. ve Velké Británii je to 30-40 % (Hunter, a kol., 1988),



v Nizozemsku 20-25 % (Adan, a kol., 2004), v USA 40 % (Brunekreef, a kol., 1989) a v Dánsku dokonce až 50 % školních zařízení. (Gravesen, a kol., 1999)

Plísně se tvoří především na místech, která jsou ovlivněna zvýšenou vlhkostí. Způsobů pronikání vlhkosti do budov je více. Například v místě tepelných mostů, kde pára vlivem prudkého ochlazení kondenzuje (Mao, a kol., 2020). Dále pak vlivem špatně provedené hydroizolace budovy v podobě zemní vlhkosti nebo srážek. Velké množství vlhkosti vzniká při běžném provozu budovy, jednak při vaření, mytí nádobí, pobytu osob, jednak při výparech vody z pěstovaných rostlin. Proto je nutné tuto přebytečnou vlhkost pravidelně odvětrávat, a tím v co největší míře zamezit možnosti, aby ji absorbovaly vnitřní materiály.

Tato práce proto navazuje na odborné publikace zaměřené na podobnou problematiku. Pozornost je věnována materiálům nacházejícím se běžně uvnitř budov, především jejich rezistenci vůči růstu plísní. Dále je sledováno chování stejných materiálů s různými povrchovými úpravami a vliv těchto úprav na rychlost růstu plísní.



2 Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je vyhodnocení vlivu zvýšené vlhkosti na růst plísní na povrchu stavebních materiálů. Jelikož je v odborné literatuře popsán vliv zvýšené vlhkosti na růst plísní při jejím dlouhodobém působení v řádu týdnů a měsíců (Nilsen a kol., 2004; Cheng a kol., 2014), je v rámci této bakalářské práce hodnoceno zejména krátkodobé působení zvýšené vlhkosti. Součástí práce je vyhodnocení parametrů, které růst plísní ovlivňují.

2.1 Dílčí cíle práce jsou:

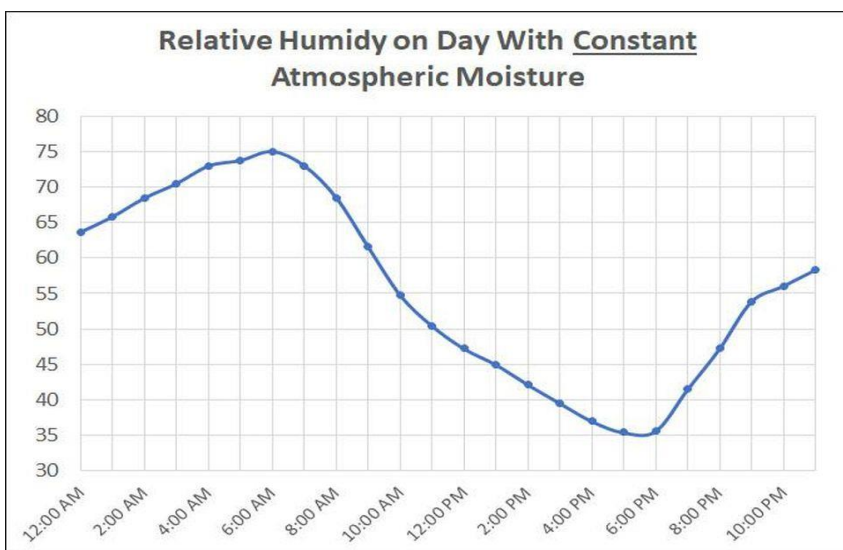
- Posouzení vlhkostních změn materiálů v závislosti na změně relativní vlhkosti vzduchu
- Posouzení objemových změn materiálů v závislosti na změně relativní vlhkosti vzduchu
- Vyhodnocení vlivu provedených protipožárních a akustických úprav na dosaženou rovnovážnou vlhkost materiálů a na růst plísní
- Vyhodnocení vlivu jednotlivých typů povrchových úprav na růst plísní
- Vyhodnocení vlivu fungicidních přípravků na růst plísní



3 Literární rozbor

3.1 Průběh RH během dne

V interiérech se během celého dne mění RH v závislosti na změně vnitřní teploty. Po ránu bývá v budově o něco nižší teplota než v odpoledních hodinách. Průběh RH během dne zobrazuje graf na obr. č. 1.



Obrázek 1: Průběh RH během dne při konstantní vzdušné vlhkosti (čas. Forbes, 2018)

Skokově může tuto křivku narušit, například z exteriéru, prudká změna počasí. V interiéru to může být přítomnost osob, úklid, vaření a zatékání (časop. Forbes, 2018)

3.2 Závislost tvorby plísní na vlhkosti

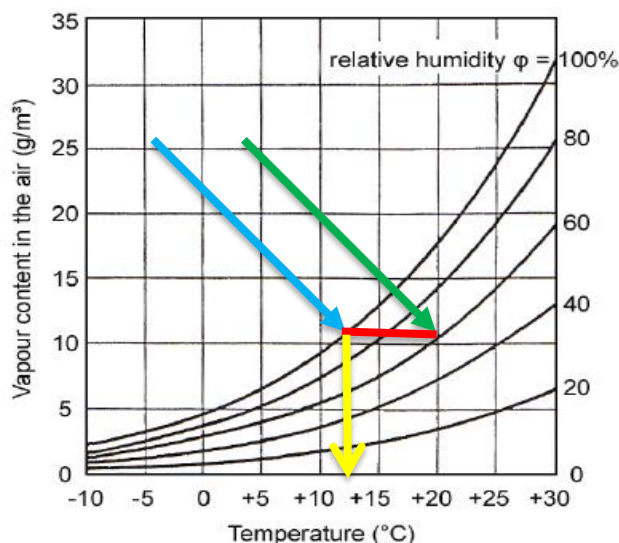
Potřebné podmínky pro růst plísní zahrnují: dostatek živin, příznivou teplotu, pH a také vlhkost. Množství vody v materiálech je klíčovou složkou pro výskyt plísní. Voda působící na růst mikroorganismů se často označuje a_w [–]. Ta je také definovatelná



jako tlak vodní páry v materiálu, dělený tlakem vodní páry ve vzduchu při shodné teplotě. (Lacey, a kol., 1980)

Každá plíseň má pro svůj růst odlišné požadavky na množství vody. Podle toho můžeme jednotlivé plísně rozdělit. Hydrofobní plísně vyžadují 0,9 aw, středně xerofilní 0,75-0,79 aw a mírně xerofilní houby 0,8-0,89 aw. (Lacey, a kol., 1980) Požadavky na vlhkost jsou přímo závislé na teplotě. Při nižších teplotách plísně potřebují větší množství vody pro svůj růst a naopak. (Ayerst, 1969)

Voda se ve vzduchu šíří v plynném skupenství, a to jako vodní pára. Maximální množství vodní páry, kterou je schopný vzduch pojmout bez toho aniž by pára kondenzovala, je závislé na teplotě vzduchu. Jakmile je absolutní množství vodní páry překročeno, dochází ke kondenzaci. Proto je pro nás ve stavebnictví tak zásadní řešit tepelné mosty. Například vzduch v místnosti o teplotě 21 °C s RH 60 %, který přijde do kontaktu s chladnějším povrchem než je cca 13 °C. Vodní pára začne na jeho povrchu kondenzovat a tak vznikne vhodné prostředí pro vznik plísní (viz graf na obr. č. 2). Důležitou hodnotou je také relativní vlhkost vzduchu, označená zkratkou RH, která je vyjádřena v [%] jako aktuální množství vodní páry v poměru k absolutnímu množství vodní páry o stejné teplotě vzduchu. (Bellia, L., Minichiello, F. 2003)



Obrázek 2: Graf závislosti RH na teplotě (zelená šipka-RH 60% při 20 °C, červená čára-rozdíl teplot rosného bodu; modrá šipka-rosný bod; žlutá šipka-teplota rosného bodu (13 °C) (Leardini, P., de Groot, H. 2010)

Hygroskopické vlastnosti (sorpce vody) se liší dle jednotlivých druhů materiálů. Ty pak určují jak využití materiálů, tak i jejich mikrobiologickou rezistenci vůči růstu hub a plísní. (Airaksinen, a kol.;Xie, a kol., 2011) Materiály na bázi přírodních vláken jsou hygroskopické, protože disponují hydroxylovými skupinami umožňujícími vazbu molekul vody pomocí vodíkových můstků. Jejich buněčné stěny disponují dostatečným místem pro absorpci vody. Pokud buněčné stěny absorbují vodu, dochází k jejich rozpínání. (Xie, a kol., 2011)

Proto je také důležité určit náchylnost jednotlivých materiálů vůči plísním. Je zřejmé, že ne všechny materiály jsou stejně vhodné pro růst plísní. Dokonce i totožný materiál, může mít rozdílnou odolnost vůči jejich růstu. Johanssons dalšími vědci zkoumali několik stavebních materiálů (na bázi lignocelulózových surovin a anorganických materiálů). Výsledky jejich výzkumu byly posuzovány pouze vizuálně běžným pohledem oka, podle procentuálního zastoupení plísní na povrchu, což by mohlo vést k dosti odlišným závěrům. Aby se takovým chybám předešlo, vyhodnocovalo vzorky několik na sobě nezávislých vědců a jejich výsledky byly porovnány. Mezi nejvíce



náchylné materiály patřila borovice (bělová část dřeva) a překližka, dále dřevotřískové desky a asfaltová lepenka. V testovaných podmínkách se nevyskytlo žádné napadení na deskách s obsahem skelných vláknem, extrudovaných polystyrenových deskách a ani na deskách na bázi cementu. Vzorky byly naočkovány 6 plísněmi (*Eurotiumherbariorum*, *Aspergillusversicolor*, *Penicilliumchrysogenum*, *Aureobasidiumpullulans*, *Cladosporiumsphaerospermum*, *Stachybotryschartarum*), umístěnými doklimatizační komory při teplotě (10 °C a 20 °C) a při podmínkách relativní vlhkosti (75-95 %). Růst plísní byl analyzován jednou týdně po dobu 12týdnů. (Johansson, a kol., 2012)

3.3 Pórovitost materiálů, výskyt vody

V materiálech se vyskytuje mnoho pórů ovlivňujících množství vody, kterou je materiál schopen pojmout. Definují se jako objem dutin k celkovému objemu materiálu.

$$\psi \frac{P_o}{P} [-], [\%]$$

- P_o = objem dutin [Kg/m^3]
- P = objem materiálu [Kg/m^3]

Póry se v materiálech vyskytují buď otevřené, nebo uzavřené. Otevřené póry jsou v přímém kontaktu se vzduchem (vznikají při výrobě, vysušování či degradaci materiálu). Přímo se podílejí na schopnosti difuze a navlhavosti. Uzavřené póry vzniklé při slinutí keramického střepu nebo hydrataci cementového tmelu, nepřijímají vzdušnou vlhkost. Dle schopnosti pohlcovat vlhkost se dají póry také dělit na:

- Submikroskopické - jejich rozměr je porovnatelný s rozměry molekul $r < 10^{-9}m$; voda může vytvářet řetězce a póry procházet.
- Kapilární - póry $r = 10^{-9} - 10^{-3}m$; voda se v nich pohybuje pomocí kapilárních sil a je schopná vzlínat.



- Makropóry a vzdušné póry - jsou natolik objemné, že u nich nefungují kapilární síly a voda je vlivem gravitace nevyplní.

Vlhkost v materiálech se vyskytuje v mnoha podobách:

- Voda volná (vyplňuje dutiny a póry)
- Fyzikálně vázaná voda (van der Waalsovy síly)
- Kapilární voda (vyplnění kapilár)
- Adsorbovaná voda (malé póry; pokrytí porézních stěn)
- Chemicky vázaná voda (sádra, anhydrit)

Sorpce je schopnost materiálu přijímat vlhkost ze vzduchu do materiálu

- Adsorpce: mezimolekulárními silami mezi pevnými molekulami a molekulami vodní páry se vzájemně přitahují (Vznikají molekulární vrstvy na stěnách pórů.)
- Absorpce: voda v kapalném nebo plynném skupenství se pomocí difuze usadí v pórech uvnitř tělesa
- Chemisorpce: mezi vodou a tuhou fází materiálu vznikají chemické vazby

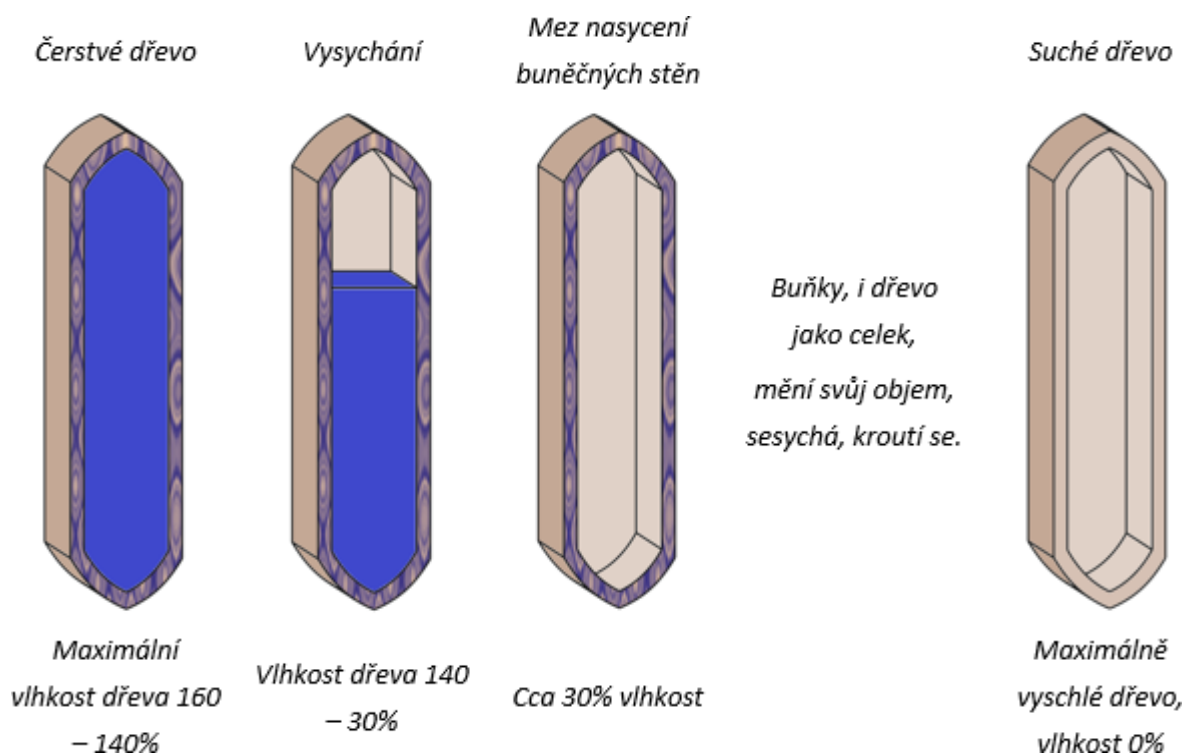
(Matovič A., 1993)

3.4 Objemové změny při působení vlhkosti

Objemové změny se týkají především přírodních materiálů, které mají buněčné stěny. Dřevěné materiály nebo materiály na bázi dřeva mají hygroskopické vlastnosti, tudíž snadno reagují na okolní prostředí. Pokud se zvýší vlhkost okolního vzduchu, plní své buněčné stěny a dochází k sorpci. Buněčné stěny přijímající vodu zvětšují svůj objem, a naopak při desorpci ho zmenšují a sesychají. Tím může dojít k objemovým změnám a změnám mechanických vlastností. Ve dřevě se vyskytuje voda ve dvojitě podobě buď voda volná, nebo voda vázaná. Při změně objemu volné vody nedochází



k žádné velké objemové změně tělesa, ale jakmile dojde ke změně množství vody v buněčných stěnách, nastává sesychání či bobtnání vzorku (viz obr. č. 3). (Heřmánková V. kol., tzb-info 2018)



Obrázek 3: Změny objemu vody v buňce dřeva (Heřmánková V. kol., tzb-info, 2018)

Mechanické změny ovlivněné rostoucím objemem vody ve vzorku mají za následek zhoršování pružnosti a pevnosti buněčných stěn. Dřevo nasycené vodou je náchylnější vůči houbám a plísním. Obecně platí, že střídání vlhkosti v materiálu, většinou nevykazuje žádné pozitivní změny. Při vysoké a stálé vlhkosti (např. dřevo trvale ponořené pod vodní hladinou) se stává dřevo velice (Heřmánková V. kol., tzb-info, 2018)



3.4.1 Vyjádření objemových změn

Vzhledem k velkému podílu přírodních materiálů bude tak nutné se zaměřit i na délkové a objemové změny.

Délkový přírůstek při vystavení vzorků dvou rozdílných vlhkostních stupňů, vyjádřený v procentech dle vzorce:

Přírůstek celkového objemu vyjádřený v procentech dle vzorce

$$V = \frac{V_2 - V_1}{V_1} * 100 \quad [\%]$$

- V_1 =objem zkušební vzorku při nižší hladině RH
- V_2 =objem zkušební vzorku při vyšší hladině RH

Výsledek se uvádí jako kladná hodnota (+ %) pro vztažení k vyšší hladině RH a jako záporná hodnota (- %) vztažena k nižší hodnotě RH.

$$IL = \frac{l_2 - l_1}{l_1} * 100 \quad [\%]$$

- l_1 = délka zkušební vzorku při nižší hladině RH
- l_2 =délka zkušební vzorku při vyšší hladině RH

Výsledek se uvádí jako kladná hodnota (+ %) pro vztažení k vyšší hladině RH a jako záporná hodnota (- %) vztažena k nižší hodnotě RH.

Hmotnostní přírůstek vyjádřený v procentech k celkové hmotnosti

$$w = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad [\%]$$

- m_1 =hmotnost zkušební vzorku při RH 0%
- m_2 =hmotnost zkušební vzorku při RH 90%



Výsledek se uvádí jako kladná hodnota (+ %), pro vztažení k vyšší hladině RH, záporných hodnot nemůže být dosaženo, vzorky byly vysušeny, jedná se tedy o sorpci.

(ČSN EN 318, 2003)

3.5 Vliv plísní na člověka

Plíseň při svém růstu prochází několika stádii, při nichž produkuje spory a kyseliny. Ty mohou být v mnoha případech toxické a karcinogenní. Vylučované kyseliny mají za následek degradaci materiálu, například kyselina mravenčí, šťavelová, propionová, octová atd. Lidem víc škodí vylučované toxiny. (Ryparová, a kol., 2016)

Toxiny produkované plísněmi:

- **Ochratoxin A** (produkovaný *Aspergillusochraceus*, *Aspergilluscarbonarius* a *Penicilliumverrucosum*) je lehce mutagenní. Prokázalo se totiž, že je pro člověka karcinogenní a způsobuje akutní depleci striatálního dopaminu, která může být příčinnou vzniku Parkinsonovy choroby.
- **Alfatoxin B1** (produkovaný *Aspergillusflavus* a *Aspergillusparasiticus*) je asi nejznámějším karcinogenem. Do těla se může dostat přes pokožku. Nejnáchylnějším orgánem v těle, na který působí, jsou játra.
- **Patulin** (produkovaný *Aspergillus* sp. A *Penicillium* sp. A *Byssochlamys* sp.), dráždí trávicí trakt a může mít i karcinogenní účinky. Mezi hlavní nálezy akutní toxicity patří gastrointestinální problémy, neurotoxicita (tj. křeče), plicní kongesce a otoky.
- **Trichotheceny** (produkované různými druhy *Fusarium*, *Myrothecium*, *Trichoderma*, *Trichothecium*, *Cephalosporium*, *Verticimonosporium* a *Stachybotrys*).

(Ryparová, a kol., 2016)

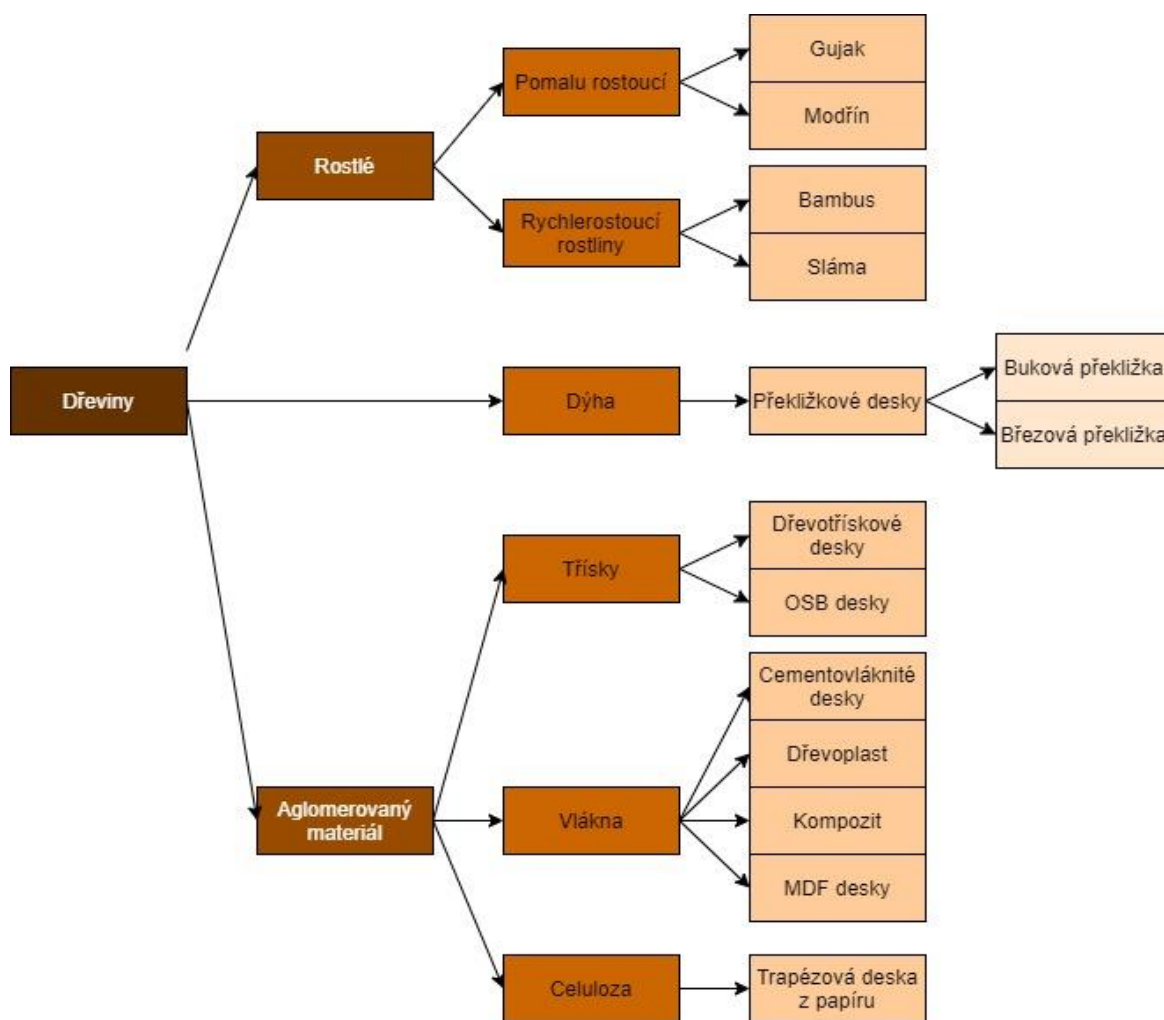


4 Experimentální část

4.1 Používané materiály

Materiály byly vybrány tak, aby reprezentovaly běžné povrchy vyskytující se v našich interiérech. Obrázek č. 4 znázorněný grafem rozděluje dřevěné materiály dle jejich výrobních procesů.

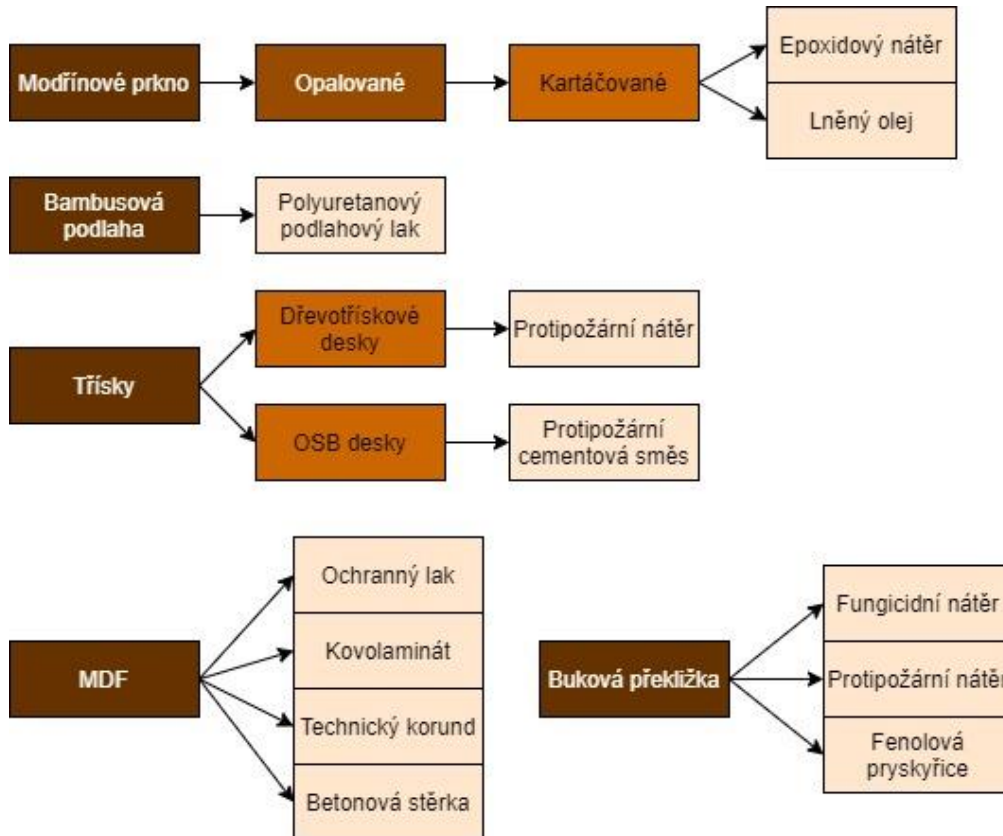
Rozdělení materiálů organického původu:



Obrázek 4: Schéma rozdělení použitých materiálů

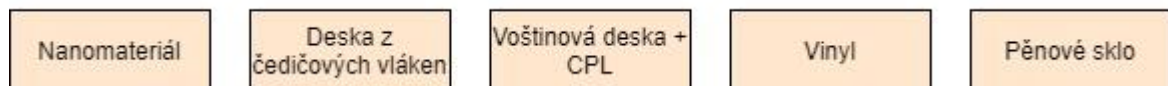


Povrchové úpravy materiálů:



Obrázek 5: Schéma povrchových úprav

Ostatní materiály:



Obrázek 6: Ostatní použité materiály



Tab. 1: Seznam používaných materiálů

Ozn.	Název	Složení			Povrchové úpravy	Použití
		Materiál	Struktura	Pojivo		
M1	Modřínové prkno opalované kartáčované	Modřín	Rostlé dřevo	-	Opalování + Iněný olejový nátěr	Dřevěná fasáda
M2	Modřínové prkno opalované	Modřín	Rostlé dřevo	-	Opalování	Dřevěná fasáda
M3	Modřínové prkno opalované + epoxidový nátěr	Modřín	Rostlé dřevo	-	Opalování + epoxidový nátěr	Interiérová prkna
M4	Modřínové prkno	Modřín	Rostlé dřevo	-	-	Prkna
B1	Bambusová podlaha	Bambus	Rostlé dřevo	-	Polyuretanový podlahový lak	Podlahová prkna
Bf1	Břidlicová tapeta	Břidlice	Minerál	Asf. lepenka (podkl.)	-	Tapeta
F1	Nanomateriál	Tvrzená akrylátová pryskyřice			-	Interiérový nábytek
V1	Slámová deska	Sláma	Stěbla	Polvizokvanátové lep.	-	Deskový materiál
OSB1	OSB/3 deska	Dřevo	Třísky	Polyuretanové lep.	-	Deskový materiál
OSB2	OSB/3 s protipožární úpravou	Dřevo	Třísky	Polyuretanové lep.	Cementová směs se skelnou rohoží	Konstr. Desky
Beton	Betonová stěrka na MDF	MDF (nosná část)			Betonová stěrka	Imitace bet. povrchu
Č1	Deska z čedičových vláken	Odpad z minerální vaty	Vlákna	Fenolické lepidlo	-	Konstr. Desky
CV2	Cementovláknitá deska	Dřevo	Vlákna	Cement	-	Konstr. Desky
O1	Organoid	MDF (nosná část)			Luční traviny	Obklady
L1	Trapezová deska z papíru	Dřevo	Vlákna	Syntetické lepidlo	-	Zvukově. izolační desky
L2	Voštinová deska + CPL laminát	Voštiny z dřevovlákná			CPL laminátové desky	Deskový mat.
K2	Kompakt	Dřevo	Vlákna	Fenolická pryskyřice	-	Deskový mat.
KV	Vinyl + korek	Korkový podklad			Vinyl	Obklady
PS	Pěnové sklo	Sklo	Porézni	-	-	Tepelný izolant
Al ₂ O ₃	Korund	MDF (nosná část)			Technický korund + pryskyřice	Podlahová deska
WPC1	Dřevoplast	Dřevo	Vlákna	Polymer	Polypropylen	Prkna
P1	Guajak	Dřevo	Rostlé	-	-	Prkna
HPL1	Vysokotlaký laminát	Celuloza	Papír	Fenolická pryskyřice	-	Pohedové desky
Vinyl	Vinylová fólie	PVC			-	Povrchová úprava
MDF1	MDF	Dřevo	Vlákna	MUF	-	Konstrukční desky
MDF2	MDF s 3D tiskem	Dřevo	Vlákna	MUF	-	Pohedové desky
MDF3	Lakovaná MDF	Dřevo	Vlákna	MUF	Ochranný lak	Konstrukční desky
MDF4	MDF s kovolaminátem	Dřevo	Vlákna	MUF	1mm kovolaminátu	Pohedové desky
MDF5	Probarvená MDF	Dřevo	Vlákna	MUF	-	Pohedové desky
MDF6	Izolační deska MDF	Dřevo	Vlákna	MUF	-	Tepelný izolant
MDF7	Zvukově izolační MDF	Dřevo	Vlákna	MUF	-	Zvukově. izolační desky
PB1	Dřevotřísková deska P5	Dřevo	Třísky	Polyuretanové lep.	-	Konstrukční desky
PB2	Dřevotřísková deska P5 protipožární	Dřevo	Třísky	Polyuretanové lep.	-	Konstrukční desky
PW2	Buková překližka + fungicidní nátěr	Dřevo	Dýha	PVAc	Fungicidní nátěr	Konstrukční desky
PW3	Buková překližka	Dřevo	Dýha	PVAc	-	Konstrukční desky
PW5	Buková překližka + protipožární nátěr	Dřevo	Dýha	PVAc	Protipožární nátěr	Konstrukční desky
PW7	Březová překližka	Dřevo	Dýha	PVAc	-	Pohedové desky
PW8	Voděodolná překližka stavební	Dřevo	Dýha	Fenolické lepidlo	Fenolová pryskyřice	Stavební desky



CPL - Kontinuálně lisovaný laminát

MDF - Dřevovláknitá deska se střední hustotou

MUF - Močovino-melamin-formaldehydové lepidlo

PVAc - Polyvinylacetátové disperzní lepidlo

PVC - Polyvinylchlorid

4.2 Příprava vzorků

4.2.1 Úprava rozměrů

Velká část ze zkoumaných materiálů byla k dispozici v podobě prezenčních vzorků. Aby bylo možné dosáhnout co nejpřesnějších výsledků, byl stanoven jednotný rozměr vzorků 150x100 mm. Tudíž bylo potřeba pro sjednocení sady jejich proporce z deskových modulových rozměrů upravit. Materiály na bázi organických surovin byly upraveny pomocí formátovací truhlářské stolní pily s pilovým kotoučem z rychlořezné oceli. Více abrazivní materiály byly řezány pomocí kotouče s ozubením ze slinutých karbidů.

4.2.2 Úprava povrchů

Ne všechny povrchové úpravy byly průmyslového charakteru, tudíž některé z úprav bylo nutné povést ruční aplikací.

4.2.2.1 Konzervace zuhelnatěním povrchu

Volba této povrchové úpravy dřeva, která byla použita v mnoha podobách, vycházela z praktických zkušeností při výstavbě dřevostavby.

Ošetření povrchu má počátky ve staré japonské technice Shou sugi ban z 18. století. Ta se v Japonsku používala při stavbě dřevěných příbytků, u kterých se upravené cedrové dřevo kombinovalo s bílým štukem. Z cedrových desek se svázáním vytvořil rovnostranný trojúhelník, postavil se svisle vzhůru a uvnitř trojúhelníku se zažehnul oheň. Dřevo tak vytvořilo dostatečný komínový tah a podporovalo hoření (dnes se



využívá propanových hořáků či cihlových pecí). Po dostatečném zuhelnatění se desky rozvázaly a plamen se zadusil v kádi s vodou. Po vysušení dřeva na slunci došlo k odstranění a očištění zuhelnatělých a měkčích částí dřeva ocelovým kartáčem. Dřevo bylo zbaveno prachu a natřeno přírodním olejem, který zajistil jeho konzervaci. Poté se mohlo zabudovat do konstrukce. Nátěr přírodním olejem se opakoval každý rok (Kilian, T., 2014).



Obrázek 7: Metoda Shou sug iban (čas. Shousugiban, 2020)

Metoda byla použita na modřínových prknech. Ta byla opalována v otevřeném ohni, nebo propanovým hořákem, až do zuhelnatění jejich vrchní vrstvy. Zuhelnatělá prkna měla do hloubky 2-5 mm rozrušený povrch, který byl místy až rozpraskaný. Po opálení se prkna zhasila nebo nechala vychladnout. V takovém stavu byla používána na fasádu domu. U interiérového využití se pokračovalo s očištěním povrchu drátěným kartáčem až k tvrdému jádru prken. Odstranilo se nejen zuhelnatění, ale také měkčí a méně kvalitnější části dřeva. Povrch byl plastický a estetický. Poté se dřevo zbavilo prachu



z kartáčování a vytvořil se povrch k závěrečné konzervaci. Dle japonské metody se dřevo natírá přírodními oleji, zákazník však zvolil olej lněný. Takto ošetřená prkna byla použita na ostění či na interiérové obklady. Dřevo by mělo být schopno odolávat škůdcům, UV záření, plísním, a také by se měla zvýšit jeho požární odolnost. Aby byly vlastnosti dřeva stálé, měl by se každý rok obnovovat nátěr přírodním olejem. Opalované dřevo bylo využito také na rámy obrazů, pro které bylo důležité, aby povrch neuvolňoval žádné zuhelnatěné části dřeva. Na rám se místo lněného oleje nanášela vrstva epoxidového lepidla, aby byl povrch sjednocený a celistvý.



Obrázek 8: Fasáda domu z opalovaného modřínu

4.2.2.2 Protipožární nátěr (Pyroplex)

Jedná se o protipožární retardér, který byl nanášen na jednotlivé vrstvy dřevěných dubových dýh. Které se k sobě následně lepí. Nátěr je zdravotně nezávadný (ČSN EN



717-1, 2005). Takto upravené překližky se používají jako vnitřní vybavení veřejných staveb (nemocnice, letiště, dopravní prostředky...).

4.2.2.3 Biocidní nátěr (Lignofix E-Profi)

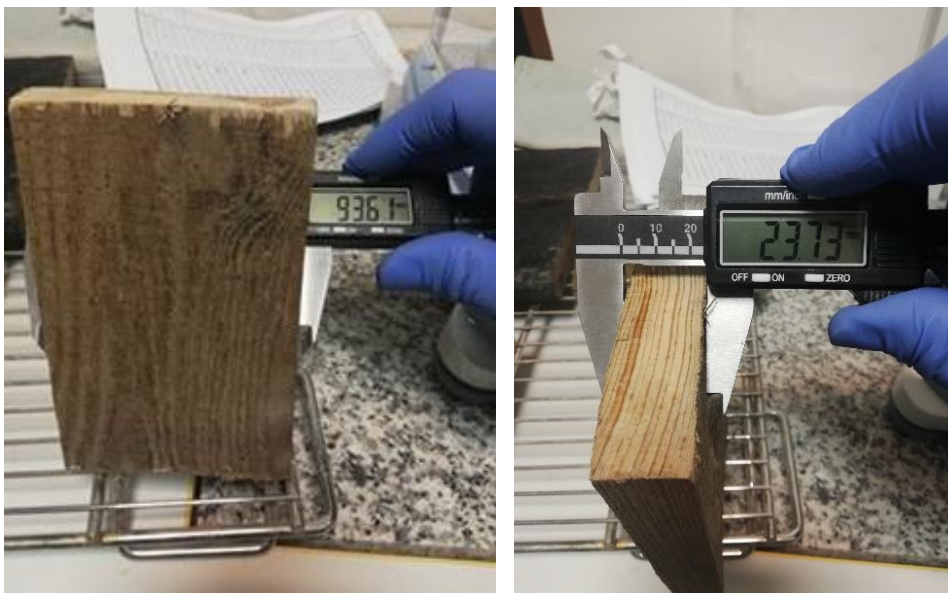
Nátěr k povrchovému nanesení, sloužící k ochraně dřeva před napadením houbami, plísněmi a dřevokazným hmyzem. Nehodí se do přímého kontaktu s pitnou vodou, krmivou či k výrobě dřevěných hraček. Tento nátěr byl nanášen na dubovou překližku ve 2 vrstvách. Na běžných stavbách se s ním nejčastěji konzervují dřevěné prvky krovu. Může sloužit i k ochraně zdiva a omítek. Nátěr byl nanášen v koncentraci 1:9 (1 díl Lignofixu: 9 dílů vody). Aplikaci je možno provádět několika způsoby: nástřikem, ponořením a nátěrem. Nanášení se provádí na bezprašný povrch, zbavený veškerých nečistot a předešlého napadení škůdci. Další vrstva nátěru byla provedena po úplném vyschnutí (3 dny v teplotě 21 °C).

4.2.3 Příprava materiálů

Po úpravě rozměrů bylo přistoupeno ke sterilizaci v klimatizační komoře při teplotě 65 °C s RH 0%. Této teploty bylo využito i k vysušení vzorků. Vážení probíhalo v 24hodinových intervalech, dokud nebylo dosaženo rovnovážného stavu, při kterém se hmotnost nemění. Tím byly vzorky považovány za zbavené vlhkosti a byla získána hodnota m_1 [g].

Následovalo měření vzorků elektronickým posuvným měřidlem pro získání základních rozměrů $a = \text{délka} \times b = \text{šířka} \times c = \text{tloušťka}$ [mm]. Posuvné měřidlo bylo kladeno kolmo k měřenému průřezu a byla zaznamenána nejmenší naměřená hodnota.

Veškerá manipulace se vzorky probíhala ve sterilních rukavicích, aby jejich povrch nebyl kontaminován.

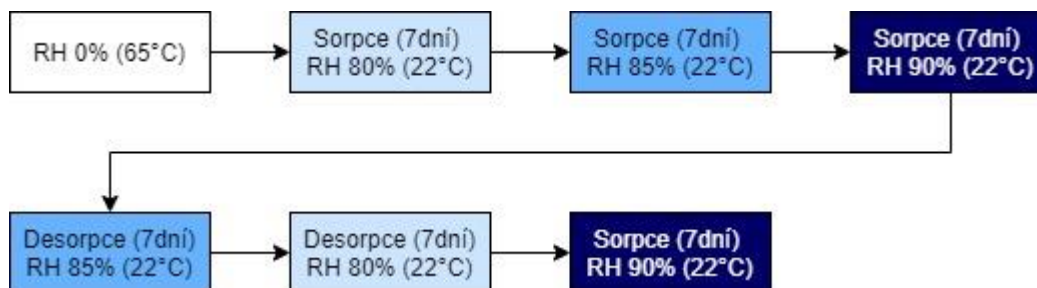


Obrázek 9: Měření modřínového prkna posuvným měřidlem

4.3 Vystavení vzorků jednotlivým cyklům

Předmětem zkoumání bylo vystavit materiály běžně se vyskytující v interiéru působení zvýšené vlhkosti po dobu pěti týdnů. Míra vlhkosti, která může běžně v budovách nastat, byla určena dle české normy ČSN EN 1995-1-1. **Třída použití 2** je charakterizována vlhkostí dřevěných konstrukčních materiálů odpovídající teplotě 20 °C a RH přesahující 85 % pouze několik týdnů v roce. (ČSN EN 1995-1-1, 2006)

Vzorky nebyly nijak očkovány plísněmi a jejich růst nebyl podporován živným médiem (např. agar, který byl využíván v jiných zahraničních studiích). Materiály byly vloženy do klimatizační komory při teplotě 22 °C s RH 80%. Po týdnu došlo ke zvýšení RH na 85 % při shodné teplotě a následovalo zvýšení na RH 90% při 22 °C. Poté se snižovala RH na 85 % (22 °C) a 80 % (22 °C), aby se prokázalo snížení růstu plísní. Na závěr bylo zařazeno zvýšení na RH 90% (22 °C) po dobu 7 dní, aby se prokázal rozdíl mezi povrchovými úpravami a materiály, který nebyl předchozími podmínkami patrný.



Obrázek 10: Schéma klimatizování vzorků

4.4 Používaná měřicí zařízení

4.4.1 Klimatizační komora

Vzorky byly po celou dobu umístěny v klimatické komoře (Climacell 111-ECO line) viz příloha obr. č. 31. Teplotní rozsah komory je od 0-100 °C (bez vlhkosti), s vlhkostí 10-90 °C, (teplotní přesnost $\pm 0,2$ °C). Relativní vlhkost lze libovolně nastavit v rozmezí 10 %-98 % (RH <2 %).

4.4.2 Laboratorní váha

Vážení probíhalo po jednotlivých cyklech na váze (OhausAdventurererPro) viz příloha obr. č. 32. Váha je schopna vážit vzorky s rozlišením na 0,001 g ($\pm 0,002$ g). Vzorky byly vloženy vždy na vynulovanou váhu a jejich hmotnost zaznamenána po uzavření krytu a ustálení hmotnosti.

4.4.3 Elektronické posuvné měřidlo

Měřilo se pomocí elektronického posuvného měřidla (Extolpremium) viz příloha obr. č. 30. Měřicí rozsah do 160 mm, s rozlišením 0,01 mm ($\pm 0,02$ mm vzorek <100 mm, $\pm 0,3$ mm vzorek >100 mm).



4.4.4 Skener

Ke skenování byla využita laserová kopírka (Olivetti d-colour mf283) (viz příloha obr. č. 33). Vzorky byly umístěny na distanční plastové rámečky, které byly za tímto účelem vytištěny na 3D tiskárně proto, aby nedošlo k poničení plísně sklem kopírovacího stroje. Zároveň použití distančního rámečku s kalibračním měřítkem zajistilo stejné podmínky pro osvětlení vzorku při skenování a snadnou a přesnou kalibraci při obrazové analýze. Sken byl nastavený s rozlišením 300 dpi, při formátu 130x180 mm. Skenované snímky byly ukládány ve formátu TIFF, aby nedocházelo ke kompresi obrazových bodů.

4.5 Předpokládaný průběh jednotlivých cyklů

4.5.1 RH 80% při 22 °C (7dní)

Klimatizační komora byla nastavena na teplotu 22 °C, RH 80%, do které byly umístěny vzorky v distančním stojanu. Ten zajišťoval jednotlivé oddělení vzorků, aby byly pro všechny zkoumané materiály co nejlhodnější podmínky. Po týdnu byly vzorky zváženy a jejich hmotnost zaznamenána. Při manipulaci byly zapsány změny viditelné pouhým okem. Celková sada byla naskenována pro případnou grafickou analýzu.



Obrázek 10: Umístění vzorků v klimatizační komoře



4.5.2 RH 85% při 22 °C (7dní)

U vzorků došlo k očekávanému zvýšení hmotnosti a k prvním projevům působení zvýšené vlhkosti. Vzorky, které začaly vykazovat růst plísní, byly odděleny od ostatních, aby nedošlo ke kontaminaci zbývajících materiálů. U několika z nich se zvyšování vlhkosti projevilo růstem plísní, tudíž bylo potřeba při manipulaci postupovat opatrně, aby nedošlo k setření nárůstů.



Obrázek 11: Manipulace se vzorkem Organoidu v gumových rukavicích, aby se zamezilo jeho kontaminaci

4.5.3 RH 90% při 22 °C (7dní)

Bylo dosaženo nejvyšší hladiny RH, která byla během zkoušení naplánovaná, a byly změřeny všechny rozměry. Předpokládalo se, že vzorky jsou na nejvyšším stupni nasycení za těchto podmínek a u některých se mohou projevit objemové změny. Růst by měl být nejrazantnější a očekává se vliv rozdílných povrchových úprav na celkový výsledek.



4.5.4 RH 85% při 22 °C (7dní)

Po snížení RH byl očekáván rychlejší úbytek váhy u organických materiálů a u materiálů s větší pórovitostí. Zároveň se předpokládalo zpomalení růstu plísní, či jeho úplné zastavení.

4.5.5 RH 80% při 22 °C (7dní)

Po přechodu na zaváděcí RH, bylo očekáváno více vlhkosti ve vzorcích než po prvním týdenním cyklu (RH 80% při 22 °C) Předpokládalo se, že se všechna sorpční voda za 3 cykly stihla ze vzorků odpařit. Další růst se měl zpomalovat či úplně zastavit. Některé povrchové úpravy by mohly zhoršit desorpční vlastnosti materiálů a mohly by tak vzniknout malé difference při shodných vlhkostních hladinách.

4.5.6 RH 90% při 22 °C (7dní)

Prudký nárůst vlhkosti by měl zapříčinit zvyšování objemu vody ve vzorcích a obnovení růstu plísní. Také by se měl prokázat rozdíl v povrchových úpravách materiálů, který se doposud neprojevil.



5 Výsledky

5.1 Prokazatelné změny na vzorcích

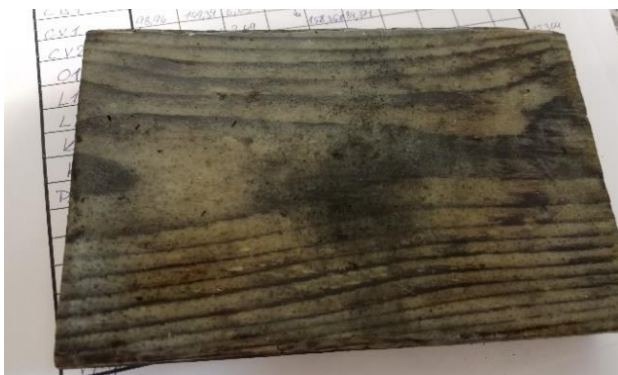
V kapitole 5.1. jsou zaznamenány změny, které byly identifikovány při každém vážení a následné změně RH. Všechny obrázky jsou popisovány zleva směrem doprava.

5.1.1 Klimatizování 17.3.-1.4. 2020 při RH 85%, 22 °C

První viditelné změny na zmíněných vzorcích. Zbytek sady nevykazoval změny pozorovatelné pouhým okem. Jednalo se spíše o uvolnění prutů ve vzorcích, nebo jejich barevné změny.

Tab. 2: Změny na zkušebních vzorcích, sorpce – RH 85%

Ozn.	Materiál	Poškození vzorku	Napadení povrchu
M3	Modřín opalovaný+epoxidový nátěr	zešednutí epoxidu	-
MDF7	Zvukově izolační MDF	odloupnutí ochranné fólie	-
F1	Nanomateriál	pokroucení	-
WPC1	Dřevoplast	pokroucení	-
Vínyl	Vínylová tapeta	pokroucení	-
HPL1	Vysokotlaký laminát	pokroucení	-
Beton	Betonová stěrka na MDF	změna barvy povrchu 5%	-



Obrázek 12: Modřín opalovaný + epoxidový nátěr, zvukově izolační MDF



5.1.2 Klimatizování 1.4.-7.4. 2020 při RH 90%, 22 °C

Tab. 3: Změny na zkušebních vzorcích, sorpce – RH 90%

Ozn.	Materiál	Poškození vzorku	Napadení povrchu
B1	Bambusová podlaha	na nelakované straně	5%
OSB1	OSB/3 deska	bobtnání	plíseň na hranách
OSB2	OSB/3 s protipožární úpr.	bobtnání, oddělení požární ochr.	plíseň na hranách
M3	Modřín opalovaný + epoxidový nátěr	žloutnutí epoxidu	-
O1	Organoid	-	30%
PB1	Dřevotřísková deska P5	mírné bobtnání	-
PB2	Dřevotřísková deska P5 protipožární	mírné bobtnání	-
PW5	Buková překližka + protipožární nátěr	-	5%
PW7	Březová překližka	kroucení	5%
MDF5	Probarvená MDF	podélné trhliny	-
Beton	Betonová stěrka na MDF	změna barvy povrchu 15%	-
PS	Pěnové sklo	podélné trhliny	-
V1	Slámová deska	-	80%



Obrázek 13: Slámová deska, OSB/3 s protipožární úpravou, pěnové sklo, bambusová podlaha



5.1.3 Klimatizování 7.4.-15.4. 2020 při RH 85%, 22 °C, desorpce

Tab. 4: Změny na zkušebních vzorcích, desorpce – RH 85%

Ozn.	Materiál	Poškození vzorku	Napadení povrchu
B1	Bambusová podlaha	na nelakované straně	50%
OSB1	OSB/3 deska	bobtnání	plíseň na hranách
OSB2	OSB/3 s protipožární úpr.	bobtnání, oddělení požární ochr.	plíseň na hranách
M3	Modřín opalovaný + epoxidový nátěr	zezelenání epoxidu	-
O1	Organoid	-	60%
MDF1	MDF	-	plíseň na hranách
MDF3	Lakovaná MDF	-	10%
MDF5	Probarvená MDF	-	plíseň na hranách, 5%
MDF6	Izolační deska MDF	-	60%
MDF7	Zvukově izolační MDF	-	plíseň na hranách
PW5	Buková překližka + protipožární nátěr	mapy protipožárního nátěru	5%
PW8	Voděodolná překližka stavební	vlhké mapy 40%	plíseň na hranách
Beton	Betonová stěrka na MDF	změna barvy povrchu 20%	-
K2	Kompakt	odlesky/vlhké mapy 40%	plíseň na hranách
V1	Slámová deska	výtrusy	100%



Obrázek 14: Buková překližka + protipožární nátěr, voděodolná překližka stavební, slámová deska



5.1.4 Klimatizování 15.4.-22.4. 2020 při RH 80%, 22 °C, desorpce

Tab. 5: Změny na zkušebních vzorcích, desorpce – RH 80%

Ozn.	Materiál	Poškození vzorku	Napadení povrchu
B1	Bambusová podlaha	na nelakované straně	100%
OSB1	OSB/3 deska	výtrusy	plíseň na hranách
MDF3	Lakovaná MDF	výtrusy	10%
MDF7	Zvukově izolační MDF	plíseň v dutinách	plíseň na hranách, 10%
V1	Slámová deska	výtrusy	100%



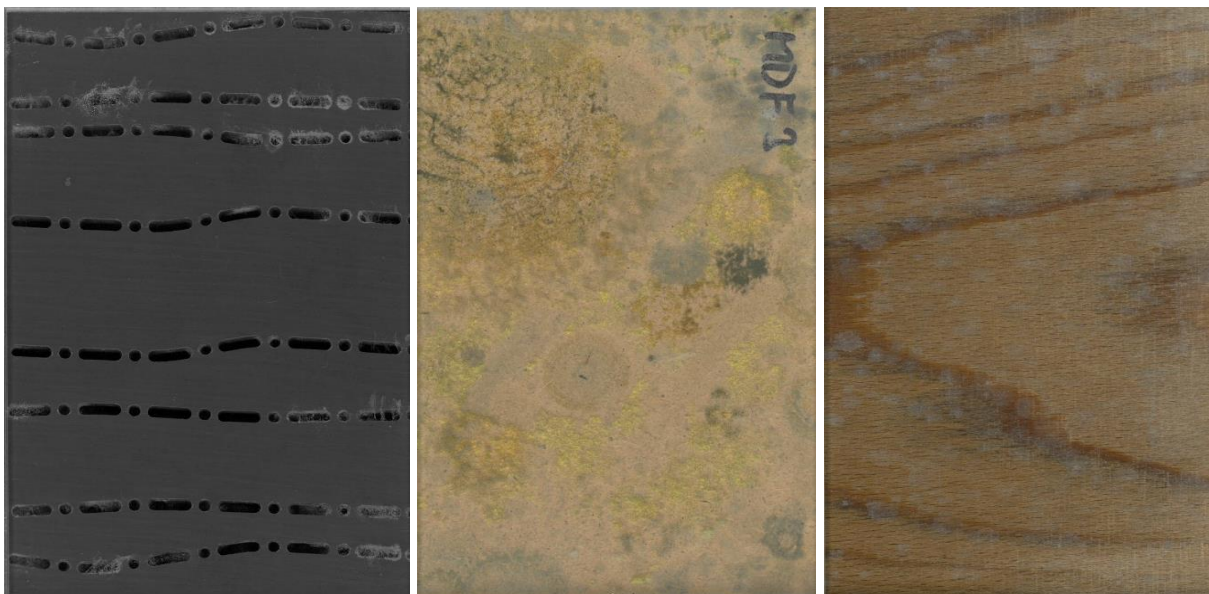
Obrázek 15: Organoid, zvukově izolační MDF, Slámová deska



5.1.5 Klimatizování 22.-25.4. 2020 při RH 90%, 22 °C, sorpce

Tab. 6: Změny na zkušebních vzorcích, sorpce – RH 90%

Ozn.	Materiál	Poškození vzorku	Napadení povrchu
B1	Bambusová podlaha	na nelakované straně výtrusy	100%
OSB1	OSB/3 deska	terčičky s plísní, výtrusy na hraně	5%, 100%
O1	Organoid	-	80%
MDF1	MDF	výtrusy	80%
MDF3	Lakovaná MDF	upravená str., neupravená str.	10%, 100%
MDF5	Probarvená MDF	-	80%
MDF6	Izolační deska MDF	-	80%
MDF7	Zvukově izolační MDF	plíseň v dutinách	plíseň na hranách, 50%
PB2	Dřevotřísková deska P5 protipožární	-	40%
PW5	Buková překližka + protipožární nátěr	mapy protipožárního nátěru	5%
PW7	Březová překližka	-	30%
V1	Slámová deska	obnovení růstu na výtrusech	100%



Obrázek 16: Zvukově izolační MDF, lakovaná MDF (neošetřená strana), buková překližka + protipožární nátěr

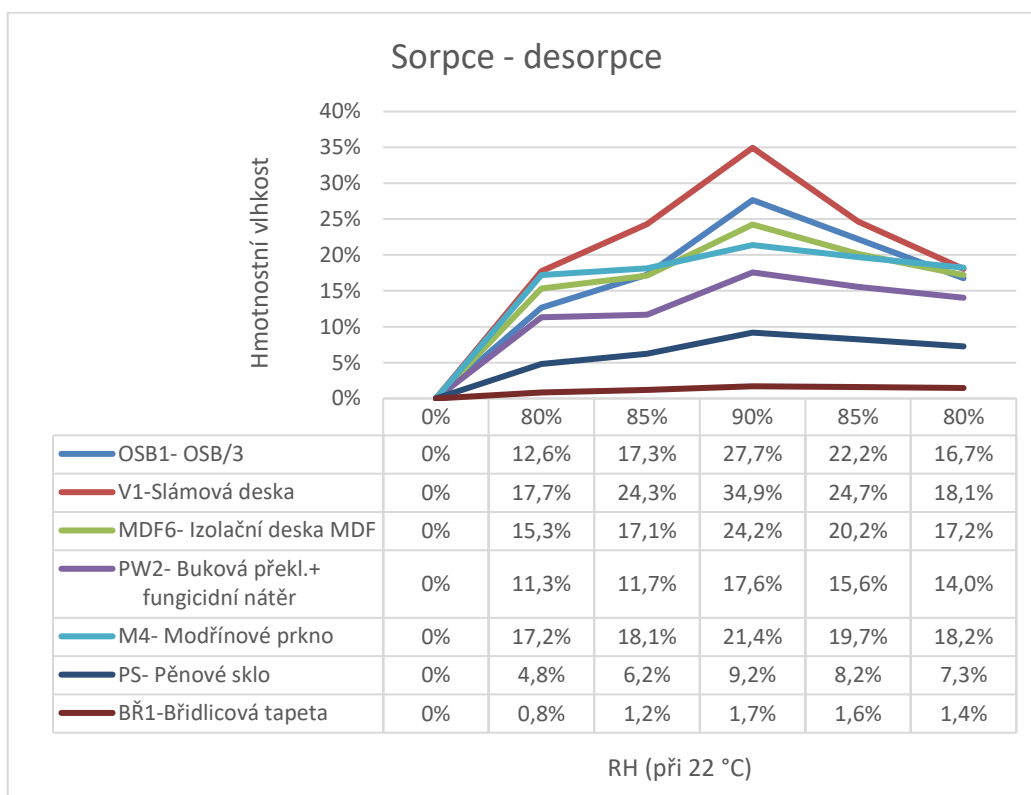
5.2 Sorpce a desorpce během cyklů

S měnící se RH se zároveň zvyšovala vlhkost vzorků a při snížení RH vlhkost klesala. Na tomto chování se projeví povrchové úpravy a způsob výroby, a to z důvodu



uzavřenosti pórů, které omezují rychlost a množství vlhkosti pronikající do materiálu. Pro hodnoty v grafu se vycházelo ze vzorce viz. kap. 3.4.1.

Při počátečním zvýšení RH měly organické materiály podobný průběh, ale při dalším zvýšení si tento gradient udržela pouze slámová deska a OSB/3. U ostatních organických materiálů se růst zpomalil. Při desorpci slámová deska vykazovala vlhkově pružné chování. Její vlhkosti se na shodných hladinách téměř sjednotily. Ostatní organické materiály při desorpci vykazovaly hysterezní chování a nedosáhly na shodné hodnoty při stejné vlhkově hladině. U většiny z nich se lišila dosažená rovnovážná vlhkost o 2 %, u OSB/3 dokonce téměř o 4 %.

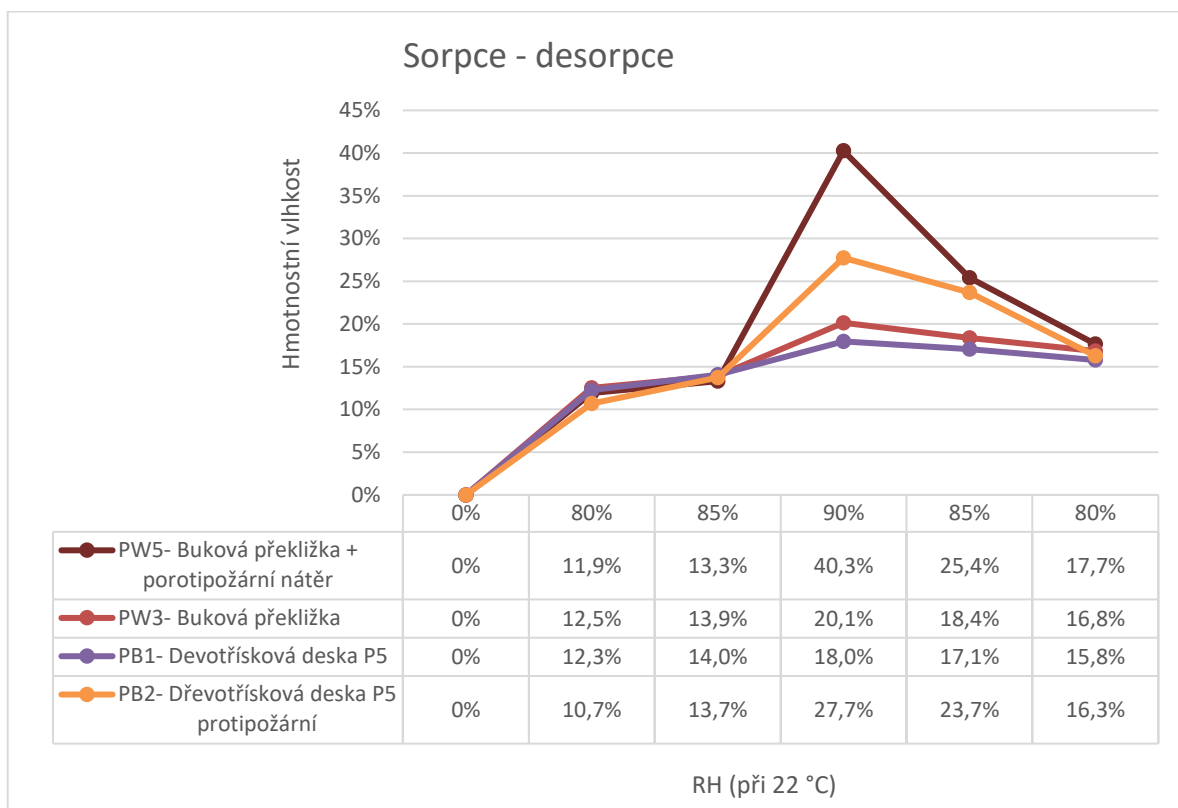


Obrázek 17: Graf znázorňující jednotlivé sorpce-desorpce u vybraných stavebních materiálů



5.3 Vliv protipožárních úprav na vlhkost

Protipožární úpravy a nátěry jsou často velmi hygroskopické a vážou do sebe větší množství vlhkosti než materiály neupravené. Z grafu je patrné, že přírůstek do RH 85% byl téměř shodný u všech čtyř materiálů zobrazených v grafu. Při zvýšení RH na 90 % se projeví protipožární úpravy, které skokově zvýšily hmotnostní vlhkost. Buková překližka s protipožárním nátěrem je schopna pojmout více než dvojnásobek vlhkosti oproti překližce bez úpravy. Podobný průběh vykazovala dřevotřísková protipožární deska oproti desce bez úpravy.



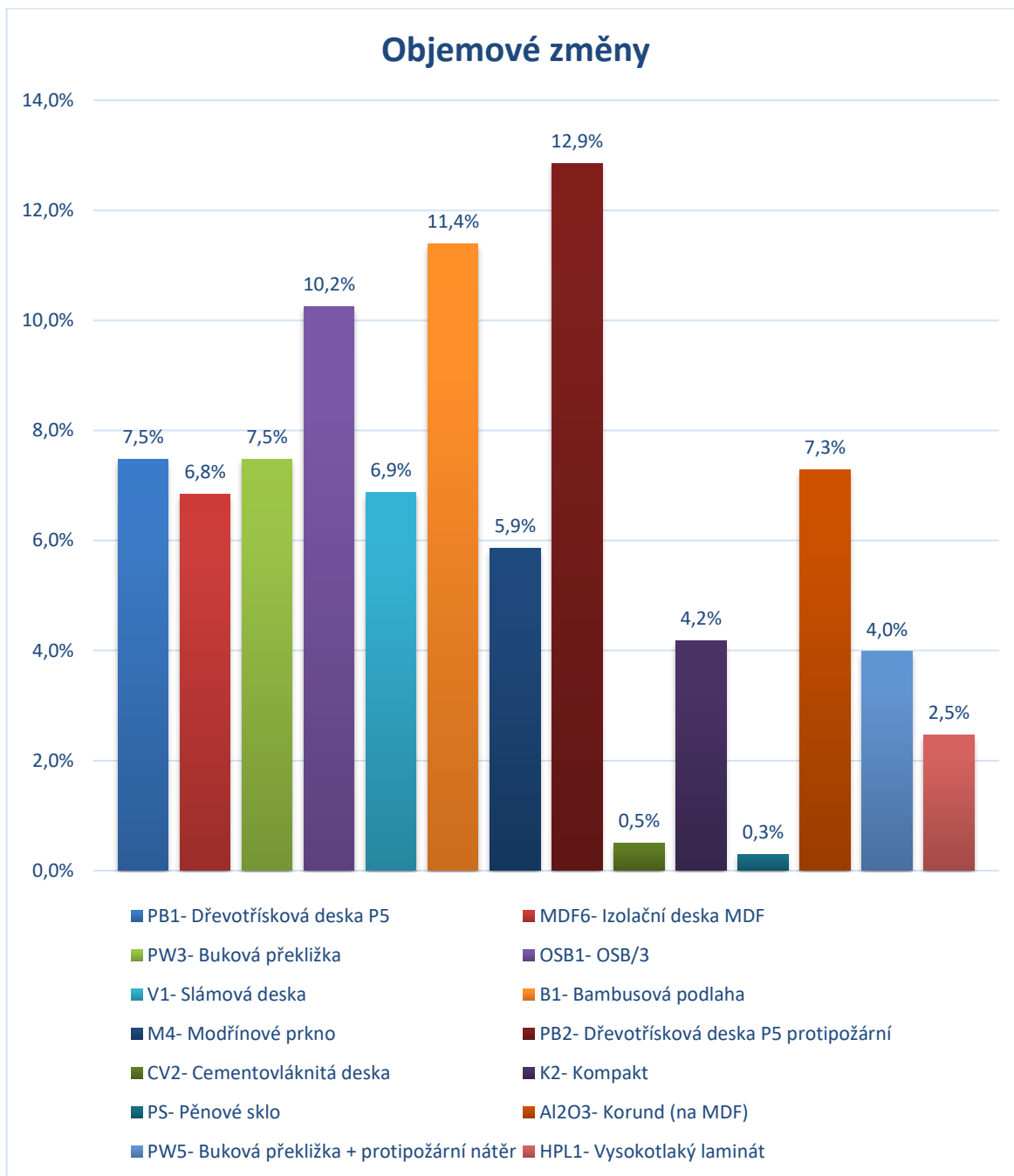
Obrázek 18: Graf vlivu protipožárních úprav na sorpce-desorpce



5.4 Objemové změny

Vycházelo se ze vztahu popsaném v kap. 3.4.1, který vyjadřuje změnu objemu v procentech při nejvyšším nasycení vzorků RH 90% (3. cyklus), vzhledem k rozměrům vzorků po vysušení. Vlivem zvýšené vlhkosti se u aglomerovaných materiálů uvolňuje zbytkové pnutí po lisování při jejich výrobě, a poté jsou jejich objemové změny výraznější než u ostatních materiálů.

Objemové změny se nejvíce projevily na dřevotřískové protipožární desce. Přírůstek byl 13%, který zapříčinila protipožární úprava absorbující velké množství vlhkosti. Lignocelulózová bambusová podlaha, která zvětšila svůj objem téměř o 12 %, a aglomerované materiály jako MDF desky a OSB/3 desky se pohybovaly od 7 % do 11 % v závislosti na míře zhuštění a velikosti dřevní matrice. U překližek není patrný vliv protipožárního nátěru na objemové změny. Na pěnovém skle, nanomateriálu a cementovláknité desce dosáhly objemové změny desetin procent. Jednotlivé rozdíly jsou patrné v grafu na obrázku č. 19.



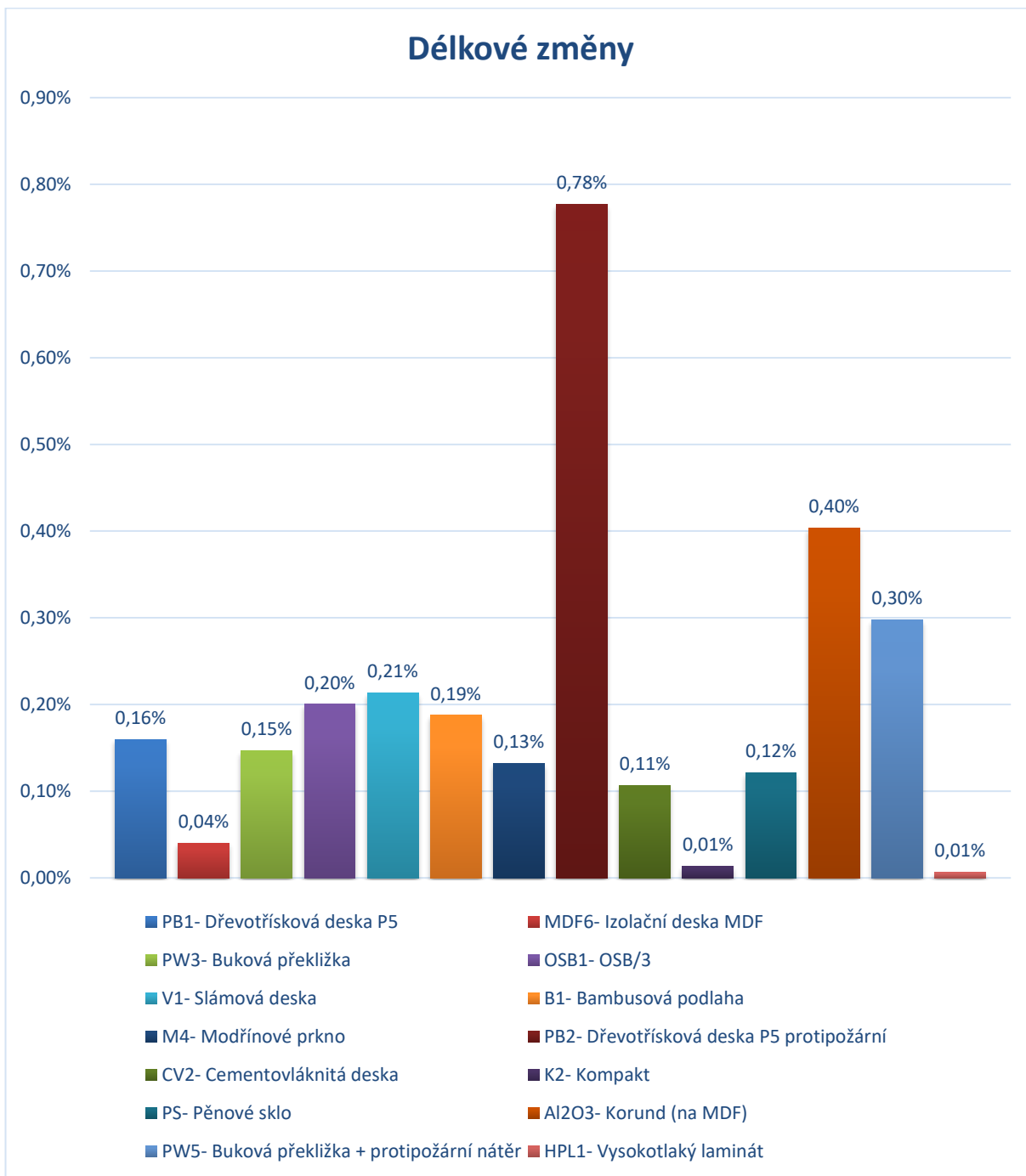
Obrázek 19: Graf objemových změn při maximálním stupni nasycení vzorků



5.5 Délková roztažnost

Objemové změny nejsou až natolik zásadní pro deskové materiály. V centru zájmu stojí spíše změny plošné. V grafu na obr. č. 20 lze jejich průběh podrobněji sledovat. Objemovými změnami více trpí aglomerované materiály kvůli většímu tloušťkovému bobtnání po vysokotlakém lisování, než je tomu u rostlého dřeva nebo překližovaného materiálu. Hodnoty pro graf vycházely z matematického vztahu (viz. kap. 3.4.1).

Z grafu je patrné, že dřevotřísková deska s protipožární úpravou dosáhla výrazně nejvyššího prodloužení 0,78 % z celkové délky, což bylo přisouzeno hygroskopické povrchové úpravě. Poté se projeví nejvíce délkové změny u MDF s Korundovým povrchem. Spíše tedy u MDF, na které je povrchová úprava nanášena 0,4 %. Lignocelulózy se pohybovaly okolo hodnoty 0,2 % délkového přírůstku. Nejméně se délkové změny projeví na kompaktním materiálu a vysokotlakém laminátu a to v setinách procent.



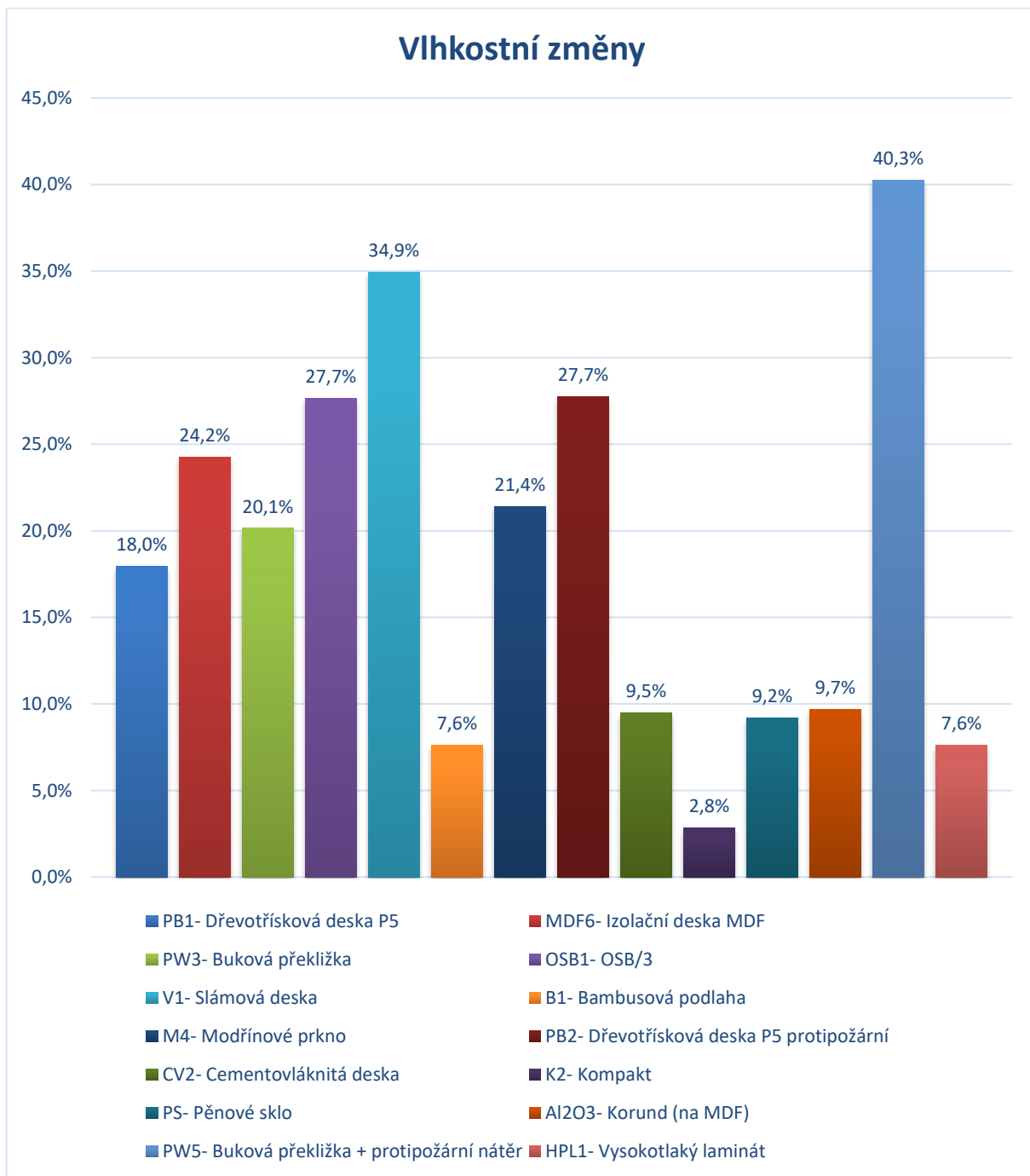
Obrázek 20: Graf délkové roztažnosti vzorků při stupni nejvyššího nasycení vodou



5.6 Vlhkostní změny

Údaje v grafu (viz. obr. č. 21) poukazují na maximální hmotnostní vlhkost, kterou vzorky dokázaly pojmout při hladině RH 90% (3. cyklus). Hodnoty v grafu vycházejí ze vzorce v kap. 3.4.1.

Buková překližka s protipožárním nátěrem pojmula více než 40 % hmotnostní vlhkosti vlivem protipožárního nátěru. Slámová deska díky kapilárním silám dosáhla téměř 35 % hmotnostní vlhkosti. Naproti tomu Kompakt při stejné hladině RH absorboval 20x méně vlhkosti než buková překližka. Bambusová podlaha dosáhla podobných hmotnostních změn jako vysokotlaký laminát, přitom její objemové změny byly téměř 5x větší. Cementovláknitá deska hmotnostně přijala stejné procento vlhkosti jako pěnové sklo (9,5 %, 9,7 %), ale její délkové změny byly 4krát menší, než u pěnového skla.

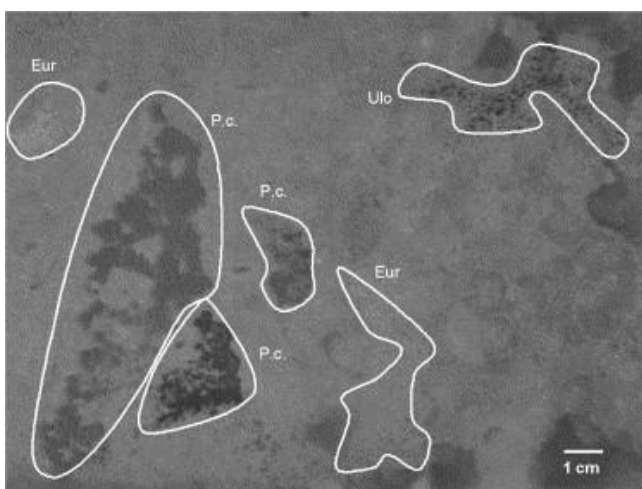


Obrázek 21: Graf vlhkostního přírůstku vzorků při stupni nejvyššího nasycení vodou RH 90%



5.7 Zatřídění dle stupně procentuálního napadení plísní

V této kapitole jsou porovnány všechny materiály (viz. tab. č. 9 a 10), jejichž povrch je klasifikován podle procentuálního napadení plísněmi. Tabulka č. 8 užívaná v českém prostředí vychází z evropských norem ČSN EN 15457. Veškeré zařďování probíhá na základě vizuálního pohledu na vzorek a odhadu velikosti postižených oblastí. V případě nejistoty je možné využít obrazové analýzy.



Obrázek 22: *Obrazová analýza použitá ve studii (Nielsen, K. F. a kol., 2004)*

5.7.1 Obrazová analýza

V několika případech, ve kterých nebylo možné vizuálním posouzením přesně určit procento pokrytí vzorku plísní, byla použita obrazová analýza pomocí software NIS Elements BR (LaboratoryImaging). Naskenované fotografie byly nejprve zkalibrovány pomocí měřítka na distančním rámečku. Poté bylo na základě intenzity provedeno prahování binární vrstvy a následně byla zjištěna plocha napadená plísní. Napadená plocha v mm² se porovnála s celkovou plochou zkušební vzorku a byla vyjádřena v %. Výsledky byly zaznamenány do tabulky stejně jako výsledky získané vizuálním posouzením.

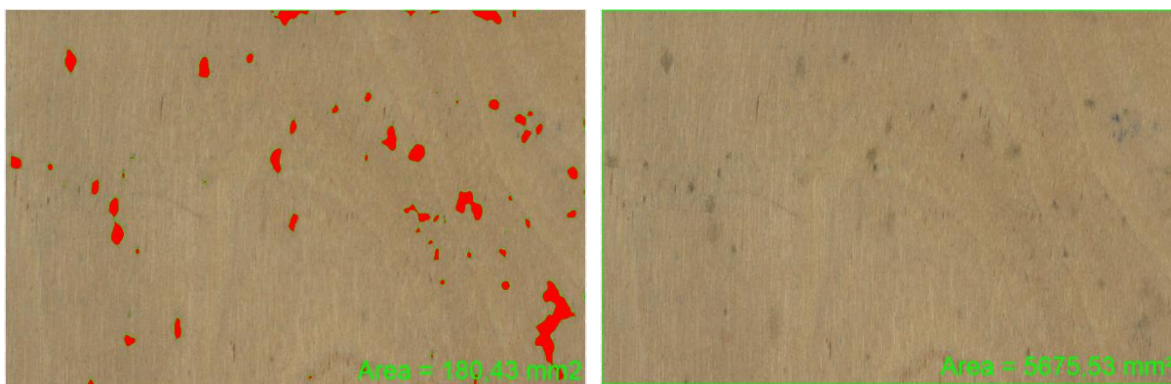


V tab. 7 je znázorněna část tabulky z počítačového programu. Lze z ní zjistit počet nalezených útvarů, jejich prostorovou výraznost, pravidelnost či intenzitu. Nejdůležitější z údajů je však procentuální zastoupení plísní na povrchu (zvýrazněné), ze kterého vypočítáme napadení vzorku pro zatřídění do tabulky. 9, 10.

Tab. 7: Výsledná tabulka ze softwaru pro vyhodnocení obrazové analýzy

Item	Source	FieldID	BinaryID	ObjID	Area [mm ²]	EqDiameter [mm]	Circularity	MeanIntensity
1	PW7-90-2	1	Threshold	1	0,33	0,65	0,744	128,67
2	PW7-90-2	1	Threshold	2	7,78	3,15	0,441	127,78
3	PW7-90-2	1	Threshold	3	1,52	1,39	0,598	126,91
4	PW7-90-2	1	Threshold	4	1,29	1,28	0,504	127,15
5	PW7-90-2	1	Threshold	5	1,06	1,16	0,504	129,07
6	PW7-90-2	1	Threshold	6	7,49	3,09	0,607	126,41

Grafickým výstupem ze softwaru je naskenovaný materiál, na kterém je barevně znázorněná napadená plocha (viz obr. č. 23.), RH 90% (6. cyklus)



Obrázek 23: Grafický výstup z výpočetního softwaru



Tab.8: *Zatřídění vzorků dle procentuální napadení jejich povrchu*

Table B.1 — Rating scheme for designating the percentage area of disfigurements

Rating	Percentage area of disfigurements
0	no growth on the surface of the specimen
1	up to 10 % growth on the surface of the specimen
2	more than 10 % up to 30 % growth on the surface of the specimen
3	more than 30 % up to 50 % growth on the surface of the specimen
4	more than 50 % up to 100 % growth on the surface of the specimen

- 0 – žádný růst plísně na povrchu vzorku
- 1 – do 10% růstu na povrchu vzorku
- 2 – více než 10 % méně než 30 % růstu na povrchu vzorku
- 3 – více než 30 % méně než 50 % růstu na povrchu vzorku
- 4 – více než 50 % méně než 100 % růstu na povrchu vzorku

(ČSN EN 15457, 2015)



Tab. 9: Procentuální napadení povrchů materiálů plísni

Ozn.	Název	Strana	Zatřídění dle napadení					
			80%	85%	90%	85%	80%	90%
M1	Modřínové prkno opalované kartáčované		0	0	0	0	0	1
M2	Modřínové prkno opalované		0	0	0	0	0	1
M3	Modřínové prkno opalované + epoxidový nátěr		0	0	0	0	0	1
M4	Modřínové prkno		0	0	0	0	0	0
B1	Bambusová podlaha	lakovaná	0	0	0	0	0	0
		neuprav.	0	0	1	3	4	4
Bř1	Břidlicová tapeta	břidlice	0	0	0	0	0	0
		asfa.	0	0	0	0	0	0
F1	Nanomateriál		0	0	0	0	0	0
V1	Slámová deska		0	0	4	4	4	4
OSB1	OSB/3		0	0	1	1	1	2
OSB2	OSB/3 s protipožární úpravou	ochrana	0	0	0	1	1	1
		OSB	0	0	0	1	1	1
Beton	Betonová stěrka na MDF	stěrka	0	0	0	0	0	0
		MDF	0	0	0	0	1	1
Č1	Deska z čedičových vláken		0	0	0	0	0	0
CV2	Cementovláknitá deska		0	0	0	0	0	0
O1	Organoid	luční kvítí	0	0	2	4	4	4
		MDF	0	0	0	2	2	2
L1	Trapézová deska z papíru		0	0	0	0	0	0
L2	Voštinová deska + CPL laminát		0	0	0	0	0	0
K2	Kompakt		0	0	0	0	0	0
KV	Vinyl + korek		0	0	0	0	0	0
PS	Pěnové sklo		0	0	0	0	0	0



Tab. 10: Procentuální napadení povrchů materiálů plísní

Ozn.	Název	Strana	Zatřídění dle napadení					
			80%	85%	90%	85%	80%	90%
Al ₂ O ₃	Korund		0	0	0	0	0	0
WPC1	Dřevoplast		0	0	0	0	0	0
P1	Gujak		0	0	0	0	0	0
HPL1	Vysokotlaký laminát		0	0	0	0	0	0
Vínyl	Vinylová fólie		0	0	0	0	0	0
MDF1	MDF		0	0	0	1	1	4
MDF2	MDF P5 s 3D tiskem		0	0	0	0	0	0
MDF3	Lakovaná MDF		0	0	0	1	1	1
MDF4	MDF s kovolaminátem		0	0	0	0	0	0
MDF5	Probarvené MDF		0	0	0	1	1	4
MDF6	Izolační deska MDF		0	0	2	4	4	4
MDF7	Zvukově izolační MDF		0	0	0	1	1	2
PB1	Dřevotřísková deska P5		0	0	0	0	0	1
PB2	Dřevotřísková deska P5 protipožární		0	0	0	0	0	3
PW2	Buková překližka + fungicidní nátěr		0	0	0	0	0	0
PW3	Buková překližka		0	0	0	0	0	2
PW5	Buková překližka + protipožární nátěr		0	0	0	1	1	3
PW7	Březová překližka		0	0	1	1	1	2
PW8	Voděodolná překližka stavební		0	0	0	1	1	1

5.8 Vliv ochranných nátěrů

5.8.1 Fungicidní nátěr (Lignofix)

Prokázal se jako velice účinný. Po celou dobu zhoršených klimatických podmínek buková překližka nevykazovala žádné stopy růstu plísní. Jedná se o vhodné ošetření organického povrchu do prostředí se zvýšenou vzdušnou vlhkostí.

5.8.2 Protipožární nátěr (Pyroplex)

Po dobu zatížení do RH 85% nátěr nevykazoval žádné negativně ovlivňující vlivy na bukovou překližku. Při dalším zvýšení RH na hladinu 90 % se na 70 % povrchu vytvořily bílé mapy. Příčinou byla vysoká hygroskopicita nátěru a její následné vykrystalizování na povrchu překližky. Oproti neošetřené bukové překližce pojmula 2krát více vlhkosti.



Obrázek 24: *Mapy protipožárního nátěru (Pyroplex) na bukové překližce*

5.8.3 Protipožární dřevotřísková deska

Protipožární přísady uvnitř dřevotřískové desky vykazovaly také vysokou hygroskopicitu. Oproti neupravené desce přijala upravená deska o 7,6 % více hmotnostní vlhkosti. Rozdílné množství objemu vody ve vzorku se projevilo také na jeho nabobtnání o 5,4 % větším než u desky bez úprav. To také mělo za následek větší náchylnost vůči plísním na rozdíl od neošetřené desky.

5.8.4 Opálený modřín, kartáčovaný s epoxidovým nátěrem

Zkarbonizovaný povrch s epoxidovým nátěrem byl při vystavení zvýšené vlhkosti barevně nestálý. Po prvním cyklu (RH 80%) došlo ke změně barvy a degradaci opáleného povrchu pod epoxidovým nátěrem. Takové změny byly pozorovatelné po celou dobu zkoušky, při které se barva měnila z šedo-bílé na žluto-šedou. Také se při RH 80% začalo tvořit uprostřed vzorku ložisko plísně, které ale nepřešlo ve výraznější růst. Kombinace těchto úprav se jevila jako nevhodně zvolená pro prostředí se zvýšenou vlhkostí. Průběh barevných změn dle jednotlivých hladin RH lze pozorovat na obr. č. 35.



5.8.5 Opálený modřínový povrch, kartáčovaný + Iněný olej

Úprava zuhelnatěním se neprojevila nijak kladně. Naopak, v posledním cyklu, ve kterém se skokově zvýšila RH na 90 % po dobu 7dní, došlo k tvorbě malých ložisek plísně, která nepřekročila více než 10 % povrchu. Modřín bez úpravy nejevil žádné změny.

5.8.6 Polyuretanový podlahový lak

Strana ošetřena tvrzeným lakem nevykazovala po celou dobu zkoušky žádné napadení. Neošetřené hrany a spodní strana podlahy při RH 90% byly napadeny do 10 %. Po snížení RH se razantně zvýšilo procentuální zastoupení plísně na povrchu (RH 85% (desorpce) – 50%, RH 80% (desorpce) – 100%). I při skokovém zvýšení RH v posledním cyklu zůstal lak naprosto rezistentní (viz. obr. č. 37.).

5.8.7 Povrch s lučným kvítím

Luční kvítí na podkladu z MDF při RH 90% byl napaden z 30 % povrchové úpravy. Při následných desorpcích byl povrch pokryt z 60 %, po sléze až z 80 %. Tento povrch je sice velice estetický, ale zároveň choulostivý vzhledem ke zvýšené RH. Průběh růstu plísní lze pozorovat na obr. č. 36.

5.9 Powlakové úpravy

5.9.1 Protipožární povrchová úprava na OSB/3 (Firestop)

Cementová směs MgO (oxid hořečnatý) spolu se skelnou vložkou tvoří protipožární ochranu, která by měla vykazovat i vyšší odolnost vůči vlhkosti. Po třetím zatěžovacím stavu RH 90% došlo k oddělení protipožární ochrany od podkladu minimálně z 60 %.



Nadále už k žádným změnám nedocházelo, jelikož pnutí mezi dvěma rozdílnými povrchy bylo uvolněno.



Obrázek 25: Oddělení protipožární vrstvy na vzorku OSB/3 s protipožární úpravou

5.9.2 Kovolaminát na MDF

Kovolaminátový povrch se prokázal jako vhodný pro vystavení zvýšené vlhkosti, nejevil žádné známky napadení plísní. Drobná ložiska se projevila pouze na jeho hranách, kde byla nosná část MDF v kontaktu s vlhkostí.

5.9.3 Betonová stěrka na MDF

Betonová stěrka se ve vlhkém prostředí projevila jako barevně nestálá. Při RH 80% (viz. obr. 26) (sorpce) se na jejím povrchu objevily žluté skvrny. Ty se zvyšující vlhkostí zvýšili své procentuální zastoupení na povrchu. Při desorpcích se jimi zastoupená plocha nijak nezmenšoval, ale ani nezvětšovala.



Obrázek 26: Zabarvení betonové stěrky při RH 85%

5.10 Konstrukční materiál

5.10.1 Rostlé dřevo

Modřínová prkna, gujak (exotická dřevina), se s podmínkami vypořádaly velice dobře. Na jejich povrchu nebylo patrné napadení plísněmi. Jejich objemové změny se pohybovaly mezi 6-7 % s hmotnostním přírůstkem vlhkosti při maximálním nasycení 16-21 %.

5.10.2 Lignocelulózové materiály

Na bambusové podlaze bez úprav, se objevily při RH 90% první terčíky s plísní. Při přechodu na nižší hladinu RH proces dále pokračoval a plíseň se rozrostla na 50 %, dále až na 100 % povrchu a začala tvořit výtrus.

Slámová deska měla vůbec nejhorší výsledky. Při RH 90% (3. cyklus) byl její povrch porostlý plísní z více než 50 % (v předešlém cyklu RH 80% (sorpce), byl povrch zcela bez známek plísně). U následujících desorpcí se zvýšilo napadení na celou plochu



materiálu a plísně začaly tvořit výtrusy. Celý průběh pokusu je zdokumentovaný v příloze viz. obr. č. 34.

5.10.3 Organické desky

Slámová deska, Organoid (MDF + luční kvítí), izolační deska MDF a bambusová podlaha (neošetřená) svou vysokou nasákavostí dosáhly na nejvyšší hodnocení v tabulce při určení procentuálního napadení plísní. I přesto, že vzorky nedisponovaly nejvyšším objemem pohlcené vlhkosti, průběh růstu plísní byl u nich jednoznačně největší.

5.10.4 MDF desky

U desek tvořených z dřevěných vláken byla rozhodující povrchová úprava a objemová hmotnost. Desky s nízkou objemovou hmotností pohltily více vlhkosti. Například u izolační desky MDF, u které je její objemová hmotnost téměř 5krát nižší než u MDF, byl rozdíl větší než 7 % hmotnostního objemu vody.

5.10.5 Překližkové desky

Překližkové desky byly bez rozdílu porostlé plísněmi na neošetřených hranách. Velkou roli hrály povrchové úpravy, které fungicidní nátěry ochránily velice spolehlivě. Také se prokázal rozdíl mezi měkkým a tvrdým dřevem. Březová překližka při posledním zvýšení RH na 90 % byla více postižena než buková překližka (viz. obr. 27).



Obrázek 27: Vyznačená lokální ložiska na březové překližce, buková překližka bez napadení RH 90% (6. cyklus)

5.10.6 Rezistentní materiály

Trapézová papírová deska, voštinová deska s CPL laminátem, kompozit, vinyl, pěnové sklo, korund, dřevoplast, vysokotlaký laminát a kovolaminát nejevily po žádném z cyklů známky napadení plísní.

5.11 Vliv umístění vzorků v klimatizační komoře

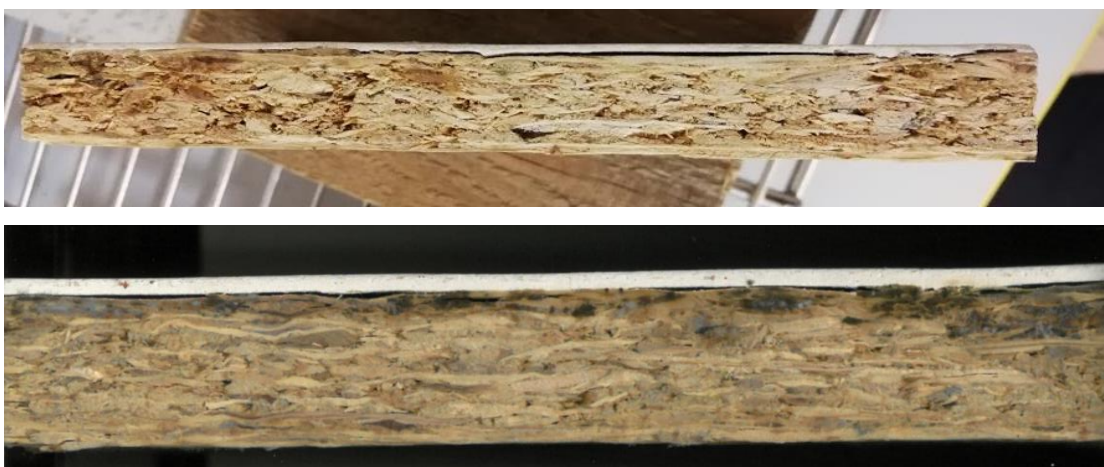
Umístění vzorků mělo velký vliv na napadení jejich hran, přičemž hrany vrchní byly u vzorků vždy jako první a více napadeny než hrany spodní. Vše je demonstrováno na vzorku OSB/3 s protipožární úpravou.

Na obr. 28 jsou zachyceny shodné hrany v rozdílných fázích zkoušky. První hrana je vyobrazena při RH 90% (3. cyklus), druhá hrana je vyobrazena z RH 90% (6. cyklus). Jedná se o horní hranu materiálu, která dokládá větší náchylnost ke vzniku plísní.



Obrázek 28: Horní hrana OSB/3 s protipožární úpravou RH 90% (3. cyklus), RH 90% (6. cyklus)

Na obr. 29 jsou zachyceny shodné hrany, v rozdílných fázích zkoušky. První hrana je při RH 90% (3. cyklus), druhá hrana je vyobrazena z RH 90% (6. cyklus). Jedná se o spodní hranu materiálu, čímž se dokládá jejich menší náchylnost ke vzniku plísní.



Obrázek 29: Spodní hrana OSB/3 s protipožární úpravou RH 90% (3. cyklus), RH 90% (6. cyklus)



6 Závěr

Po vystavení vzorků pěti cyklům zvýšené vlhkosti z vybrané skupiny materiálů se nejhůře se zvýšenou vlhkostí vypořádaly materiály na bázi dřeva. První viditelné napadení plísní se projevilo při RH 90% na hranách dřevovláknitých a dřevotřískových desek, poté u překližek, plošně u slaměných povrchů (viz. příloha obr. 34, 36) a méně zkomprimovaných MDF. Růst i se snižujícím RH u vzorků nadále pokračoval, je tedy důležité se na stavbě takto vysokým vlhkostem zcela vyhnout.

Dřevěné masivní povrchy jako gujak a modřín se prokázaly jako velice vhodné a po celou dobu nebyly patrné změny. Zástupcem měkkých rychle rostoucích dřevin je bambusová podlaha. Ta díky svým kapilárním silám pojmula velké množství vlhkosti a její povrch byl na konci testu z více než 90 % pokryt plísní (viz. příloha obr. 37).

Cementovláknité desky se ukázaly jako velice vhodné pro použití ve vlhkém prostředí. Zejména jejich objemová stálost a délková roztažnost, při RH 90% (3. cyklus). Zvýšená vlhkost se projevila v podobě lokálních vlhkých map.

Povrchy a materiály na bázi kamene, umělé hmoty, kovový povrch, pěnové sklo, kompozit a čedičové vláknité desky nejevily žádné napadení plísní.

Vlhkostní změny: Nejvíce hmotnostní vlhkosti pojal materiály na bázi dřeva a to mezi 15-35 %, naopak nejméně umělé materiály, minerální materiály a kompozit. Jejich hmotnost se zvyšovala v jednotkách procent. Vlhkostní změny výrazně ovlivnily požární úpravy, které svou hygroskopicitou dosáhly největších hmotnostních přírůstků vlhkosti. Upravená buková překližka oproti bukové překližce bez úprav více než dvojnásobně. Dřevotřísková deska téměř o 10 % oproti desce neupravené.

Objemové změny: Ty nebyly přímo úměrné hmotnostnímu přírůstku vlhkosti. Nejvíce na vlhkost reagovala dřevotřísková deska s protipožární úpravou (12,9 %) a



bambusová podlaha (11,4 %). Změna objemu překližek a rostlého dřeva se pohybovala okolo 6 %, u aglomerovaných desek mezi 7-11 %v závislosti na míře zhuštění a velikosti dřevní matrice. Voštinová deska s laminátem, nanomateriál, pěnové sklo a cementovláknitá deska v desetinách procent.

Povrchové úpravy: Kombinace zkarbonizovaného povrchu s epoxidovým nátěrem byla při vystavení zvýšené vlhkosti barevně nestálá. Po prvním cyklu (RH 80%) došlo ke změně barvy (viz. příloha obr. 35). Dekorativní povrch z lučního kvítí byl po ukončení zkoušek napaden plísní více než z 80 % povrchu. Kovolaminát, vinyl a polyuretanový lak se ukázal jako rezistentní vůči růstu plísně (viz. příloha obr. 36). Polyuretanový lak na bambusové podlaze se velice osvědčil, i téměř přes 90% napadení neošetřených povrchů a hran zůstala ošetřená strana bez ložisek plísně (viz. příloha obr. 37).

Fungicidní přípravek: Přípravek aplikovaný na bukové překližce se prokázal jako účinný. Na rozdíl od neošetřeného materiálu byl na konci zkoušek bez ložisek plísně.

Protipožární ochrana: Cementová směs MgO (oxid hořečnatý) spolu se skelnou vložkou na OSB desce se po prvních dvou cyklech (sorpce RH 85%) oddělila z 60 % od podkladu (viz. obr. 25). Protipožární ochrany v podobě nátěrů se také neprojeví kladně. Kvůli své vysoké hygroskopicitě materiály pojalý daleko větší množství vody. Protipožární nátěr na bukové překližce následně vytvořil solné výkvěty na jejím povrchu (viz. obr. 14, 24). U protipožární dřevotřískové desky měl za následek výrazné napadení při závěrečném prudkém zvýšení RH na 90 %. Žádná z použitých protipožárních úprav by neměla přijít do kontaktu s vyšší hladinou RH.

Akustická perforace: Perforace se začaly při desorpci RH 80% plnit plísní a při skokovém zvýšení RH na 90 % došlo k silnému růstu plísní. Z materiálu by bylo těžké po zasanování na stavbě odstranit ložiska plísně, kvůli jeho geometrické složitosti. (viz. obr. 16)



7 Citovaná literatura

Adan, O., Brocken, H., Carmeliet, J., Hens, H., Roels, S., & Hagentoft, C. E. (2004). Determination of liquid water transfer properties of porous building materials and development of numerical assessment methods: introduction to the EC HAMSTAD project. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 27(4), 253-260.

Airaksinen, M., Kurnitski, J., Pasanen, P., & Seppänen, O. (2004). Fungal spore transport through a building structure. *Indoor air*, 14(2), 92-104.

Ayerst, G. (1969). The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi. *Journal of Stored Products Research*, 5(2), 127-141.

Bellia, L., & Minichiello, F. (2003). A simple evaluator of building envelope moisture condensation according to an European Standard. *Building and Environment*, 38(3), 457-468.

Brettschneider B., časopis Forbes 2018, [cit. 16.5.2020]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/brianbrettschneider/2018/08/23/oh-the-humidity-why-is-alaska-the-most-humid-state/#62834302330c>

Brunekreef, B., Dockery, D. W., Speizer, F. E., Ware, J. H., Spengler, J. D., & Ferris, B. G. (1989). Home Dampness and Respiratory Morbidity in Children 1-4. *Am Rev Respir Dis*, 140, 1363-1367.

Časopis Shousugiban 2020, [cit. 18.5.2020]. Dostupné z: shousugiban.com/shousugi-ban-101/

Department of Health, Human Services, Washington, DC., & Healthy People 2010 (Group). (2000). *Healthy people 2010: Understanding and improving health*. US Department of Health and Human Services.



Ebner, D., Stelzer, R., & Barbu, MC (2019). Studium karbonizace dřevěných povrchů pomocí tradiční japonské techniky Yakisugi. *Pro Ligno* , 15 (4), 278-283.

Gordon, W. A., Johanning, E., &Haddad, L. (1999). Cognitiveimpairmentassociatedwithexposure to toxigenicfungi. *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Healtheffects, Assessment, Prevention and Control. Eastern New York Occupational&EnvironmentalHealth Center, New York*, 94-98.

Gravesen, S., Frisvad, J. C., & Samson, R. A. (1994). *Microfungi* (No. Ed. 1). Munksgaard International Publishers Ltd.

Gravesen, S., Nielsen, PA, Iversen, R., &Nielsen, KF (1999). Mikrofungální kontaminace vlhkých budov - příklady rizikových konstrukcí a rizikových materiálů. *Perspektivy zdraví životního prostředí* , 107 (dodatek 3), 505-508.

Heřmánková V., Anton O., Komárková T., VUT Brno (2018), [cit.15.5.2020]. Dostupné z:<https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/16872-zavislost-fyzikalnich-a-mechanickykh-vlastnosti-konstrukcniho-smrkoveho-dreva-na-vlhkosti>

Hodgson, M. J., Morey, P., Leung, W. Y., Morrow, L., Miller, D., Jarvis, B. B., ... &Storey, E. (1998). Building-AssociatedPulmonaryDiseaseFromExposuretoStachybotryschartarum and Aspergillusversicolor. *JournalofOccupational and EnvironmentalMedicine*, 40(3), 241-249.

Hunter, C. A., Grant, C., Flannigan, B., &Bravery, A. F. (1988). Mould in buildings: the air spora ofdomesticdwellings. *International biodeterioration*, 24(2), 81-101.

Kilian, T. (2014). Shou-Sugi-Ban. *Wood Design &Building*, 42-44.

Johansson, P., Ekstrand-Tobin, A., Svensson, T., & Bok, G. (2012). Laboratory study to determinethecriticalmoisture level formouldgrowth on buildingmaterials. *International Biodeterioration&Biodegradation*, 73, 23-32.



Lacey, J., Hill, S. T., & Edwards, M. A. (1980). Micro-organisms in stored grains: their enumeration and significance. *Tropical Stored Products Information*, (39), 19-33.

Leardini, P., & de Groot, H. (2010, November). Indoor Air Quality and Health in New Zealand's Traditional Homes. In *Proceedings of the 44th Annual Conference of the Australian and NZ Architectural Science Association, Auckland, New Zealand* (pp. 24-26).

Mao, S., Kan, A., & Wang, N. (2020). Numerical analysis and experimental investigation on thermal bridge effect of vacuum insulation panel. *Applied Thermal Engineering*, 169, 114980.

Matovič, A. (1993). *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva: určeno pro posl. lesnické fak., obor dřevařský a lesnický*. Vysoká škola zemědělská.

Nielsen, K. F., Holm, G., Uttrup, L. P., & Nielsen, P. A. (2004). Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54(4), 325-336.

Purokivi, M. K., Hirvonen, M. R., Randell, J. T., Roponen, M. H., Meklin, T. M., Nevalainen, A. I., ... & Tukiainen, H. O. (2001). Changes in pro-inflammatory cytokines in association with exposure to moisture-damaged building microbes. *European Respiratory Journal*, 18(6), 951-958.

Ryparová, P., Wasserbauer, R., & Rácová, Z. (2016). The cause of occurrence of microorganisms in civil engineering and the dangers associated with their growth. *Procedia Engineering*, 151, 300-305.

Schwarzer, J. Teorie vlhkého vzduchu (I). *Tzbinfo [online]. [cit. 2012-01-07]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>.*



Sun, Y., Hou, J., Cheng, R., Sheng, Y., Zhang, X., & Sundell, J. (2019). Indoor air quality, ventilation and their associations with sick building syndrome in Chinese homes. *Energy and Buildings*, 197, 112-119.

Thach, T. Q., Mahirah, D., Dunleavy, G., Nazeha, N., Zhang, Y., Tan, C. E. H., ... & Car, J. (2019). Prevalence of sick building syndrome and its association with perceived indoor environmental quality in an Asian multi-ethnic working population. *Building and Environment*, 166, 106420.

Xie, Y., Hill, C. A., Jalaludin, Z., Curling, S. F., Anandjiwala, R. D., Norton, A. J., & Newman, G. (2011). The dynamic water vapour sorption behaviour of natural fibres and kinetic analysis using the parallel exponential kinetics model. *Journal of Materials Science*, 46(2), 479-489.

Normy:

ČSN EN 717-1- Desky ze dřeva - Stanovení úniku formaldehydu- Část 1: Emise formaldehydu komorovou metodou, vydáno 5.2005

ČSN EN 318- Desky ze dřeva - Stanovení rozměrových změn v závislosti na změnách relativní vlhkosti vzduchu, vydáno 1. 2003

ČSN EN 1995-1-1- Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla- Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, vydáno 12.2006

ČSN EN 15457- Nátěrové hmoty-Laboratorní metoda zkoušení účinnosti konzervačních prostředků v nátěru proti působení hub a plísní, vydáno 1.2015

ČSN 73 1702- Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, vydáno 11.2007



8 Přílohy

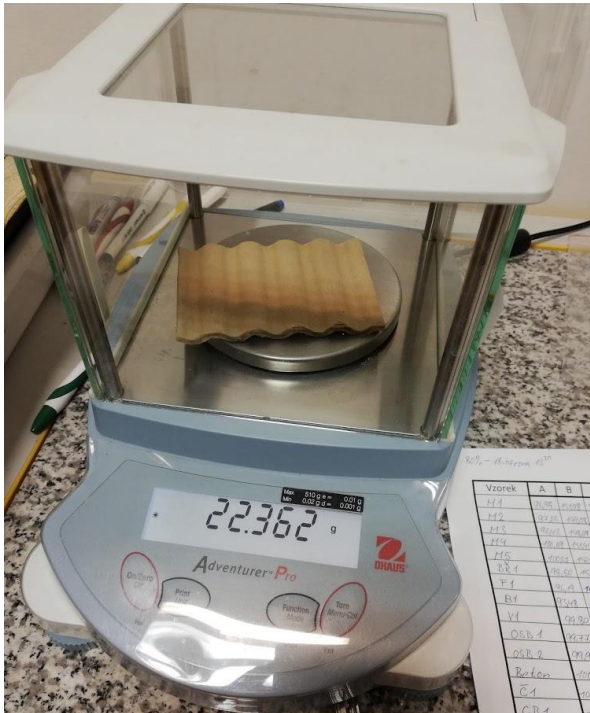
Měřicí zařízení



Obrázek 30: Posuvné měřidlo



Obrázek 31: Klimatizační komora



Obrázek 32: Laboratorní váha

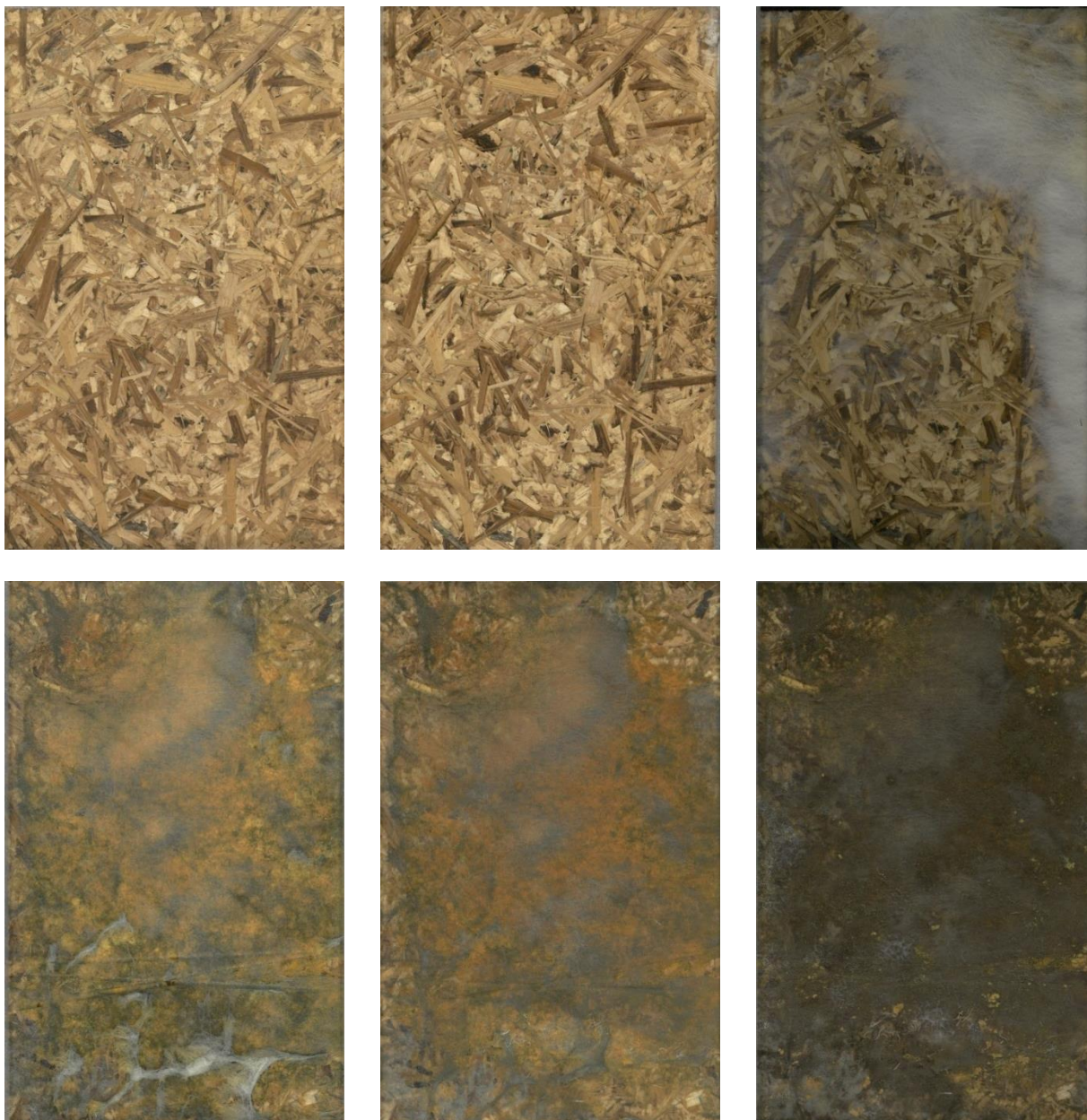


Obrázek 33: Skenování vzorků na distančním rámečku



V1- Slámová deska

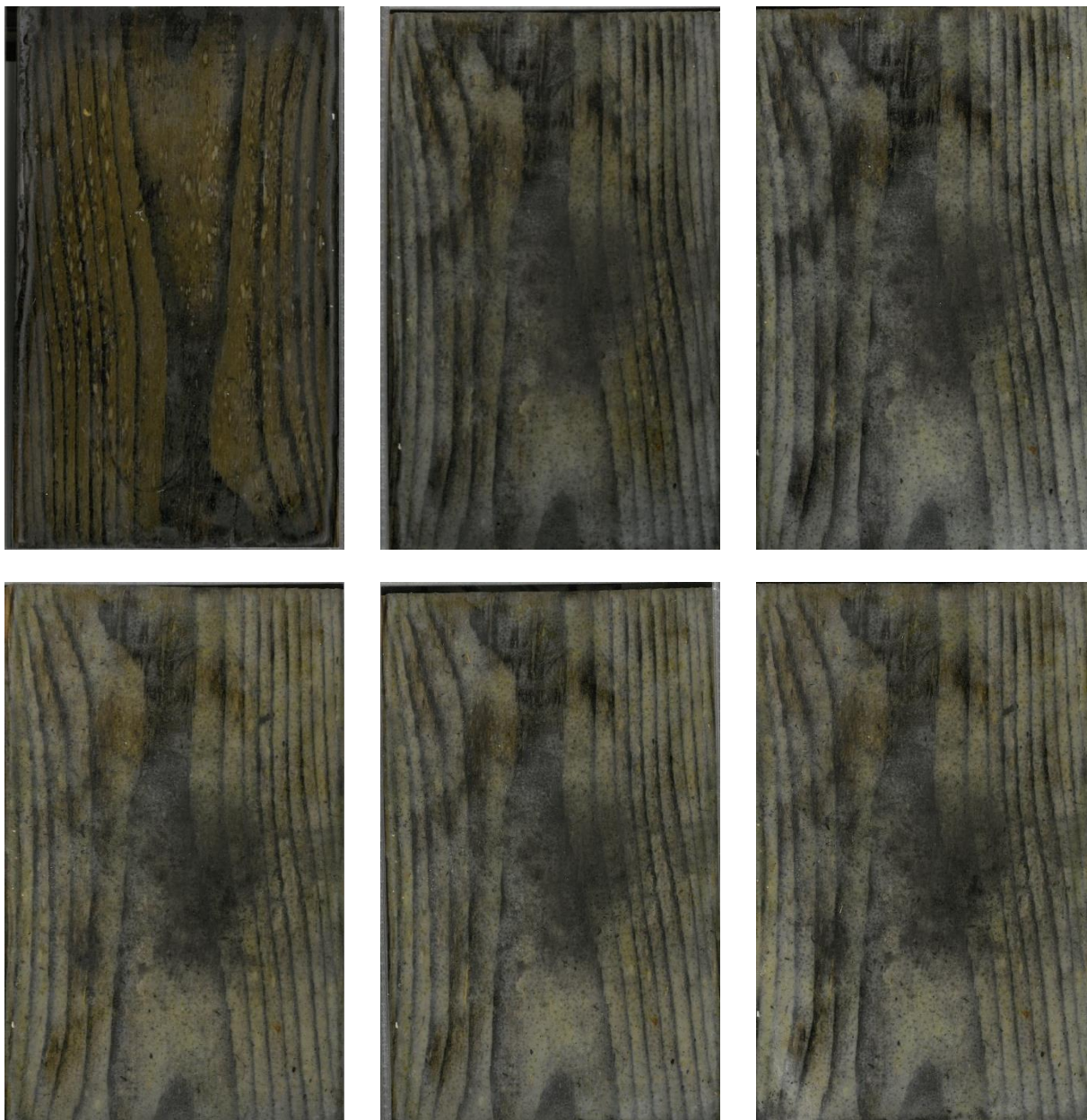
Popis obrázků je veden zleva doprava a shora dolů.



Obrázek 34: V1 – Slámová deska, RH: (0%, 85%, 90%, 85% (desorpce), 80%(desorpce), 90%)



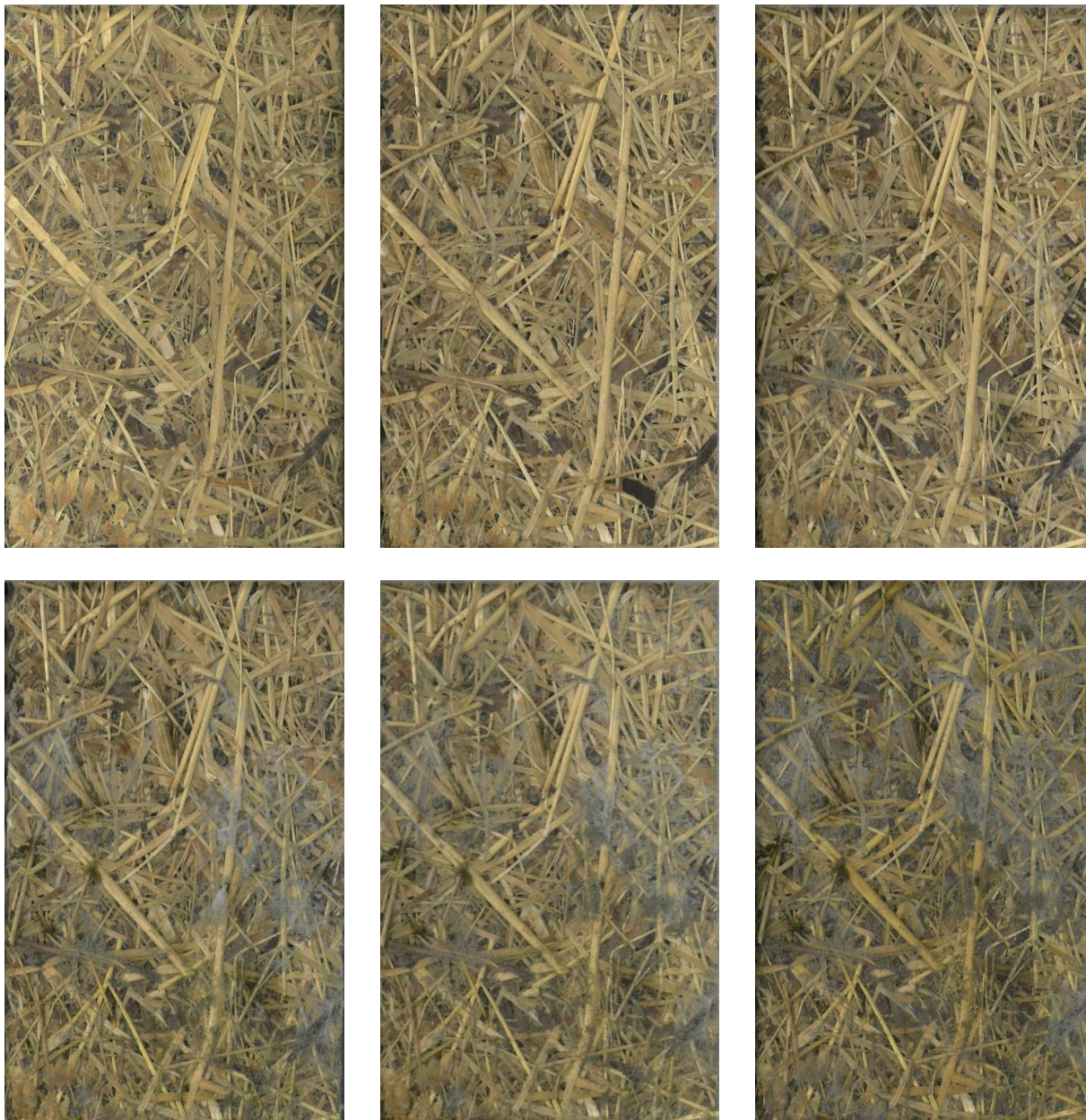
M3 – Modřínové prkno opalované + epoxidový nátěr



Obrázek 35: M3 – Modřínové prkno opalované + epoxidový nátěr, RH: (0%, 85%, 90%, 85% (desorpce), 80% (desorpce), 90%)



O1 - Organoid- MDF P5 deska s povrchem z lučních travin



Obrázek 36: O1 – Organoid, RH: 0%, 85%, 90%, 85%(desorpce), 80%(desorpce), 90%



B1- Bambusová podlahová deska

Rozdíl při ošetření čelní strany lakem od výrobce. Lakovaná strana je na 1.obrázku zleva a na obrázku posledním.



Obrázek 37: B1 – Bambusová podlaha: Rh: 0% (čelní str.), 90%, 85% (desorpce), 80% (desorpce), 90%, 90% (čelní str.)