



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Ústav technologie stavebních hmot a dílců

Institute of Technology of Building Materials and Components

Ovlivnění vlastností stavebních materiálů s organickým plnivem změnami vlhkosti

Influence of humidity changes to properties of building materials with organic filler

Bakalářská práce

Bachelor's thesis

AUTOR PRÁCE

Silvestr Vasas

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

doc. Ing. JIŘÍ BYDŽOVSKÝ, CSc.

SUPERVISOR

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Silvestr Vasas
Název	Ovlivnění vlastností stavebních materiálů s organickým plnivem změnami vlhkosti
Vedoucí práce	doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.

Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

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

ČSN EN 633 Cementotřískové desky - Definice a klasifikace.

ČSN EN 634-1 Cementotřískové desky - Specifikace - Část 1: Všeobecné požadavky.

ČSN EN 634-2 Cementotřískové desky - Specifikace - Část 2: Požadavky pro třískové desky spojené portlandským cementem pro použití v suchém, vlhkém a venkovním prostředí.

CHYBÍK, Josef. Přírodní stavební materiály. Praha: Grada Publishing, 2009, ISBN 978-80-247-2532-1.

BODNÁROVÁ, Lenka. Kompozitní materiály ve stavebnictví. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, ISBN 80-214-2266-1.

CAPRAI, V., GAUVIN, F., SCHOLLBACH, K., BROUWERS, H.J.H. Influence of the spruce strands hygroscopic behaviour on the performances of wood-cement composites, Construction and Building Materials, Volume 166, 2018, str. 522-530, ISSN 0950-0618.

FAN, M.Z., BONFIELD, P.W., DINWOODIE, J.M., BOXALL, J., BREESE, M.C. Dimensional instability of cement-bonded particleboard: The effect of surface coating, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 7, 2004, str. 1189-1197, ISSN 0008-8846.

www.sciencedirect.com

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce bude zaměřena na problematiku především rozměrových změn materiálů v souvislosti s vlhkostí okolního prostředí, v němž se nachází.

V rámci teoretické části práce provedte rešerši poznatků, týkajících se vlivu kolísání vlhkosti na rozměrové změny i jiné vlastnosti stavebních materiálů, se zaměřením na deskové prvky obsahující organické plnivo.

Na základě rešerši provedte v praktické části práce souhrn poznatků, jejich vyhodnocení, a návrh experimentu pro ověření vlivu změn vlhkosti na změny rozměrů deskového materiálu. Experimentální ověření bude zahrnovat laboratorní měření na cementotřískových deskách, jež jsou typickým zástupcem deskových stavebních materiálů s organickým plnivem.

Získané poznatky z teoretické i praktické části, včetně experimentálního ověření, budou v závěru práce vyhodnoceny a interpretovány.

Předpokládaný rozsah bakalářské práce 40 – 50 stran.

Struktura bakalářské práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Práce je zaměřena problematiku rozměrových změn stavebních materiálů s obsahem organického plniva, v souvislosti se změnami vlhkosti okolního prostředí, v němž se daný materiál nachází. Rešerše poznatků především z vědecké odborné literatury prokázaly výrazný vliv vlhkosti na objemové i hmotnostní změny jak dřeva samotného, tak dřeva cementových kompozitů. Podstatná je v tomto ohledu úprava dřeva (termická, chemická atd.), případně povrchové ošetření finálního dřeva cementového kompozitu (nátěrovým systémem, impregnací atd.) pro omezení míry změn vlivem působení okolní vlhkosti.

Experimentální laboratorní posouzení rozměrových i hmotnostních změn prokázalo soulad s teoretickými poznatky, a rozšířilo je o upřesnění vlivu na jednotlivé rozměry. Bylo prokázáno odlišné chování cementotřískových desek z hlediska jejich hygroscopicity, kdy byly analyzovány změny na deskách povrchově ošetřených nátěrovým systémem a na deskách bez úpravy povrchu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Cementotřískové desky, kompozitní materiály, dřevo, tříska, využití, stavební hmoty

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the issue of dimensional changes of building materials containing organic filler, in connection with changes in the humidity of the environment in which the material is located. Searches of knowledge, especially from the scientific literature showed a significant effect of moisture on volume and weight changes of both wood itself and wood of cement composites. In this respect, the treatment of wood (thermal, chemical, etc.) or the surface treatment of the final wood of the cement composite (coating system, impregnation, etc.) is essential to reduce the rate of change due to ambient humidity.

Experimental laboratory assessment of dimensional and mass changes proved compliance with theoretical knowledge and extended them by specifying the effect on individual dimensions. The different behavior of cement-bonded particleboards in terms of their hygroscopicity was demonstrated on the changes of the boards surface treatment with the coating system and on the boards without surface treatment.

KEYWORDS

Cement-bonded particleboard, composite materials, wood, chip, utilization, building materials

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Silvestr Vasas *Ovlivnění vlastností stavebních materiálů s organickým plnivem změnami vlhkosti*. Brno, 2021. 46 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy závěrečné práce

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Ovlivnění vlastností stavebních materiálů s organickým plnivem změnami vlhkosti* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2021

Silvestr Vasas
autor práce

Prohlášení o původnosti závěrečné práce

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Ovlivnění vlastností stavebních materiálů s organickým plnivem změnami vlhkosti* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28. 5. 2021

Silvestr Vasas
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Ing. Jiřímu Bydžovskému, CSc., vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho odborné vedení. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Tomášovi Melicharovi Ph.D. za cenné rady a čas, který mi poskytoval v průběhu vypracování bakalářské práce, a v neposlední řadě mé rodině a přátelům za podporu během studia a při zpracování mé závěrečné práce.

Bakalářská práce byla vytvořena s využitím infrastruktury Centra AdMaS v rámci řešení projektu FV30072 „Efektivní optimalizace využití odpadu z produkce cementotřískových desek pro výrobu konkurenceschopných stavebnin“.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíl práce.....	10
3. Cementotřísková deska.....	11
3.1. Suroviny pro výrobu cementotřískových desek	11
3.1.1. Voda.....	12
3.1.2. Plnivo	12
3.1.3. Pojivo	13
3.1.4. Vodní sklo.....	14
3.1.5. Síran hlinitý	14
3.2. Výroba cementotřískových desek	15
3.3. Vliv výkyvů vlhkosti na stavební materiály	16
3.3.1. Cementová matrice	17
3.3.2. Dřevo	18
3.3.3. Cementotřískové desky	24
3.4. Souhrn poznatků z citovaných článků	31
4. Experimentální ověření chování cementotřískových desek vlivem změn vlhkosti	32
4.1. Metodika	32
4.2. Zkušební tělesa.....	32
4.3. Postup testování	33
4.4. Výsledky a jejich diskuze	35
5. Závěr.....	43
6. Použitá literatura	44

1. Úvod

Vliv vlhkosti na stavební konstrukce, a samozřejmě na jednotlivé materiály v nich zabudované, je nutné vždy brát do úvahy. Je patrné, že stavební konstrukce jsou prakticky vždy vlhkosti vystavené, ať už je to spodní voda, působící zejména na základy a podzemní části konstrukce, nebo vodu srážkovou, působící na obvodové prvky staveb. Ovšem i vnitřní části staveb mohou být ovlivněny střídáním vlhkosti, v tomto případě jde nejčastěji o vlhkost provozní (kuchyně, sprchy apod.).

Vliv vlhkosti je obvykle spíše negativní. Zvýšená vlhkost má nepříznivý vliv na mechanické parametry mnoha materiálů, dále výrazným způsobem zvyšují tepelnou vodivost, a tedy naopak snižují izolační schopnosti materiálů a konstrukcí. V kombinaci s mrazem je výrazný vliv i na trvanlivost materiálů. Nelze zapomínat ani na případný vliv na zdraví osob užívajících stavby, jedná se například o růst řas a plísní, které jsou často toxické.

U deskových materiálů, mezi něž patří i cementotřískové desky, samozřejmě výše uvedené projevy lze pozorovat také. Dále zde bývá větší vliv na změnu rozměrů. To má negativní důsledky například při kotvení desek montážními body na povrchu fasád, kdy cyklické změny rozměrů způsobují poškození v místě kotev, dochází také k postupné propagaci trhlin apod. Proto je třeba věnovat tomuto jevu potřebnou pozornost, včetně určení možností pro omezení tohoto jevu na co nejmenší míru.

2. Cíl práce

Cílem práce je zhodnocení vlivu změn vlhkosti na rozměrové změny materiálů s obsahem organického plniva. Dílčím cílem práce je průzkum aktuálních relevantních poznatků a jejich zhodnocení. Teoretická část bude tedy obsahovat vybrané poznatky o působení vlhkosti a možnosti eliminace jejího působení na samotné organické materiály a rovněž na stavební desky, organické plnivo obsahující. Na základě vyhodnocení zjištěných poznatků bude proveden experiment, ověřující vliv proměnlivé vlhkosti na chování cementotřískové desky z hlediska rozměrových, resp. objemových a hmotnostních změn.

3. Cementotřísková deska

Cementotřísková deska patří mezi kompozitní materiály. Tato specifická deska je složena hlavně ze dřeva a cementu. Hlavními charakteristikami desek jsou nehořlavost, mrazuvzdornost, odolnost proti povětrnostním podmínkám, plísní a hmyzu.

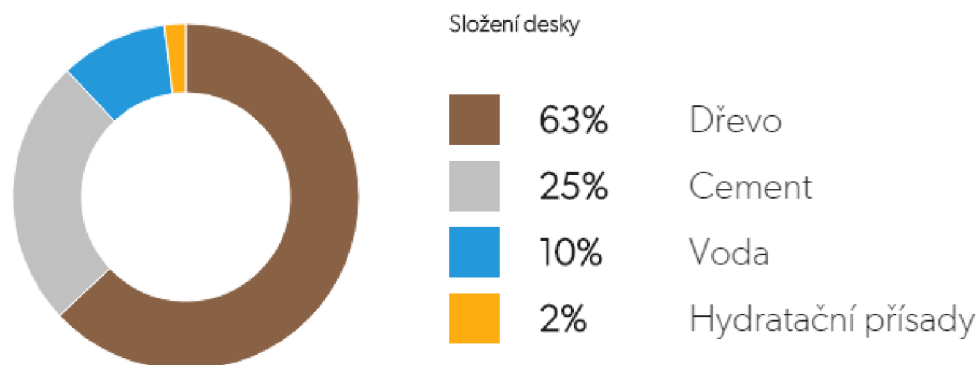
Výhodou vlastnosti cementotřískových desek je, že jsou odlišné od typického chování samostatného dřeva a cementu, spojením těchto materiálů dochází k vytvoření specifických vlastností, umožňujících využití v mnoha aplikacích.

Dle normy ČSN EN 633 je cementotřísková deska definována jako deska vyrobená lisováním z částic na bázi dřeva nebo jiných organických částic pojených hydraulickým cementem nebo na bázi hořčíku s možnými přísadami. Možnými úpravami se desky dělí na surové, povrchově upravené, broušené, také s možností probarvení.

Možné aplikace těchto desek jsou široké, využívá se jak v interiéru, tak v exteriéru. Četné využití je například v konstrukcích podlah, odvětrané fasády, balkony, sokly, podhledy, stěny, střešní nadstavby, půdní vestavby, protipožární aplikace, ztracená bednění a mnoho dalších.

3.1. Suroviny pro výrobu cementotřískových desek

Jak již název napovídá, hlavními složkami cementotřískových desek jsou dřevěné třísky s portlandským cementem, dále se využívá technologická voda s mineralizačními přísadami. Objemové zastoupení složek je znázorněno na Obr. 1.



Obr. 1: Objemové složení cementotřískových desek cetris [19.]

3.1.1. Voda

Voda je nezbytná pro hydrataci cementu, aby došlo k tvorbě kompaktní matrice cementotřískových desek. Vodě takto použité při výrobě cementových kompozitů se říká záměsová. Tato voda nesmí být nějak znečištěná nebo obsahovat nadměrný počet chemikálií jako jsou například chloridy, alkálie, sírany atd. Mohlo by to negativně ovlivnit vlastnosti cementotřískových desek. Tyto limitní hodnoty jsou stanoveny v normě ČSN EN 1008. Pitná voda se podle této normy nemusí se zkoušet. Množství vody je při výrobě cementotřískových desek regulováno v závislosti na aktuální vlhkosti smrkových třísek. Dále je při výrobě desek používána i voda v rámci dávkování hydratačních a mineralizačních přísad.

3.1.2. Plnivo

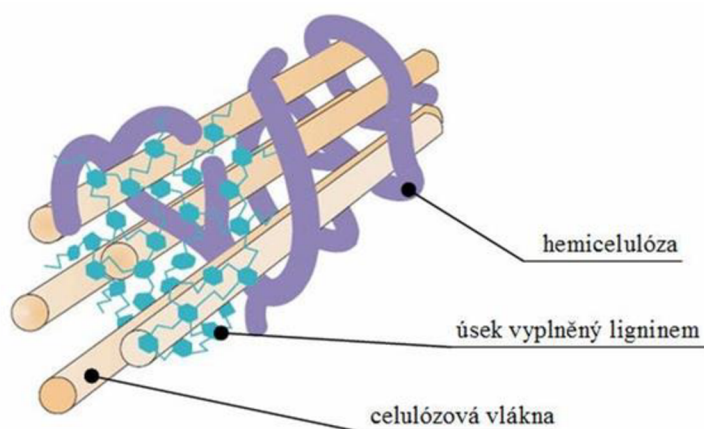
Dřevo patří k nejstarším stavebním materiálům na světě. Na rozdíl od jiných materiálů patří k obnovitelným surovinám, šetrným k životnímu prostředí.

Základní rozdělení dřeva je na jehličnaté a listnaté, které se dále dělí na měkké a tvrdé dřevo. Zpravidla se hlavně využívá pouze jehličnaté dřevo smrkové, jelikož roste o dost rychleji než listnaté, tudíž jeho cena není tak vysoká, a také jeho objemová hmotnost je nižší.



Obr. 2: Třísky pro výrobu cementotřískových desek [12.]

Dřevo se skládá z celulózy (cca. 50 %), hemicelulózy (cca. 22 %), ligninu (cca. 22 %) a látek tvořící vnitřní hmotu buňky (cca. 6 %). Z chemického hlediska se ve dřevě nachází uhlík (cca. 50 %), kyslík (cca. 43 %), vodík (cca. 6 %), dusík (cca. 0,3 %) a zbytek látek tvoří minerály.



Obr. 3: Struktura dřeva [11.]

Negativní vlastností dřeva je vysoká nasákavost a hygroskopicitá, což znamená, že dokáže z okolí pohlcovat vlhkost, které se projeví na jeho objemových změnách, což souvisí i se změnami ostatních jeho vlastností. Dřevo také obsahuje velké množství sacharidů ve formě celulózy a hemicelulózy, které mají negativní zpomalující účinky na tuhnutí a tvrdnutí cementu. Vzhledem k těmto důvodům je dřevo pro výrobu cementotřískových desek podrobena stabilizačním procesům. Jedná se o modifikaci (mineralizaci), která se provádí z důvodu eliminace objemových změn a negativních účinků sacharidů při hydrataci cementu. Nejběžnějším typem mineralizátoru smrkových třísek pro výrobu cementotřískových desek je vodní sklo.

3.1.3. Pojivo

Cement dle ČSN EN 197-1 je hydraulické pojivo, jemně mletá anorganická látka, která po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne na vzduchu i pod vodou v důsledku hydraulických reakcí. Po zatuhnutí zachová svoji pevnost a objemovou stálost.

Cement se vyrábí společným semletím slínku, regulátoru tuhnutí, a případně dalších složek. Slínek se vyrobí výpalem zpevněných a nezpevněných zemin a vápence v rotačních pecích za teplot 1450°C. Z mineralogického hlediska obsahuje slínek 4 základní minerály, C₃S (alit), C₂S (belit), C₃A (trikalciumaluminát) a C₄AF (tetrakalcium aluminát ferit), které ovlivňují výsledné vlastnosti cementu.

Základní druhy cementu dle normy ČSN EN 197-1

- CEM I – portlandský cement
- CEM II – portlandský cement směsný
- CEM III – vysokopecní cement
- CEM IV – pucolánový cement
- CEM V – směsný cement

K výrobě cementotřískových desek se používají cementy portlandské s rychlým nárůstem počátečních pevností s označením CEM I 42,5 R, z důvodu dosažení co nejrychlejších manipulačních pevností a urychlení procesu výroby. [13.] [14.]

3.1.4. Vodní sklo

Vodní sklo jsou ve vodě rozpuštěné křemičitany alkalických kovů. K výrobě křemičitanu draselného (K_2SiO_3) nebo sodného (Na_2SiO_3) se používá roztavený sklářský písek ve sklářské vanové peci při teplotách okolo 1400–1600 °C, který se později prudce ochladí za důvodem rozpraskání a následně se v autoklávu rozpustí. Tato výroba je označovaná jako PKS/D. Nebo můžeme použít hydrotermální reakci, kde použijeme autokláv, ale touto metodou dokážeme vytvořit jen omezený druh vodního skla.

Složení vodního skla je charakterizováno křemičitým modulem M, což je molární poměr SiO_2/Na_2O nebo SiO_2/K_2O . Hodnota křemičitého modulu se obvykle pohybuje v rozmezí mezi 1,6 – 4,1.

Další charakteristika vodního skla je hustota, viskozita a hodnota pH. Viskozita závisí na jeho koncentraci a hodnotě křemičitého modulu M. Vodní sklo se chová jako newtonská kapalina, proto hodnota viskozity záleží na způsobu měření.

Do cementotřískových desek se vodní sklo přidává v jednotkách procent. Vodní sklo s reakcí CO_2 ze vzduchu vylučuje gel, který způsobuje mineralizaci třísek. [6.] [8.] [9.]

3.1.5. Síran hlinitý

Síran hlinitý ($Al_2(SO_4)_3$) je anorganické koagulační činidlo na bázi soli hliníku kyseliny sírové. Ve stavebnictví se používá jako urychlovač tuhnutí, tvrdnutí a rychlejší nárůst počátečních pevností. Do cementotřískových desek se přidávají jako u vodního skla hlavně pro jeho mineralizační schopnost, ale také kvůli rychlejšímu nárůstu manipulačních pevností. [6.] [8.]

3.2. Výroba cementotřískových desek

Jedním tuzemským velkovýrobcem cementotřískových desek, který se na našem území České republiky nachází už 30 let, je firma CIDEM Hranice a.s. Vzhledem k tomu, že pro experimentální část této bakalářské práce byla použita zkušební tělesa cementotřískových desek dodaných spol. CIDEM Hranice a.s., tak je zde popsán jejich výrobní postup.

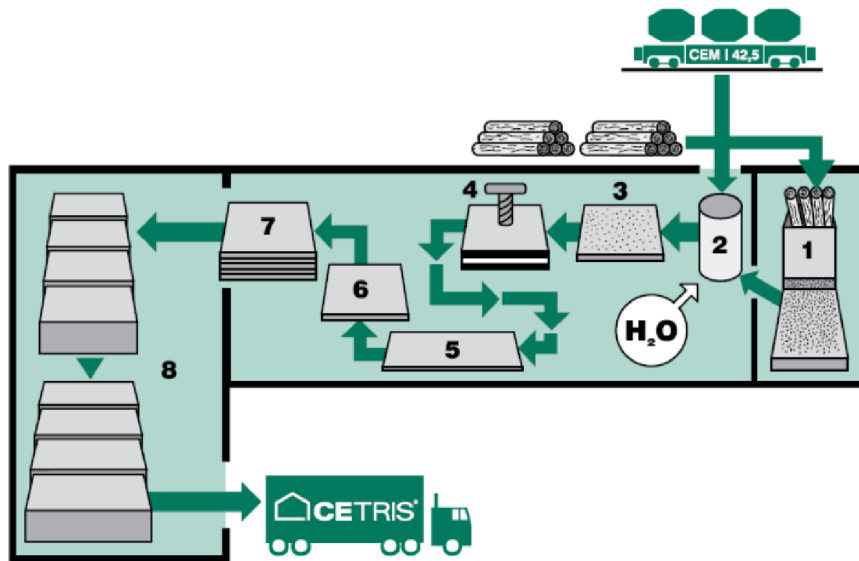
Cementotřískové desky CETRIS jsou vyráběny dle ČSN EN 633, 634-1 a 634-2. Desky CETRIS se vyrábí na technologické lince BISON, která má výrobní kapacitu 55 000 m³/rok.

Jako dřevo se používá smrkové dřevo, které se prvně upravuje na kulatiny a poté je mechanicky zbaveno kůry. Takto upravené dřevo se nechá několik měsíců odležet ve venkovním prostoru, z důvodu částečného snížení škodlivých látek. Takto uleželé dřevo se roztřískuje na jehlicové třísky a uloží do zásobních sil o objemu kolem 200 m³. V silách jsou třísky přehřívány odpadním teplem z kotle na biomasu. V zimě slouží také k rozmrazení dřeva. Dřevo obsahuje látky, které negativně ovlivňují proces tuhnutí a tvrdnutí cementu, a proto dochází k snížení pevnosti výsledného kompozitu (desky). Kvůli tomuto efektu je nutná mineralizace třísek, která tento proces zredukuje.

K mineralizaci používáme již zmiňované anorganické soli jako jsou například vodní skla, síran hlinitý, ale i chlorid vápenný nebo hořečnatý a další. Tyto látky také působí jako urychlovače tuhnutí cementu, snižují nasákavost a zvyšují odolnost proti ohni, škůdcům a plísním.

Navážené množství třísek, portlandského cementu (CEM I 42,5 R), mineralizačních látek a upraveného množství vody v závislosti na vlhkosti dřeva se dopraví na míchací zařízení. Na předem připravené ocelové plechy se rovnoměrně rozprostře namíchaný materiál na jednotlivé vrstvy. Vrstvy jsou nanášeny pomocí čtyř za sebou umístěných strojů. V prvním a posledním dochází k rozprostření jemnější povrchové vrstvy, s nižším obsahem třísek. V druhém a třetím dochází k nanášení středové hrubější vrstvy. Plechy s rounem jsou stohovány na sebe a lisovány vysokým tlakem na jmenovitou tloušťku 1/3 tloušťky sypané. Desky se vyrábí v tloušťce 8 až 40 mm. Po slisování se podložky z desky přesunou do vytvrzovací komory, kde dosáhnou manipulačních pevností.

Po vytvrzení se desky oddělí od podložek a uloží se do klimatizačních komor na alespoň sedm dní k dozrání. Poté se desky nechají vysušit na vlhkost kolem 9 %. Po dosažení této vlhkosti se provádí formátování na základní rozměry a dle přání zákazníků úprava a různé druhy opracování. Hotové desky jsou skladované na paletách chráněné polyetylenovou folií před povětrnostními vlivy. [6.] [8.] [9.]



Obr. 4: Schéma zjednodušeného výrobního postupu [7.]

3.3. Vliv výkyvů vlhkosti na stavební materiály

Většina silikátových kompozitních materiálů podléhá změnám vlivem výkyvů okolní vlhkosti. V případě, že se v daném kompozitu nachází i dřevní hmota, je vliv vlhkosti ještě umocněn. Z hlediska chování cementotřískových desek v podmínkách kolísavé okolní vlhkosti je podstatné znát i chování samostatných fází tohoto kompozitního materiálu. V následujících podkapitolách bude tedy věnována pozornost, jak cementové matrici, tak dřevní hmotě. Nicméně s ohledem na charakter jednotlivých fází bude dominantně důraz kladen na dřevěné třísky. Mnohem častějším případem působení stavební materiály je vzdušná (relativní) vlhkost, jejíž výkyvy se mohou podílet i na výraznější změně vlastnosti stavebnin. Proto je převážně věnována pozornost právě výkyvům okolní vzdušné vlhkosti, a tedy i hygroskopicitě.

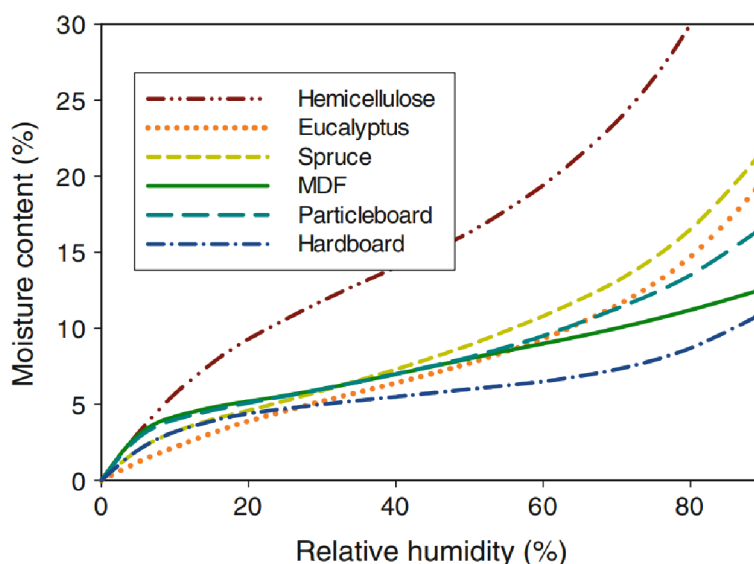
Hygroskopicitá je vlastnost dřeva, která ovlivňuje rozměrovou stabilitu, mechanické vlastnosti, tepelné vlastnosti, hustotu a trvanlivost. Dřevo může zadržovat vodu ve stěnách buněk jako vázanou vodu nebo volnou vodu (viz. kap. **Error! Reference source not found.**). Pokud je dřevo vystaveno vlhkému nebo suchému prostředí je přirozené dosáhnout rovnováhy s prostředím absorpcí nebo desorpce vlhkosti. Christensen a Kelsey [20.] odhadují, že celulóza, hemicelulóza a lignin jsou zodpovědné za přibližně 47, 37 a 16 % z celkové sorpce dřeva. [21.]

Sorpční chování dřeva vyplývá ze změn relativní vlhkosti vzduchu prostředí a je popsáno izotermou ve staru písmena S. Lze identifikovat tři části sorpce:

- chemisorpce – převládá při nízké relativní vlhkosti a je charakterizována nahromaděním monomolekulární vrstvy vody zadržené volnými hydroxyly

- fyzisorpce – je charakterizována tvorbou polymolekulární vrstvy vody
- kapilární kondenzace – kondenzace vodní páry v prázdném prostoru buněčné stěny při relativně vysoké vlhkosti vzduchu

Sorpční charakteristika dřeva je velice podobná bez ohledu na druh dřeva, s výjimkou lesů s vysokým obsahem extraktivních látek. Nicméně, teplota může výrazně ovlivnit sorpční chování dřeva. Sorpční chování kompozitu se liší od chování listnatého dřeva. [22.] [23.]



Obr 5: Sorpční izotermy hemicelulóz získaných ze smrku, blahovičnicku a vybraných dřevotřískových desek při teplotě 22-25 °C [20.][21.][22.][23.][24.][25.]

Na obrázku (viz Obr. 5) je uvedeno srovnání sorpčních křivek hemicelulózy, eukalyptu, smrku a třech dřevotřískových desek. Lze pozorovat, že sorpce dřevotřískových desek je nižší než u dřeva, obzvláště při relativní vlhkosti větší 30 %. Vlhkost je nejdůležitější problematikou pro zlepšení trvanlivosti cementotřískových desek, a proto jsou procesy předúpravy (tepelné, hydrotermální, chemické, aplikace nátěrového systému atd) dobrou strategií k snížení/odstranění vysoké hygroskopicity u dřevotřískových desek (viz kap. 3.3.2 a **Error! Reference source not found.**). [26.]

3.3.1. Cementová matrice

Cementová matrice obecně nepodléhá změnám rozměrů vlhkosti v takové míře jako dřevní hmota. Změny rozměrů vlivem hygroskopicity cementové matrice nejsou zcela zanedbatelné, a proto by měl tento faktor být zahrnut do rozboru problematiky rozměrových změn cementotřískových desek vlivem výkyvů okolní vlhkosti.

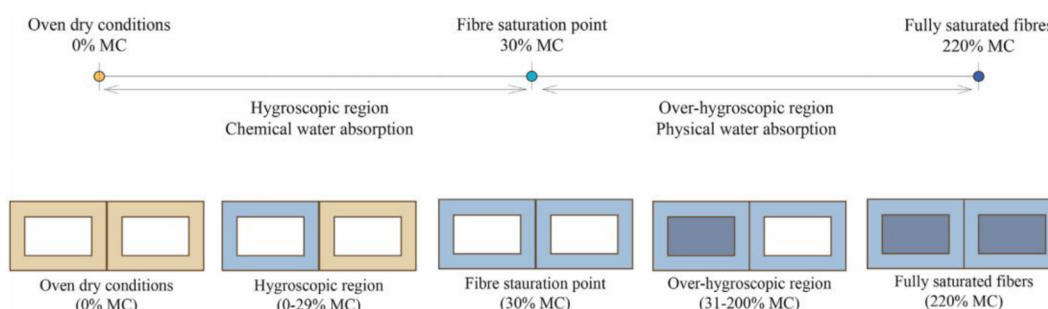
3.3.2. Dřevo

Dřevní hmota je změnami okolní vlhkosti ovlivněna v poměrně výrazné míře. To je také důvodem, proč jsou dřevní částice v kompozitních materiálech s cementovou matricí mineralizovány a tím stabilizovány jejich vlastnosti.

Z hlediska působení vlhkosti na dřevo jsou podstatné principy a důsledky působení vlhkosti:

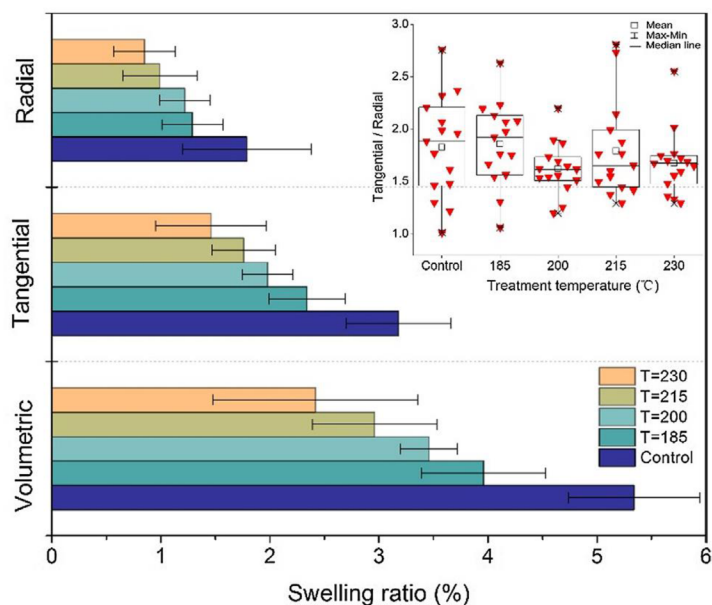
- Vzdušné – relativní vlhkost ve vzduchu okolního prostředí, kdy se uplatňuje hygroskopicitata dřeva
- Kapalné – kontakt kapalné vody s dřevní hmotou (déšť, ponoření při zaplavení konstrukce apod.)

Kromě způsobu saturace dřeva vlhkosti je také podstatná doba působení dané vlhkosti, a zda se toto opakuje cyklicky. Pak totiž může docházet k cyklické saturaci dřeva vlhkostí a následně vysychání, což se projeví na změnách struktury dřeva. Zde jsou podstatné také faktory, jako rychlost nasycení dřeva vlhkostí, stejně jako vysychání či okolní teplota při změnách vlhkosti. Důležitou vlastností dřeva je MNBS, tj. mez nasycení buněčných stěn, která je zobrazena na následujícím obrázku (viz Obr. 6), spolu se specifikací vody ve dřevě. Důležitou oblastí je již zmíněná mez nasycení buněčných stěn, která udává do 30 % obsahu vlhkosti. Zde je chování dřeva ovlivněno zejména přítomností amorfní celulózy a hemicelulózy, která přitahuje více kapalin a chemicky váže molekuly vody. V důsledku toho jsou vlastnosti, a tedy i rozměry a objem ovlivněny zejména v této oblasti. Na rozdíl od oblasti přesycení buněčných stěn, kde jsou buněčné stěny již plně nasycené vodou a dochází k vyplnění mezibuněčných míst tzv. lumenech. Zde dochází při zvyšování obsahu vlhkosti k zvyšování hmotnosti a nedochází k výrazným rozměrovým změnám. [5.]

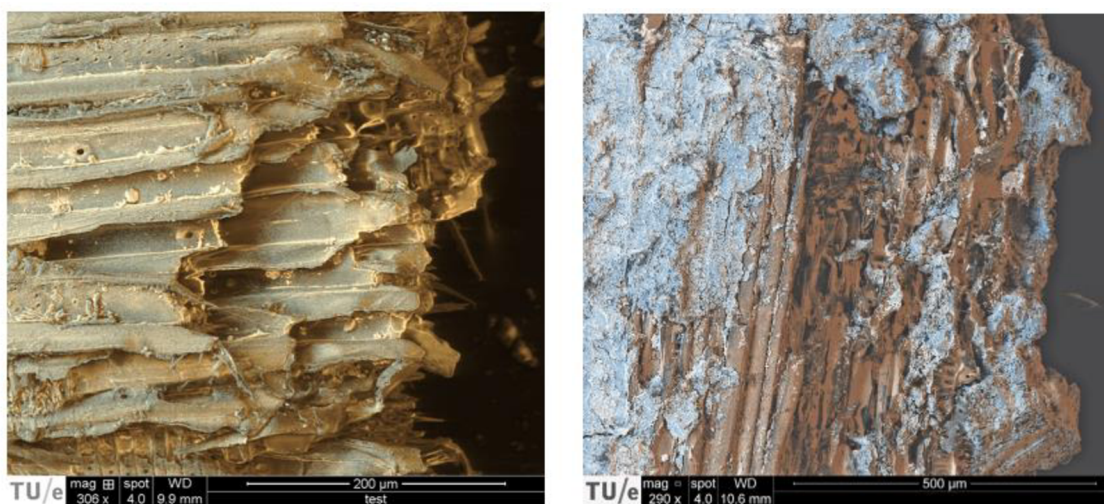


Obr. 6: Znárodnění meze nasycení buněčných stěn [5.]

V reálném prostředí samozřejmě zpravidla nastává případ, kdy působí více faktorů na jednu, tj. vzdušná vlhkost okolního prostředí a déšť, tj. uplatní se hygroskopicitata i nasákavost. Vlastnosti dřeva vyplývají z podstaty, že dřevo je anizotropní materiál, to znamená, že má v různých směrech různé vlastnosti. Proto záleží, z jaké strany na materiál působíme, z grafu (viz Obr. 7) si lze povšimnout zvýšené bobtnání dřeva při tangenciálním směru oproti radiálním. [15.]



Obr. 7: Bobtnání termicky upraveného borového dřeva [15.]

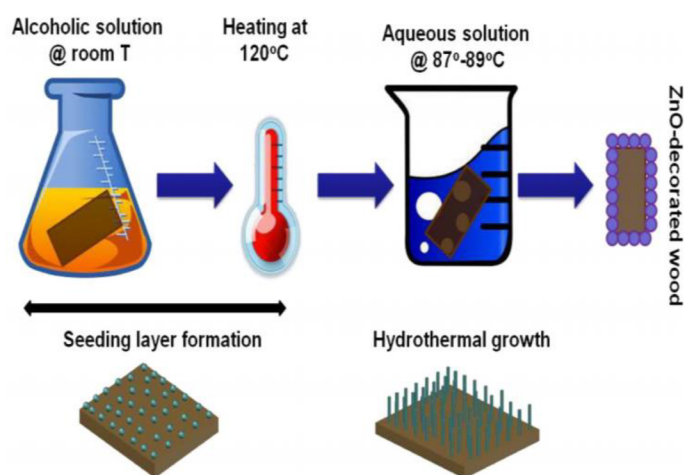


Obr. 8: SEM snímky smrkového dřeva dřevěných buněk (obrázek vlevo) a smrkového dřeva pokrytého cementem (obrázek vpravo) [5.]

Problematikou odolnosti dřeva vůči působení kapalné vlhkosti s využitím nanostrukturovaných nátěrů na bázi zinku se zabývali Makarona a kol. **Error! Reference source not found.** Experimenty byly provedeny na zkušebních tělesech dubu, buku, borovice černé a jedle o rozměrech 2 cm × 2 cm × 10 cm bez žádných dalších úprav.

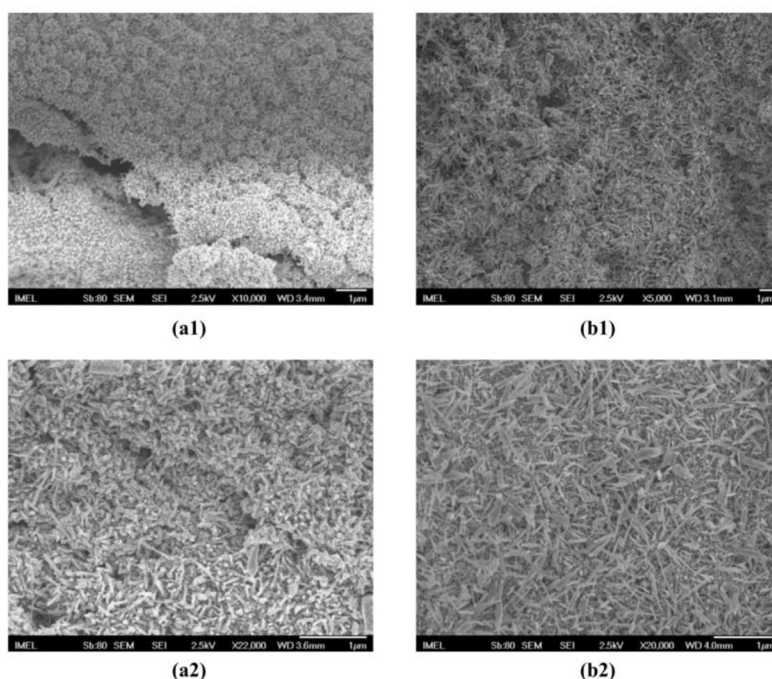
K zinkovému nátěru byly použity chemikálie analytické kvality (ethanol, octan zinečnatý, ethanolamin, dusičnan zinečnatý, urotropin) a destilovaná voda.

K ošetření dřeva zinkovou nano strukturou byl zvolen dvoustupňový postup „all-wet chemical approach“. Tento způsob je znázorněn na následujícím obrázku (viz Obr. 9), kde v prvním kroku vznikne na dřevní hmotě výsevni vrstva. Výsevni vrstva poskytuje nezbytná nukleační místa pro vývoj zinku na vytvoření zinečnatých nano struktury během druhého kroku hydrotermální reakce. Roztok se v druhém kroku dal do destilované vody a intenzivně se míchal při pokojové teplotě až do vzniku transparentního roztoku. Roztok se zahřál na teplotu 87 °C a desky byly ponořeny na 24 a 48 hodin. Pro 48 hodinový růst byl roztok nahrazen čerstvým po 24 hodinách. Všechny desky byly očištěny vodou a usušeny po dobu 12 hodin při teplotě 103±2 °C.

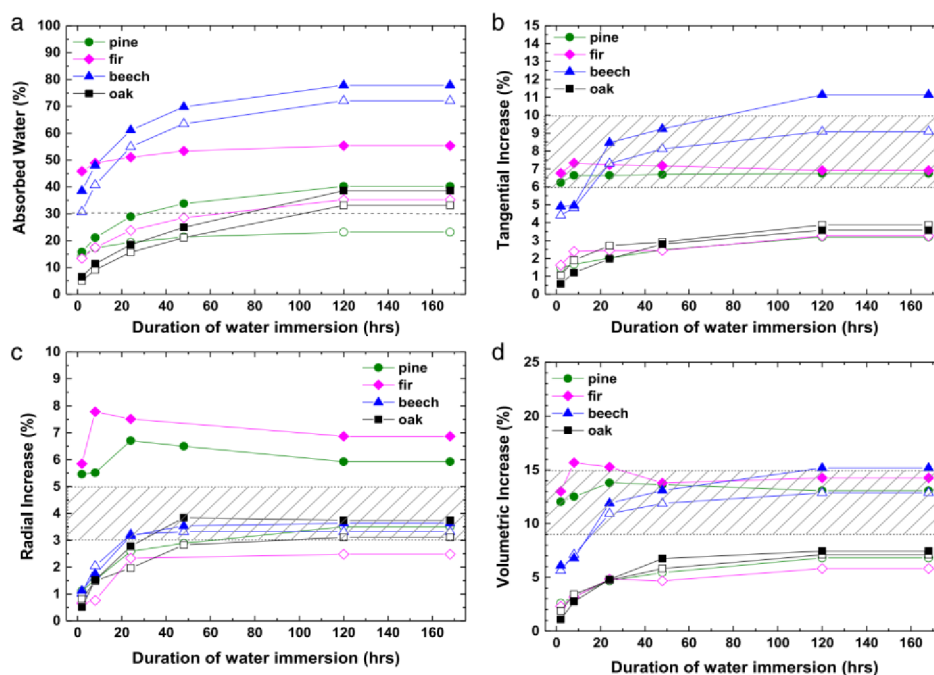


Obr. 9: Schéma dvoustupňového postupu „all-wet chemical approach“ [4.]

Morfologie nano struktury ZnO ošetřující desky z jehličnatých stromů (borovice) jsou znázorněny na obrázku (viz Obr. 10). Z obrázku je patrné, že nano struktury ZnO vytvořily dobře distribuovanou nátěrovou vrstvu překrývající obnažená místa desky. Tato vrstva tvořící ochranný nátěr se rozšířila i do přirozených dutin dřeva.



Obr. 10: SEM snímky borovice s vrstvou zinkové nano struktury po (a) 24 hodinách a (b) 48 hodinách. [4.]



Obr. 11: Odolnost proti vlhkostním změnám. Otevřené symboly: 24 hodinová vrstva ZnO; Plné symboly: 48 hodinová vrstva ZnO. Přerušovaná čára v (a) představuje nasycení vlákna. Šedé oblasti představují průměrné hodnoty pro nenatřené dřevo [4.]

Absorpce vody všech desek je uvedena v grafu (viz Obr. 11), kde je patrné, že obsah vlhkosti dosáhnul rovnováhy po 48 hodinách. Obsah vody se u většiny desek pohyboval lehce nad nebo kolem bodu nasycení vlákna, kde jsou buněčné stěny prázdné od volné vody, ale dutiny jsou nasycené vodou. Přestože byly desky zcela ponořeny ve

vodě, což naznačuje, že nátěry na bázi zinku zvyšují odolnost proti sorpci. Zvýšená odolnost desek je nadále doložena rozměrovými změnami většiny vzorků, které jsou pod nebo v nejhorším případě v nejnižších mezích průměrných hodnot neošetřeného dřeva.

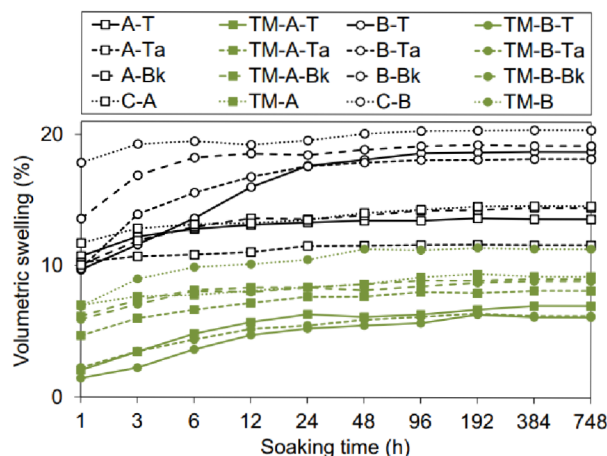
Z výsledků je patrné, že dubové dřevo mělo největší odolnost proti vodní absorpci a nejmenší rozměrové změny. Obsahem vody u dubu nepřekročil nasycení vlákna. Většina desek vykazovala minimální rozměrové změny a jejich objemový nárůst byl menší než 7 %, což ukazuje zlepšení o 50 % ve srovnání s neošetřenými deskami. Výjimkou byl buk, kde nátěr na bázi zinku neměl prakticky žádný účinek bez ohledu na dobu růstu, oba nátěry nezabránili absorpci vody do desky a dosáhli obsahu přes 70 %.

Sample	Water absorption (%)	Maximum radial swelling (%)	Maximum tangential swelling (%)	Tangential swelling/radial swelling	Volumetric change (%)
Pine 24 h	23%	3.5%	3.2%	0.91	6.8%
Pine 48 h	40%	5.9%	6.9%	1.17	13.1%
Fir 24 h	35%	2.5%	3.3%	1.32	5.8%
Fir 48 h	55%	6.9%	6.9%	1.00	14.3%
Beech 24 h	72%	3.3%	9.1%	2.75	12.9%
Beech 48 h	78%	3.6%	11.1%	3.08	15.2%
Oak 24 h	33%	3.1%	3.9%	1.26	7.1%
Oak 48 h	39%	3.7%	3.6%	0.97	7.5%

Tab. č. 1: Absorpce vody, radiální, tangenciální a objemové bobtnání natřených desek pomocí ZnO po 168 hodinách ponořených ve vodě [4.]

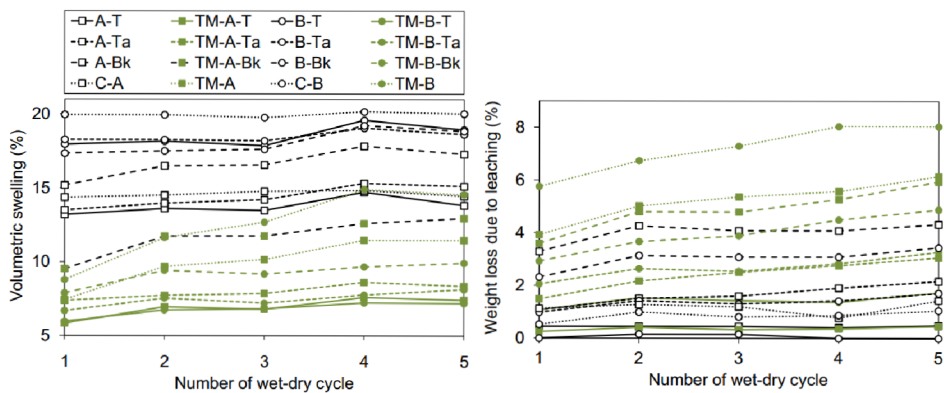
Z těchto závěrů je zřejmé, že zinkový nátěr je možné využít jako vhodnou ochrannou vrstvou proti vlhkosti v případě jehličnatých a listnatých dřevin, kromě buku. Bylo prokázáno, že zinkový nátěr působí ve většině případů jako účinná ochrana proti absorpci vody, čímž zvyšuje odolnost dřeva proti vlhkosti. [4.]

Problematikou vlivu impregnace olejem na vodoodpudivost, rozměrovou stabilitu a náchylnost k tepelným modifikacím se zabývali Ahmed a kol. Experimenty byly provedeny na zkušebních deskách osiky a břízy o rozměrech 25 x 30 x 300 mm. Vzorky byly zahřáty na teplotu 170 °C na jednu hodinu a pak ještě teplé naimpregnovány olejem. Během tohoto procesu tepelné modifikace došlo k degradaci hemicelulózy, modifikaci ligninu, redistribuci extraktivních látek, zvýšená obsahu krystaliniky u celulózy a redukcí hydrofobních – OH skupin v buněčné stěně vedoucí k významnému snížení množství absorpce vody. Z grafu (viz Obr. 12) si lze povšimnout patrných rozdílů mezi neošetřeným, tepelně a olejem modifikovaným dřevem osiky a břízy. Došlo k redukcí bobtnání dřeva při použití tepelné modifikaci, a tím i zlepšení rozměrové stability. Při použití impregnace se tato hodnota ještě zlepšila.



Obr. 12: Objemové bobtnání tepelně upravených (TM) a jiných než tepelně upravených desek z osiky (A) a břízy (B) impregnovaných tungový olej (T), borovicovým dehtem (Ta) a Beckursovým olejem (Bk) během máčení ve vodě při 21 °C po dobu 748 hodin. Neimpregnované desky z osiky a břízy jsou označeny (C) [16.]

Vzhledem k tomu, že při této metodě namáčení ve vodou/sušení v sušárně jsou takto použité oleje náchylné k vyluhované vodě, tak se autoři také zabývali cyklickým vlhčením a sušením. Nejlepší výsledky (viz Obr. 13) byly zjištěny v případě tungového oleje, který má možnost proniknout hluboko do dřeva a vytvořit téměř trvalé těsnění proti vlhkosti. [16.]



Obr. 13: Objemové bobtnání a ztráta vyluhováním tepelně upravených (TM) a jiných než tepelně upravených desek z osiky (A) a břízy (B) impregnovaných tungový olej (T), borovicovým dehtem (Ta) a Beckursovým olejem (Bk) během cyklického vlhčení a sušení. Neimpregnované desky z osiky a břízy jsou označeny (C) [16.]

3.3.3. Cementotřískové desky

Kompozitní materiály se v dřívě většině případů chovají jinak nežli jejich samotné složky. Proto je třeba i přes zjištěné poznatky v oblasti chování samotného dřeva a cementové matrice znát chování cementotřískových desek vlivem působení okolní vlhkosti, především s ohledem na jejich rozměrovou stabilitu.

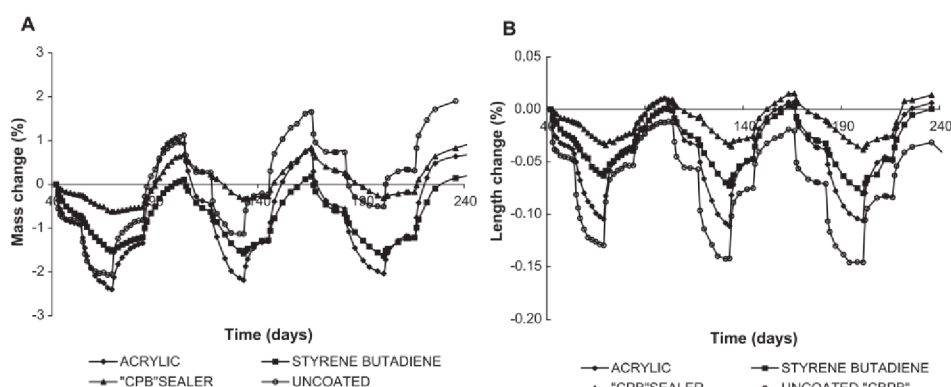
Rozměrový pohyb u cementotřískových desek souvisí se čtyřmi podstatnými faktory. Prvním je inherentní zásaditost cementové pasty, která vede k agresivnímu prostředí pro třísky v něm zabudované, což má za následek jejich degradaci. Druhým faktorem je karbonatace s následnou indukci napětí mezi třísky a cementovou pastou během smáčení a sušení. Karbonatace cementové pasty zmenšuje její objem v důsledku přeměny Ca(OH)_2 na CaCO_3 , který krystalizuje v pórech, čímž vytváří nekompatibilní zbytkové napětí mezi třísky a cementovou pastou, což vede k významnému objemovému smrštění. Třetím faktorem je reakce pohybu vlhkosti do a ven z třisek a cementové pasty nebo celé pevné kosterní struktury materiálu. Čtvrtým je výsledkem vnitřních napětí vyvinutých při výrobě cementotřískových desek. Existují tři možné způsoby, jak snížit rozměrové pohyby u cementotřískových desek za přítomnosti měnící se relativní vlhkosti:

- úprava třisek za účelem snížení jejich hygroskopicity;
- úpravou cementové pasty ke snížení její propustnosti;
- nanesením povrchových nátěrů k přerušení dopravní cesty vlhkosti. [1.]

Voda v cementotřískových deskách je vázána různými způsoby. (1) Volná voda, je reprezentována v cementové pastě a dřevních třískách. Existuje v mezibuněčných prostorech nebo pórech, po nasycení meze buněčných stěn. (2) Voda vázaná, je ve dřevě obsažena v buněčných stěnách a je vázána vodíkovými můstky. V cementové hmotě je uzavřena mezi sousedními krystaly a absorbována na povrchu krystalu. (3) Chemicky vázaná voda, je chemicky kombinovaná v hydratovaných cementových sloučeninách v cementotřískových deskách a jako takové jsou součástí pevné části látky. Tento typ vody se nedá odstranit během normálního sušení. [17.]

Fan a kol. **Error! Reference source not found.** se zabývali problematikou cyklického působení vzdušné (relativní) vlhkosti na vlastnosti cementotřískových desek s nátěrem a bez nátěru. Vzhledem k fyzikálním a chemickým vlastnostem cementotřískových desek je velice důležité použití správného typu nátěru k docílení co nejlepších vlastností. Zprvė povrch cementotřískových desek je vysoce alkalický, zadruhé se na povrchu vyskytuje několik miniaturních pórů, za třetí mají malou tahovou sílu a za čtvrté je náchylný k rozměrovým změnám v důsledku expanzních a kontrakčních sil.

Zkouška se prováděla v teplotě 20 °C v cyklech od 90 % relativní vlhkosti snižována na 65 % relativní vlhkosti do 35 % relativní vlhkosti a opět navyšována. Jednotlivá měření probíhala v intervalech po 24, 48 a 72 hodinách.

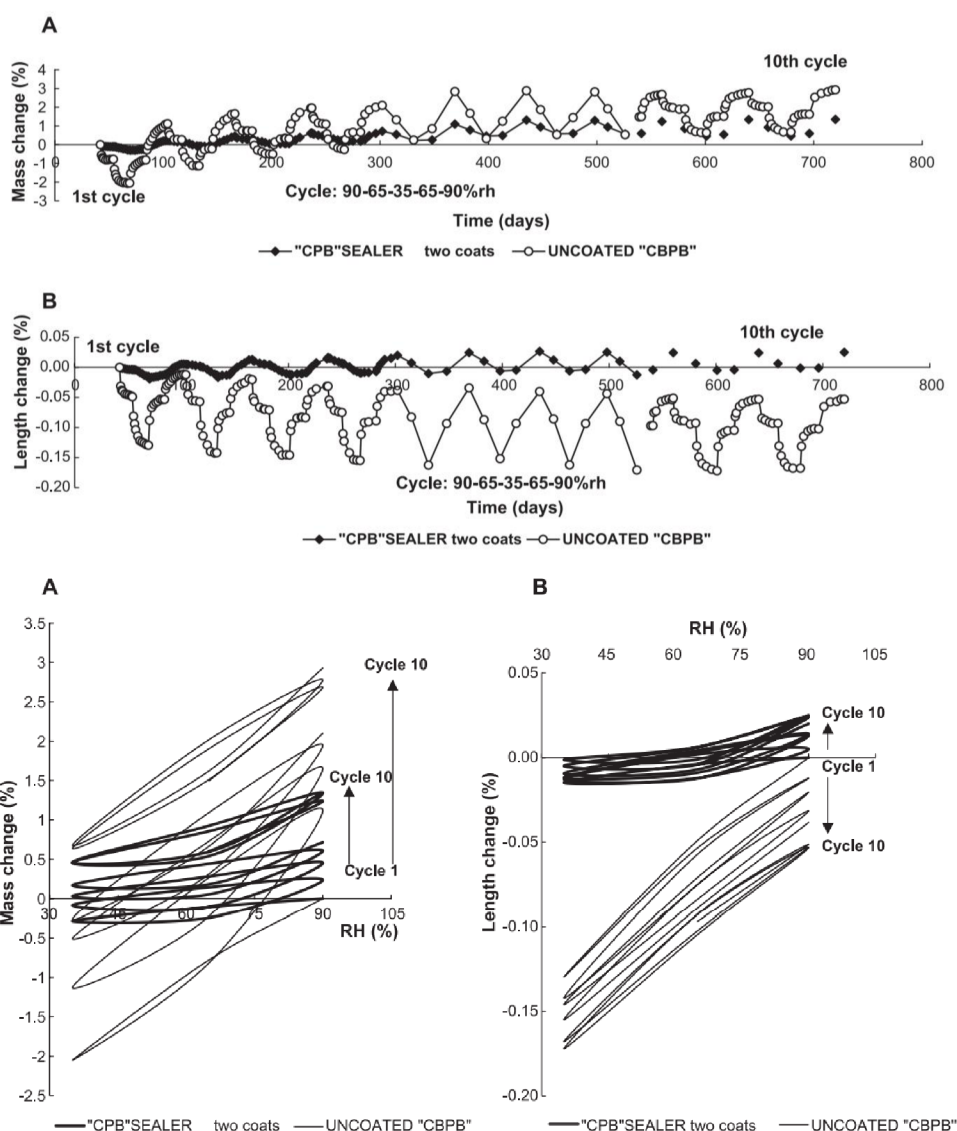


Obr. 14: Cyklická test různých druhů nátěrů na změnu hmotnosti (A) a délky (B) cementotřískových desek [1.]

Sealer	Uncoated CBPB				Acrylic				CPB sealer							
	0		18		1 coat		2 coats		1 coat		2 coats		2 coats		3 coats	
Thickness of CBPB	12	18			12	12			12	12	18	18				
RH (%)	Mean	COV	Mean	COV	Mean	COV	Mean	COV	Mean	COV	Mean	COV	Mean	COV	Mean	COV
<i>Mass change</i>																
90–65	-0.78	8.89	-1.42	8.00	-0.93	5.21	-1.33	5.66	-0.25	5.66	-0.11	5.32	-0.14	8.32	-0.10	5.66
65–35	-1.27	6.24	-1.68	11.00	-1.47	4.36	-1.56	6.99	-0.37	9.69	-0.18	9.63	-0.40	9.66	-0.30	9.66
35–65	1.23	7.41	1.14	6.96	1.05	5.26	1.02	9.32	0.10	9.99	0.04	9.99	0.03	5.32	0.01	9.66
65–90	1.94	4.07	1.87	8.99	2.28	6.22	2.32	8.41	1.20	9.32	0.48	9.89	0.24	9.33	0.17	6.23
90–65	-0.85	3.44	-0.91	3.65	-1.40	9.88	-1.44	7.32	-0.45	6.32	-0.09	9.21	-0.07	6.32	-0.04	6.32
65–35	-1.40	3.33	-1.46	2.69	-1.72	8.33	-1.72	9.36	-0.57	5.26	-0.23	11.30	-0.35	2.00	-0.31	8.25
<i>Length change</i>																
90–65	-0.05	2.83	-0.07	6.36	-0.04	9.32	-0.04	11.30	-0.01	2.65	0.00	11.30	-0.01	9.22	-0.01	5.88
65–35	-0.08	10.49	-0.11	8.23	-0.06	15.60	-0.07	23.30	-0.02	9.66	-0.01	9.66	-0.03	6.12	-0.02	6.33
35–65	0.08	12.48	0.08	7.33	0.07	11.30	0.07	2.96	0.01	6.36	0.00	8.96	0.00	1.23	0.00	9.22
65–90	0.04	3.28	0.06	6.99	0.04	9.33	0.04	11.30	0.03	9.62	0.02	8.32	0.02	9.66	0.01	9.12
90–65	-0.04	11.88	-0.05	10.33	-0.04	9.23	-0.04	10.30	-0.02	6.35	0.00	7.23	-0.01	6.55	0.00	8.12
65–35	-0.08	9.89	-0.10	5.66	-0.08	9.12	-0.07	2.66	-0.03	8.56	-0.01	9.21	-0.03	6.78	-0.02	14.60
<i>Thickness change</i>																
90–65	-0.15	7.42	-0.23	11.20	-0.07	1.99	-0.08	9.66	-0.04	5.66	-0.03	14.20	-0.03	12.30	-0.01	12.30
65–35	-0.16	8.66	-0.26	10.30	-0.12	6.32	-0.16	8.98	-0.04	9.33	-0.02	5.69	-0.07	5.96	-0.03	9.99
35–65	0.14	3.36	0.18	8.63	0.10	8.23	0.11	7.35	0.02	8.32	0.01	6.98	0.00	9.63	0.00	8.00
65–90	0.12	13.62	0.17	9.33	0.12	8.11	0.14	9.00	0.05	9.12	0.03	9.32	0.02	8.65	0.01	6.23
90–65	-0.11	6.25	-0.12	9.63	-0.10	2.11	-0.12	5.60	-0.03	8.12	0.00	8.21	-0.01	8.96	-0.01	7.23
65–35	-0.16	10.36	-0.27	7.23	-0.14	11.30	-0.13	2.48	-0.03	8.66	-0.02	7.32	-0.07	9.36	-0.06	8.22

Tabulka č. 2: Vliv počtu vrstev nátěru na chování cementotřískové desky (maximální změna v %) [1.]

Z výsledků je zřejmé, že všechny použité nátěry snížily absorpci vody pro použité cementotřískové desky. Efektivita vodou ředitelných nátěrů byla o 24% větší oproti deskám, které nebyly opatřeny nátěrem, zatím co epoxidový nátěr na bázi rozpouštědel byl účinnější a dokázal zredukovat absorpci vody až o 45 %.



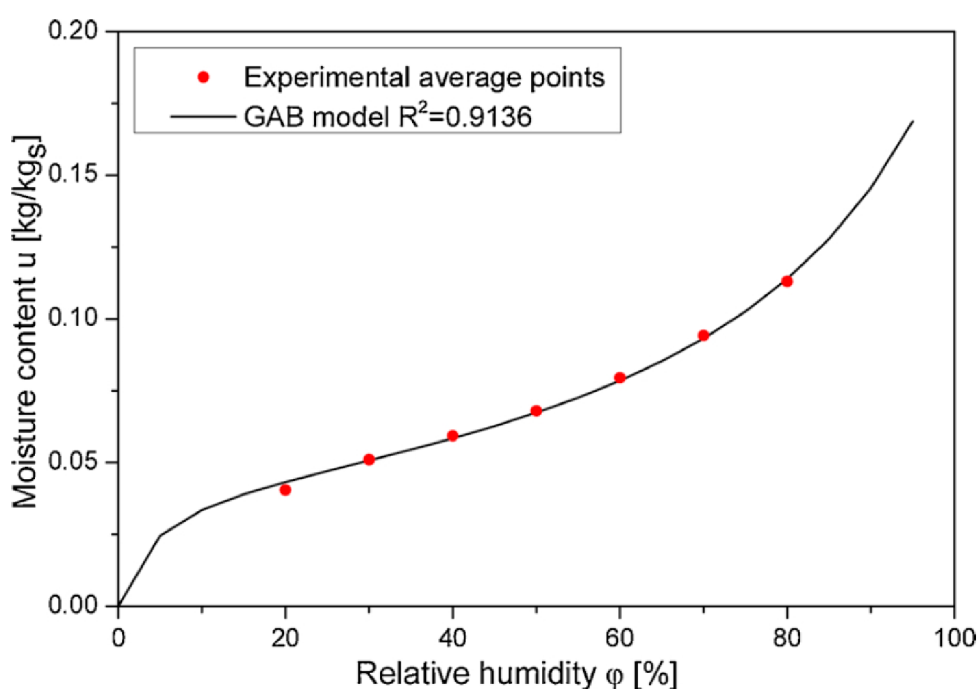
Obr. 15: Vliv cyklické relativní vlhkosti (10 cyklů) na změnu hmotnosti (A) a délky (B) cementotřískových desek s a bez nátěru [1.]

Hmotnosti nenatřených desek z grafů (viz Obr. 15) se zvýšily v průběhu deseti cyklů až o 3 %, zatím co u natřených pouze o 1,5 %. Délkové změny u nenatřených desek se v průběhu deseti cyklů dosahovaly až cca 0,18 %, u natřených desek byly pouze cca 0,03 %. Z grafů (viz Obr. 15) je také patrné, jakým způsobem docházelo k nevratným změnám hmotnosti a délky desek v případě dvou testovaných variant, tj. desek s a bez nátěrového systému. Nevratné délkové i hmotnostní změny byly použitím dvouvrstvého nátěru výrazně redukovány.

Zajímavé poznatky z hlediska cyklického působení vlhkosti na cementotřískové desky s obsahem odpadního papíru a pilin prezentuje Fuwape a kol. [27.]. Vliv vlhkosti je zde zkoumán s ohledem na poměr cementu a použitých organických částic, dále pak také mimo jiné i z hlediska hustoty desek. Výsledky poukazují na poměrně výraznou souvislost změny tloušťky, která vlivem střídavého sušení a nasáknutí vodou kolísá. Po 7 cyklech se

tloušťka ustálí a nevratná změna (přírůstek) tloušťky se pohybuje v rozmezí 15 % až 21 % (varianty desek od 1000 kg/m³ do 1300 kg/m³), resp. v rozmezí 17 % až 21 % (varianty desek 1:2,0 až 1:3,5 – poměr částice/cement).

Li a kol. [28.] se ve svém výzkumu zabývali hydrotermálním chováním nového kompozitu na bázi recyklovaných dřevěných vláken jako „eko-kameniva“ v cementové matici. Autoři se mimo jiné zabývali sběrem dat z reálně exponované konstrukce a numerickým vyjádřením sorpčním izotermu v závislosti na okolní relativní vlhkosti vzduchu. Výzkumem bylo prokázáno, že analyzovaný dřevo-cementový kompozit může přispět ke zlepšení vnitřního tepelného komfortu a být relevantní u designu nízkoenergetických budov.



Moisture sorption isotherm (red points) and its fit by the GAB equation (Eq. (11), black curve) such that $u = \frac{0.894\varphi}{(1 - 0.839\varphi)(1 + 24.07\varphi)}$.

Obr. 16: Modelování hydrotermální křivky pomocí sorpce vlhkosti (červené body)

Li se také zabýval [28.] mimo jiné souvislostí tepelné vodivosti a hygroskopicity. Prokázal, že všechny výsledky ukazují jasnou závislost relativní vlhkosti na vlhkostních a tepelných vlastnostech dřevocementového kompozitního materiálu, a to v úplné shodě s autory Lelievre [29.] a Palumbo [30.].

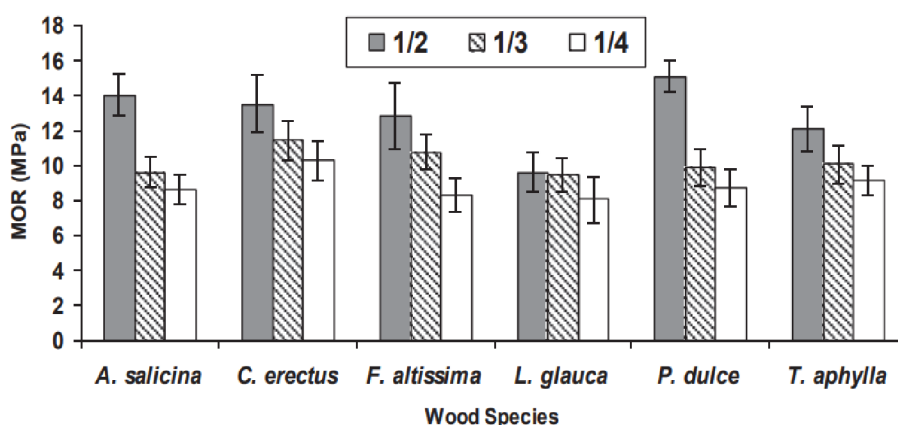
Autoři Nasser a spol. **Error! Reference source not found.** se zabíral problematikou využití odpadu z prořezávání stromů na výrobu cementotřískových desek. Přesněji stromy *Acacia salicina*, *Conocarpus erectus*, *Ficus altissima*, *Leucaena glauca*, *Pithecellobium dulce* a *Tamarix aphylla*. Příprava vzorků probíhala vysušením desek a následným rozřezáním pomocí pásové pily. Pomleté částice v rozmezí 0,27 – 0,4 mm byly použity na chemickou analýzu a zbytek částic v rozmezí 0,4 – 0,8 mm byl použit na výrobu cementotřískových desek. Chemické složení dřeva je nejdůležitější faktor ovlivňující kompatibilitu dřeva s cementem. Z tabulky (viz tab. 3) si lze povšimnout u všech vzorků dřeva výrazné odlišnosti ve všech chemických složkách, včetně vyluhovaných látek, obsahu celulózy, hemicelulózy, ligninu, popela, ale i rozpustnosti v studené a teplé vodě. Tyto odchylky by mohly vysvětlit rozdíly v kompatibilitě mezi dřevocementovými směsmi, které byly použity.

Wood species	Percentage content of					Solubility (%) in	
	Total extractives	Cellulose	Hemi-cellulose	Lignin	Ash	Cold water	Hot water
<i>A. salicina</i>	5.240 ^D	49.54 ^A	18.73 ^D	31.72 ^C	1.02 ^D	3.93 ^D	4.04 ^{CD}
<i>C. erectus</i>	10.86 ^B	42.10 ^C	22.73 ^B	35.16 ^A	2.21 ^C	4.83 ^{CD}	5.29 ^C
<i>F. altissima</i>	11.91 ^B	48.04 ^A	11.61 ^E	36.03 ^A	3.02 ^C	9.24 ^B	9.59 ^B
<i>L. glauca</i>	5.510 ^D	46.14 ^B	20.50 ^D	33.35 ^B	2.38 ^C	4.85 ^{CD}	4.56 ^{CD}
<i>P. dulce</i>	9.080 ^C	45.10 ^B	21.49 ^C	33.39 ^B	4.84 ^B	5.66 ^C	5.85 ^C
<i>T. aphylla</i>	15.68 ^A	39.47 ^D	24.29 ^A	36.26 ^A	6.06 ^A	11.21 ^A	11.28 ^A
Hardwood [49]	2–6	45–50	15–35	23–30	0.2–0.5	4–6	2–7
Softwood [49]	2–8	45–50	20–32	25–34	0.2–0.5	2–3	3–6

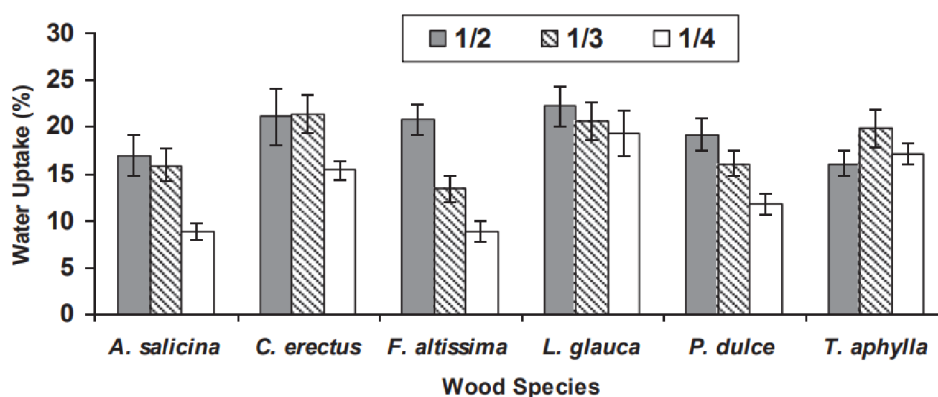
Each value is an average of three samples per species.

Mean values sharing the same letter in column are not significantly different according to LSD test at 0.05% level of probability.

Tab. 3: Průměrné hodnoty složek šesti druhů dřeva ve srovnání s běžnými hodnotami pro druhy tvrdého a jehličnatého dřeva [2.]



Obr. 17: Vliv druhu dřeva a poměru dřevo/cement na pevnost v ohybu u cementotřískových desek [2.]



Obr. 18: Vliv druhu dřeva a poměru dřevo/cement na absorpci vody u cementotřískových desek [2.]

Z grafů (viz Obr. 17 a 18) si lze všimnout, že interakce mezi druhem dřeva a poměrem dřeva s cementem má velký význam pro mechanické vlastnosti a rozměrovou stabilitu cementotřískových desek. Až na výjimky byly vypořádovány dva trendy vlivu poměru dřeva/cement na vlastnosti. Nejprve, zvýšením poměru dřeva/cement se výrazně snížila pevnost v ohybu a parametr rozměrové stability. Zadruhé, pro každý druh dřeva se mechanické vlastnosti (kromě pevnosti v ohybu) zvyšovaly s nárůstem poměru dřeva/cement od 1/2 do 1/4 (Tab. 4). [2.]

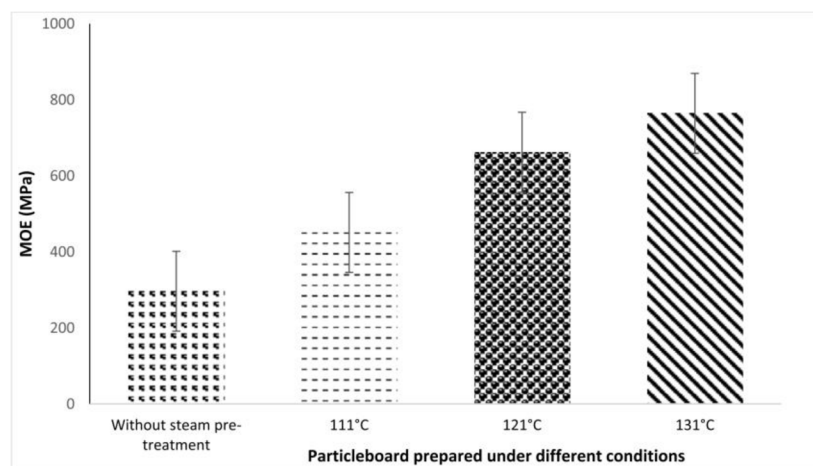
Wood species	W/C ratio	Mechanical properties				Dimensional stability	
		MOE (MPa)	IB (MPa)	SHP (N)	JHN (N)	TS (%)	LE (%)
<i>A. salicina</i>	1/2	4852 ^{CD}	1.5 ^C	1601 ^C	5068 ^{DE}	4.99 ^C	0.53 ^B
	1/3	4457 ^{C-E}	2.3 ^C	1846 ^B	5739 ^D	5.00 ^C	0.32 ^{DE}
	1/4	3831 ^{EF}	2.5 ^B	2111 ^A	7694 ^{AB}	4.71 ^{C-E}	0.31 ^{DE}
<i>C. erectus</i>	1/2	4967 ^{CD}	1.1 ^I	1383 ^E	4217 ^F	4.74 ^{C-E}	0.42 ^C
	1/3	5180 ^C	2.0 ^D	1400 ^E	5157 ^{DE}	4.56 ^{EF}	0.33 ^{DE}
	1/4	4594 ^{CD}	2.1 ^D	1647 ^C	6741 ^C	4.43 ^F	0.29 ^E
<i>F. altissima</i>	1/2	4728 ^{CD}	1.3 ^H	1201 ^F	4962 ^E	5.29 ^B	0.72 ^A
	1/3	3781 ^{EF}	1.9 ^E	1542 ^D	7683 ^{AB}	4.50 ^{EF}	0.45 ^C
	1/4	3170 ^F	2.5 ^B	1319 ^E	8190 ^A	4.38 ^F	0.31 ^D
<i>L. glauca</i>	1/2	4456 ^{C-E}	1.2 ^{HI}	1209 ^F	6270 ^C	5.81 ^A	0.57 ^B
	1/3	4284 ^{DE}	1.6 ^{FG}	1617 ^C	7099 ^B	4.60 ^D	0.38 ^{CD}
	1/4	4167 ^{DE}	3.9 ^A	2016 ^A	8200 ^A	4.39 ^F	0.25 ^F
<i>P. dulce</i>	1/2	6131 ^{AB}	1.3 ^H	1290 ^E	5647 ^D	4.83 ^{C-E}	0.34 ^{DE}
	1/3	4845 ^{CD}	1.6 ^{FG}	1631 ^C	7359 ^B	4.50 ^{EF}	0.32 ^{D-F}
	1/4	4493 ^{C-E}	2.1 ^D	2167 ^A	8355 ^A	4.67 ^D	0.33 ^{DE}
<i>T. aphylla</i>	1/2	6364 ^A	1.3 ^H	1228 ^F	4161 ^F	5.21 ^B	0.60 ^B
	1/3	5440 ^B	1.7 ^F	1546 ^D	5129 ^D	4.91 ^{CD}	0.31 ^{D-F}
	1/4	4529 ^{C-E}	2.4 ^B	1400 ^E	6234 ^C	4.44 ^F	0.26 ^F
ISO-8335 [47]		3.00	0.40	1111	2225	–	1.2–1.8

Tab. 4: Vliv druhu dřeva a poměrem dřevo/cement na vlastnosti cementotřískových desek [2.]

Wan a kol. **Error! Reference source not found.** prezentuje výzkum zaměřený na problematiku mechanických a délkových změn částic z odpadů kmene banánu a jejich možnost využití jako alternativní náhradu dřeva. Konkrétně stromu *Musa Acuminata*. Odpad z kmene stromu byl izolován ořezáváním listových stopek, které se pak horizontálně nasekaly na rozměry 3 cm x 3 cm x 2 cm pro lepší vysušení při pokojové teplotě. Vzorky odpadů z kmene banánů se upravovaly v páře pomocí autoklávu. Úprava

párou trvala 15 minut. Byly zvoleny tři specifické teploty (111 °C, 121 °C, 131 °C), protože v experimentální studii bylo zjištěno, že ideální mechanická změna dřevotřísky nastává v rozmezí této teploty. Po procesu autoklávování se vzorky nechaly vysušit v pokojové teplotě na dalších 5-7 dní k minimalizaci obsažené vlhkosti. Kousky sušeného banánu byly rozemlety a prosety k získání částic v rozmezí 10-1000 µm.

Vyrobené dřevotřískové desky z kmene banánu byly jednovrstvé a upravené na rozměr 18,2 cm × 18,2 cm × 0,6 cm. Desky bez pojiva se lisovaly za teploty 180 °C při tlaku 20,68 MPa po dobu 40 minut. Konečná hustota desek byla 0,7 g/cm³.



Obr. 19: Modul pružnosti odpadu banánového kmene dřevotřískové desky bez pojiva [3.]

Z grafu (Obr. 19) je zřejmé, že nejlepší modul pružnosti byl naměřen u receptury s parní předúpravou při teplotě 131 °C a to 764,64 MPa. Vzorky s parní předúpravou při teplotě 111 °C a 121 °C měly modul pružnosti 451,34 MPa a 662,33 MPa. Nejmenší hodnota byla zaznamenaná u vzorku bez upravy a to 296,74 MPa

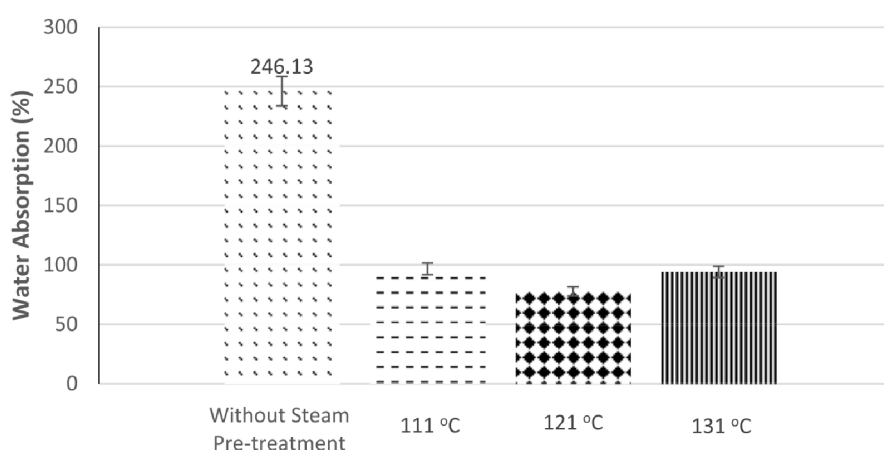
Hodnoty modulu lomu u vrozku bez upravy jsou nejmenší a to 1,54 MPa. Nejoptimálnější modul lomu vyšel 4,57 MPa a to při teplotě 121 °C. Při teplotě 111 °C vyšel 2,14 MPa a při teplotě 131 °C vyšel 3,43 MPa.

Z těchto výsledků se dá usoudit, že zvyšování teploty parní předúpravy má pozitivní vliv na zvýšení mechanických vlastností u odpadních částí kmene banánů. Zvýšená teplota parní předúpravy může mít i negativní vliv na mechanické vlastnosti dřevotřískové desky vzhledem k zničení chemických struktur a tím zvýšení tloušťky bobtnání.

Největší tloušťka bobtnání nastala u desky s obsahem dřeva neupraveného předběžně pomocí páry a to 148,11 %. Nejmenší hodnota bobtnání byla naměřena u desky s obsahem dřeva upraveného pomocí páry při teplotě 121 °C a to 27,13 %. Deska s obsahem dřeva upraveného při teplotě 111 °C vykazovala 48,13 % tloušťky

bobtnání a deska s obsahem dřeva upraveného při teplotě 131 °C měl 27,98 % tloušťky bobtnání.

Z grafu (Obr. 20), si můžeme všimnout jednotlivé hodnoty absorpce vody u dřevotřískových desek vyrobených z kmene banánů po 24 hodinách namáčení ve vodě. Největší absorpce vody byla zaznamenána u desek bez parní úpravy s 257,21 %, zatímco nejmenší hodnota absorpce vody byla zaznamenána u parní předúpravy při teplotě 121 °C s 83,24 %. Při teplotě 111 °C byla absorpce vody 119,12 % a při 131 °C byla absorpce vody 94,31 %.



Obr. 20: Tloušťka bobtnání banánového kmene po 24 hodinách nasáknutí vodou dřevotřískové desky bez pojiva [2.][3.]

Z těchto výsledků lze usoudit, že odpadní částice banánového kmene bez dodatečné úpravy jsou vysoce hygroskopické. Z výsledků je patrné, že použití částic banánového kmene bez úpravy mají špatné mechanické vlastnosti, vysokou absorpci vody a tloušťku bobtnání. Nicméně je vidět, že pro snížení absorpci vody, a tím zlepšení mechanických vlastností je ideální použití parní úpravy.

3.4. Souhrn poznatků z citovaných článků

Výše uvedený přehled poznatků z vědeckých příspěvků ukazuje, že problematika objemových změn organických stavebních materiálů je předmětem mnoha výzkumů, a zahrnuje různé varianty možných úprav dřeva či jiného organického materiálu tak, aby byly vyzdviženy jeho příznivé vlastnosti, zejména vysoká pevnost při nízké objemové hmotnosti, a současně aby se minimalizoval vliv objemových změn, např. různými povrchovými úpravami, či úpravami struktury materiálů vlivem teploty. Současně je patrné, že předmětem výzkumu je i zlepšování vlastností materiálů, které obsahují organické plnivo, se zaměřením na deskové materiály. Výzkumy ukazují možnost ovlivnění objemových změn pomocí povrchových úprav desek jako celku, přičemž je

prokázán pozitivní vliv. Aplikací vhodných povrchových úprav dojde k omezení pronikání vody a tím se objemové změny redukuje.

4. Experimentální ověření chování cementotřískových desek vlivem změn vlhkosti

V návaznosti na zadání bakalářské práce a poznatky, zjištěné v rámci teoretického průzkumu odborné literatury se jeví jako zajímavé posouzení změn rozměrů, resp. objemu, hmotnosti a objemové hmotnosti na cementotřískových deskách. Konkrétně bylo provedeno stanovení sorpční a desorpční křivky vlivem hygroskopicity desek při laboratorní teplotě. Relevantní technická norma ČSN EN 318 i většina výzkumných týmů se totiž zabývá hodnocením rozměrových změn cementotřískových desek pouze ve vybraných intervalech kolísání relativní vlhkosti. Za nedostatek většiny odborných publikací a normy ČSN EN 318 lze považovat také absenci hodnocení některých parametrů, jako např. šířka zkušebních těles desek, příp. objemu v průběhu vystavení desek kolísání relativní vlhkosti. Proto je v rámci experimentální části důraz kladen na sestavení sorpční a desorpční křivky cementotřískových desek vystavených plynule se zvyšující a zpětně klesající vlhkosti v krocích změn relativní vlhkosti o 10 %. Výsledky byly hodnoceny z hlediska vlivu ošetření povrchu desek nátěrovým systémem.

4.1. Metodika

Návrh experimentů byl proveden s ohledem na hodnocení změn cementotřískových desek jako důsledek změn relativní vlhkosti vzduchu prostředí, kde jsou desky exponovány.

4.2. Zkušební tělesa

Zkušební tělesa cementotřískových desek byla dodána tuzemským výrobcem těchto desek, tj. spol. CIDEM Hranice, a.s. Jednalo se o standardně vyráběnou recepturu desek, jejíž složení odpovídá výrobcem deklarovaným údajům (viz kap. 3.1).

Pozornost byla zaměřena na vliv ošetření povrchu desek nátěrovým systémem, tj. byly testovány 2 varianty:

- cementotřísková deska bez nátěru;
- cementotřísková deska povrchově ošetřená nátěrovým systémem.

Aplikace nátěru byla realizována přímo na výrobní lince spol. CIDEM Hranice, a.s. (část výroby pro povrchové ošetření desek). Nátěrový systém (na akrylátové bázi) byl postupně aplikován v několika na sebe navazujících krocích (kombinace nanášení válci a stříkáním).

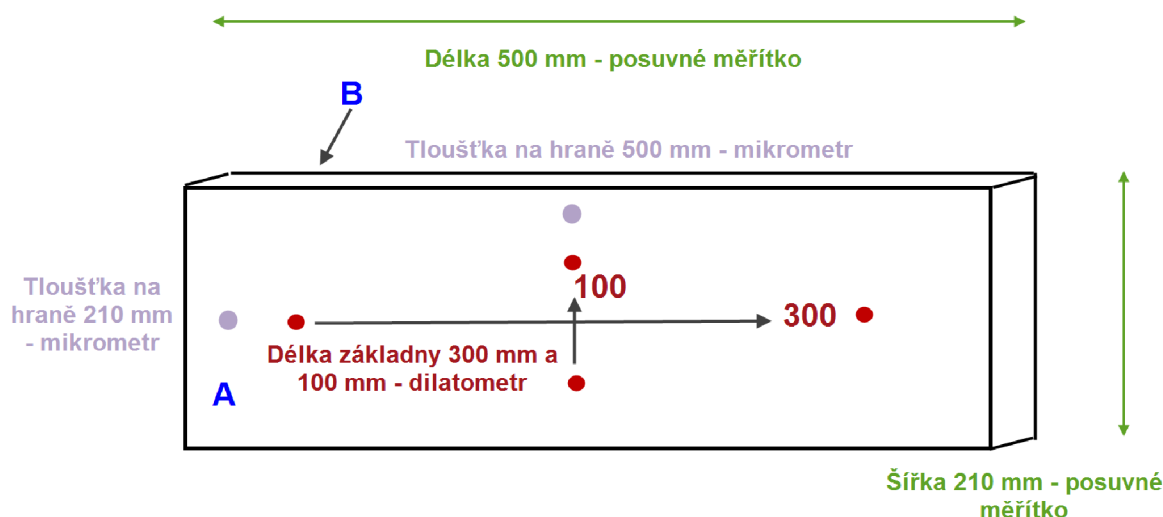
Pro testy byla připravena zkušební tělesa o rozměrech 500 mm × 210 mm × 12 mm. Tento formát odpovídá reálně produkovaným cementotřískovým deskám používaným např. pro velkoformátové panely předsazených fasád (3,00 m × 1,25 m).

4.3. Postup testování

Cementotřískové desky obsahují poměrně vysoký podíl smrkového dřeva ve formě třísek. Proto tyto desky podléhají vlivem kolísání okolní relativní vlhkosti změnám jejich rozměrů, resp. objemu a hmotnosti. Rovnovážná vlhkost deskových výrobků závisí na průběhu změn vlhkosti. Při desorpci se při stejné relativní vlhkosti vzduchu ustaví vyšší rovnovážná vlhkost než při adsorpci; tento jev se nazývá hystereze [18.].

Dle ČSN EN 318 se rozměrová změna stanoví při adsorpci mezi 65 % a 85 % relativní vlhkosti vzduchu, tak i při desorpci mezi 65 % a 30 % relativní vlhkosti vzduchu. Dle normy jsou požadována zkušební tělesa o rozměrech (300 ± 2) mm × (50 ± 2) mm × t .

Postup pro realizaci experimentů v rámci vypracování bakalářské práce byl upraven tak, že byla použita zkušební tělesa svým formátem lépe charakterizující reálně používané cementotřískové desky ve stavebních konstrukcích a dále pak i z hlediska podrobnější analýzy sorpčních křivek. Konkrétně byly použity desky o rozměrech 500 mm × 210 mm × 12 mm. Nebyly sledovány změny pouze v intervalech 65 % až 85 % a 65 % až 30 %, ale bylo zvoleno posouzení změn parametrů desek vlivem sorpce podrobněji, a to při relativní vlhkosti vzduchu 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % a 96 %. Relativní vlhkost 0 % byla dosažena v sušárně (Memmert UF750). Ostatní zmíněné hodnoty relativní vlhkosti byly docíleny v komoře s možností nastavení požadované relativní vlhkosti a teploty (CTS C-20/350). Adsorpce a desorpce byla hodnocena tedy při vystavení cementotřískových desek zmíněným hodnotám relativní vlhkosti. Po ustálení hmotnosti byly vždy při dané relativní vlhkosti stanoveny všechny rozměry a hmotnost (viz schéma – Obr. 21)



Obr. 21: Schéma stanovení rozměrů (délky, šířky, tloušťky těles a délky základny vymezených přilepenými mosaznými terči)

Zkušební tělesa desek byla tedy po ustálení hmotnosti při dané relativní vlhkosti měřena a vážena. Měřena byla délka a šířka desek posuvným měřítkem s přesností 0,01 mm. Dále byla ve dvou bodech stanovena mikrometrem tloušťka, a to s přesností 0,001 mm. Na obou stranách zkušebních těles byly přilepeny mosazné terče se zářezy pro osazení dilatometrů. Ve směru délky byla dilatometrem měřena změna na základně o délce 300 mm s přesností měření 0,001 mm. Ve směru šířky byla dilatometrem měřena změna na základně o délce 100 mm s přesností měření 0,001 mm. Dilatometrem byly sledovány změny na rubové i lícové ploše desek, tj. strana A a B (viz Obr. 21).

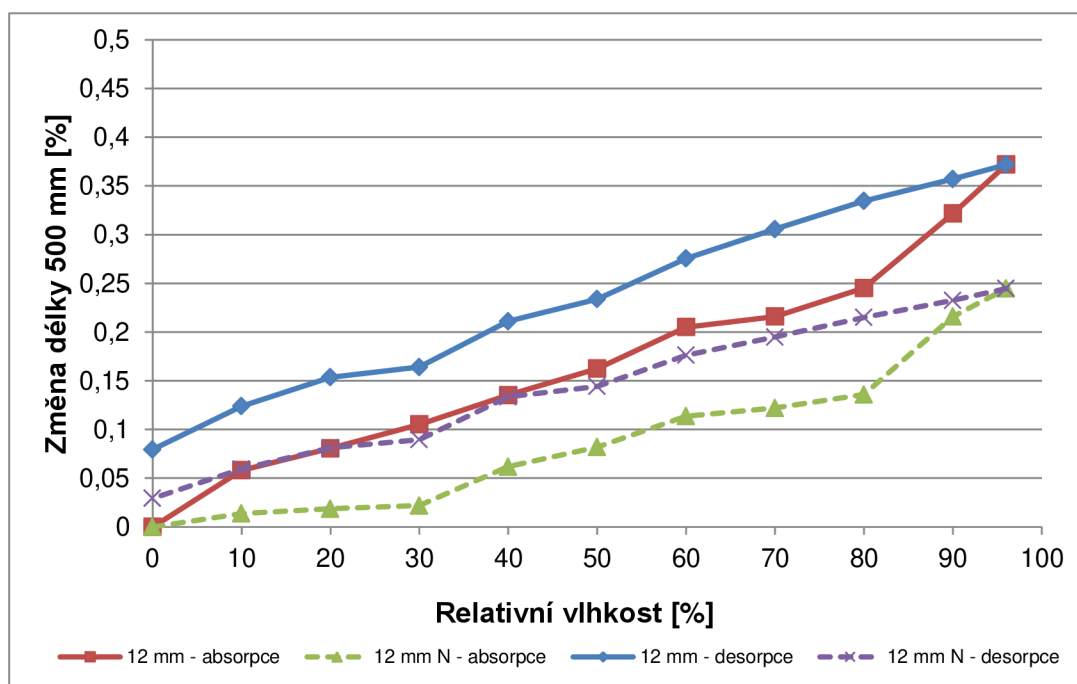
Rozměrové změny ve směru délky a šířky desek bylo možné posoudit na základě stanovení délky a šířky posuvným měřítkem a dále také stanovení délky základny 300 mm a 100 mm dilatometrem. Tloušťka byla hodnocena s ohledem na stanovení mikrometrem. Objemová hmotnost a objem byly stanoveny z rozměrů stanovených posuvným měřítkem a mikrometrem.

Každá sada cementotřískových desek se sestávala z celkem 6 zkušebních těles, kdy 3 tělesa byla připravena ve směru podélném a 3 tělesa ve směru příčném. Grafy v následující kapitole vždy uvádí pouze průměrné výsledky stanovení a to tak, že je vždy uveden průměr pro danou sadu měření bez zohlednění směru přípravy zkušebních těles. Pro změny rozměrů stanovené dilatometrem je vždy uváděn pouze aritmetický průměr z měření na straně A a B.

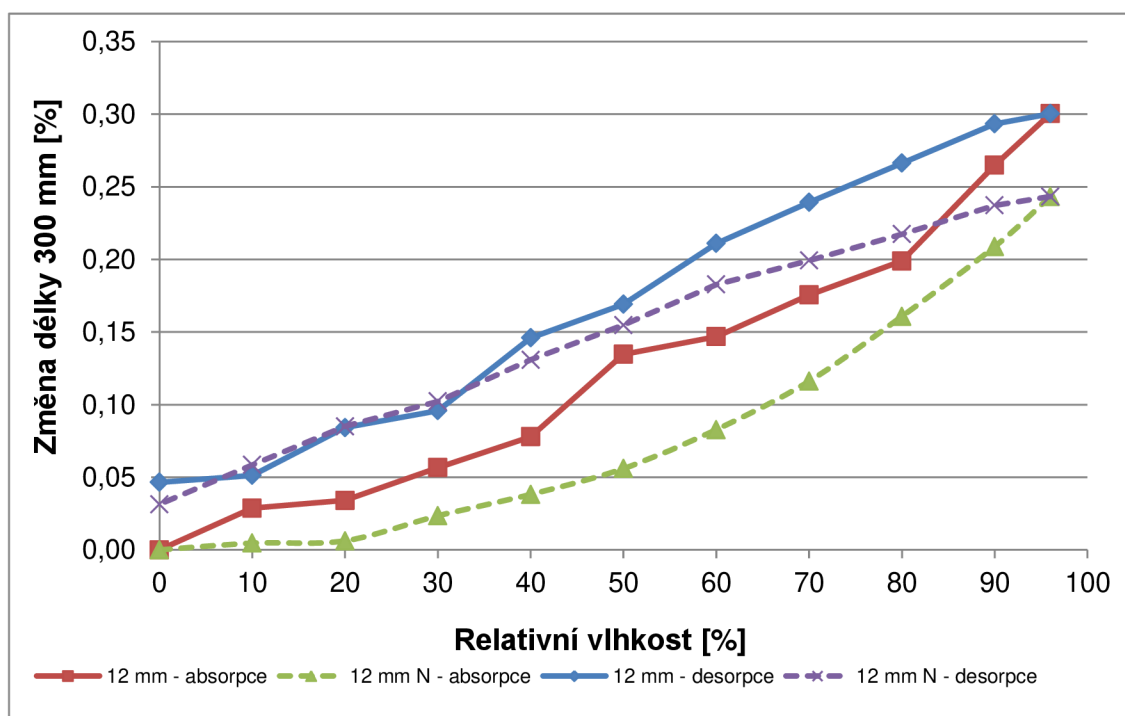
4.4. Výsledky a jejich diskuze

Následující grafy (viz Obr. 22 až 30) uvádí komparaci stanovení jednotlivých parametrů testovaných desek vlivem změn relativní vlhkosti. Nejprve jsou uvedeny výsledky stanovení jednotlivých rozměrů, dále pak objemu, hmotnosti a objemové hmotnosti.

Jak je patrné z následujícího grafu (viz Obr. 22) povrchové ošetření nátěrem se na změně délky (stanovené na hraně 500 mm) projevilo poměrně významně. Hned v počáteční fázi adsorpce došlo k výraznějšímu nárůstu délky desek bez nátěru. Při dosažení maximální relativní vlhkosti prostředí, tj. 96 % činil nárůst délky v případě povrchově neošetřené cementotřískové desky 0,37 % a deska opatřená nátěrovým systémem dosahovala nárůstu délky 0,24 %. Zajímavé je porovnání změn ve směru délky stanovené na základně o délce 300 mm. V případě cementotřískové desky bez povrchového ošetření nátěrovým systémem dochází k nárůstu délky o 0,24 %, což je obdobná hodnota, jako nárůst stanovený na hraně o délce 500 mm. Desky s nátěrovým systémem se již vyznačovaly rozdílným nárůstem a to konkrétně 0,30 %, což je v porovnání s hodnotou nárůstu zjištěnou na hraně o délce 500 mm znatelněji nižší výsledek. Také průběh desorpční křivky desky s nátěrovým systémem je poněkud odlišnější v případě délky 300 mm a 500 mm. Při stanovení rozměrových změn na hraně o délce 300 mm se konečná fáze desorpční křivky v rozmezí 10 % až 40 % přibližně shoduje pro oba typy testovaných cementotřískových desek.



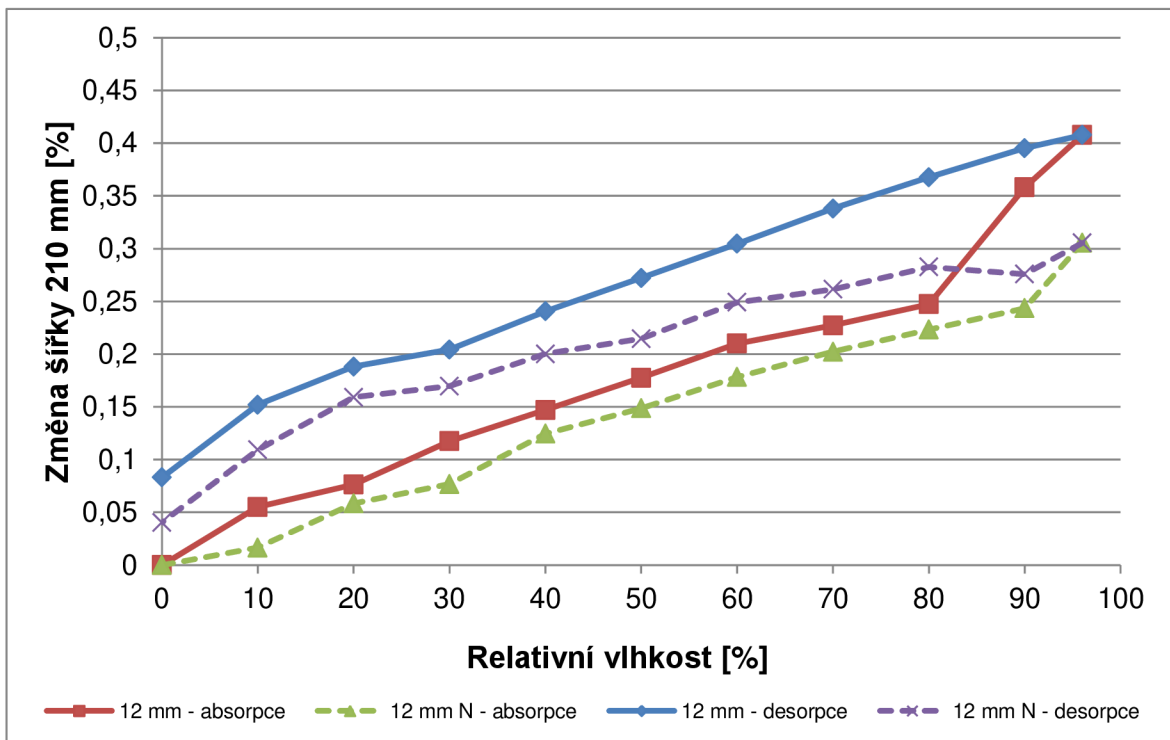
Obr. 22: Sorpční křivky – změny stanovené posuvným měřítkem ve směru délky zkušebních těles



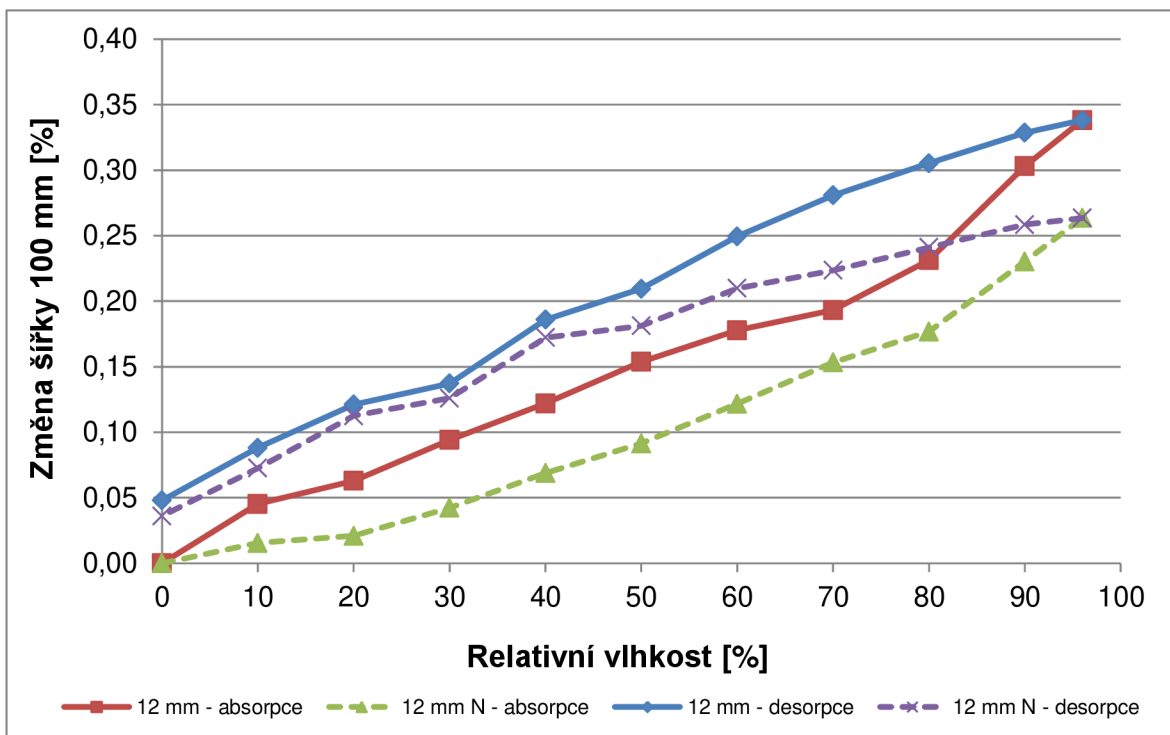
Obr. 23: Sorpční křivky – změny stanovené dilatometrem ve směru délky na základně 300 mm

Povrchové ošetření nátěrem se na změně šířky (stanovené na hraně 210 mm) projevilo poměrně významně (viz Obr. 24). Obdobně jako v případě stanovení změn délky, hned v počáteční fázi adsorpce (při nárůstu relativní vlhkosti na 10 %) došlo k výraznějšímu nárůstu šířky desky bez nátěru.

Při dosažení maximální relativní vlhkosti prostředí, tj. 96 % činil nárůst ve směru šířky na hraně 210 mm v případě povrchově neošetřené cementotřískové desky 0,41 % a deska opatřená nátěrovým systémem dosahovala nárůstu délky 0,31 %. Z hlediska porovnání změn ve směru šířky stanovené na základně o délce 100 mm a hraně o délce 210 mm je patrné, že hodnoty nárůstu šířky stanovené na menší základně jsou nižší, a to v případě obou testovaných variant desek. Hodnoty nárůstu v případě cementotřískové desky bez povrchového ošetření nátěrovým systémem ve směru šířky (základna o délce 100 mm) dosahují 0,34 %. Desky s nátěrovým systémem se vyznačovaly nárůstem 0,26 %. Zjištěné hodnoty tedy poukazují na vyšší nárůst v případě stanovení na hraně o délce 210 mm. Trendy sorpčních a desorpčních křivek jsou velmi podobné. Lze tedy usuzovat na poměrně dobrou vypovídající schopnost metody stanovení pomocí posuvného měřítka v porovnání s dilatometrickým měřením. Zajímavé zjištění je, že stejně jako v případě délky i desorpční křivky šířky (stanovené na základně o délce 100 mm) vykazují obdobný trend v intervalu relativní vlhkosti 0 % až 40 %, tj. konečná fáze desorpční křivky se v této oblasti přibližně shoduje pro oba typy testovaných cementotřískových desek.



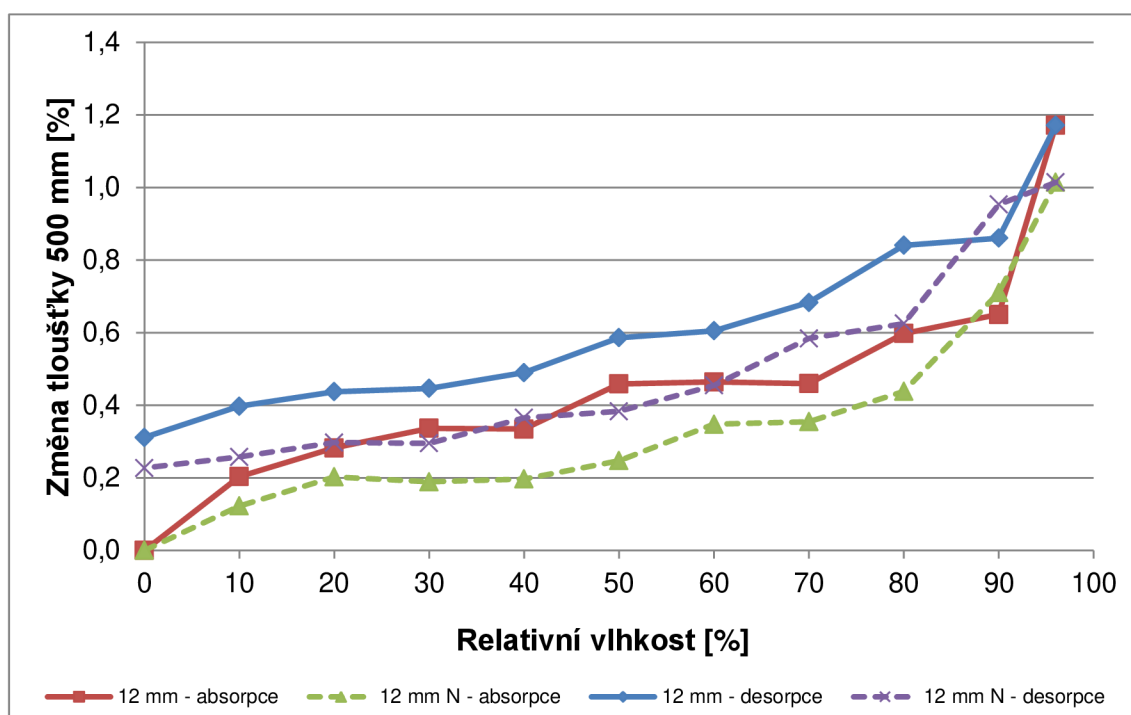
Obr. 24: Sorpční křivky – změny stanovené posuvným měřítkem ve směru šířky zkušebních těles



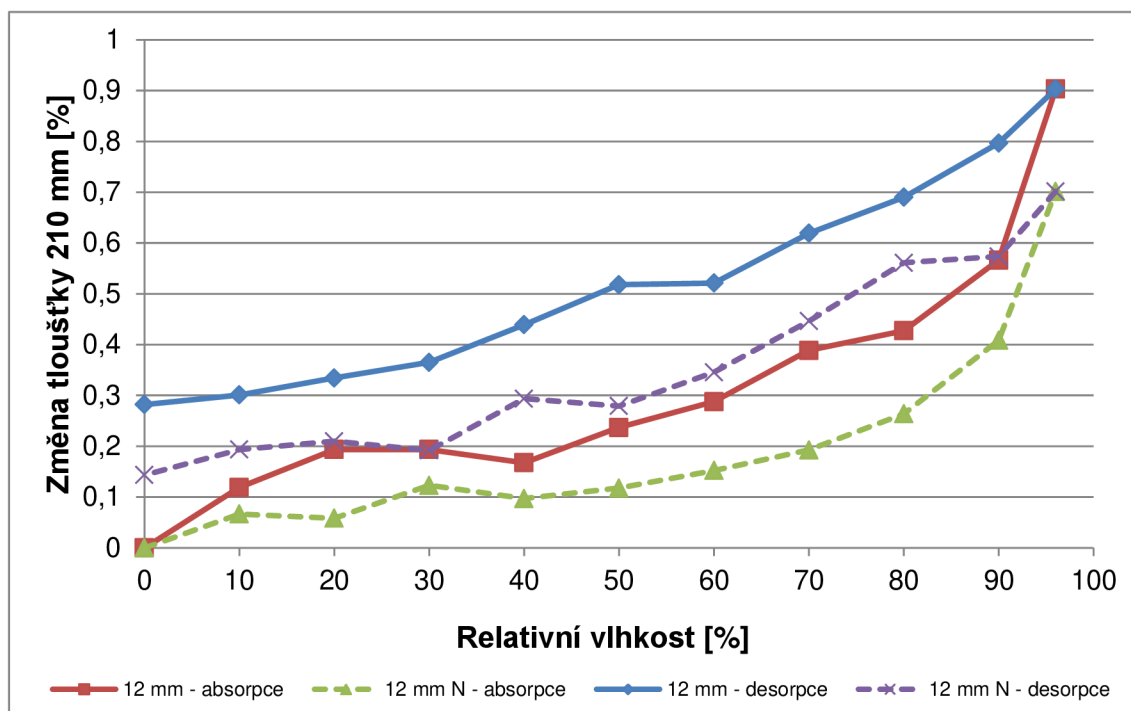
Obr. 25: Sorpční křivky – změny stanovené dilatometrem ve směru šířky na základně 100 mm

Tloušťka se s nárůstem relativní vlhkosti okolí stejně jako ostatní rozměry desek zvyšovala (viz Obr. 26). V porovnání s rozměry ve směru délky a šířky ovšem dosahovaly

změny tloušťky výrazně vyšších hodnot, kdy na hraně ve směru délky (500 mm) byl stanoven po expozici v prostředí o relativní vlhkosti 96 % přírůstek tloušťky 1,17 %, resp. 1,01 % u desek povrchově neošetřených, resp. s aplikovaným nátěrovým systémem.



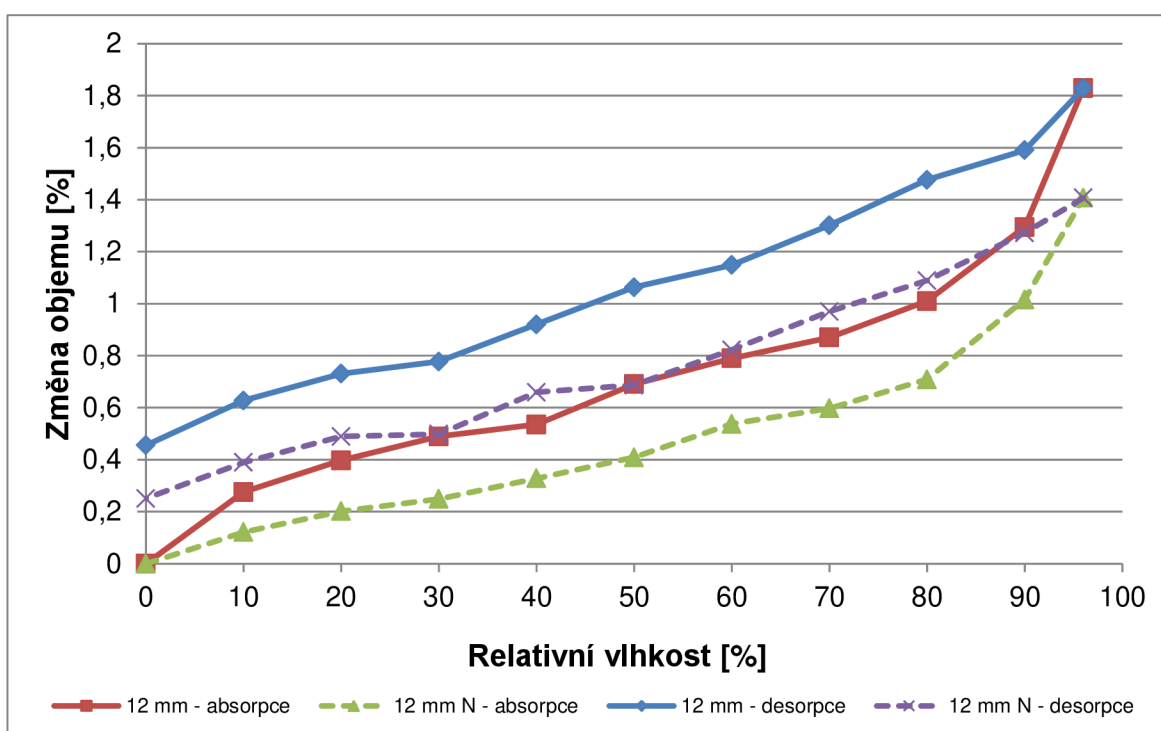
Obr. 26: Sorpční křivky – změny tloušťky stanovené mikrometrem na hraně o délce 500 mm



Obr. 27: Sorpční křivky – změny tloušťky stanovené mikrometrem na hraně o délce 210 mm

Na hraně ve směru šířky (210 mm) byl stanoven maximální nárůst tloušťky 0,70 %, resp. 0,90 % v případě desek povrchově neošetřených, resp. s aplikovaným nátěrovým systémem. Průběh sorpčních a desorpčních křivek lze charakterizovat jako nejvíce kolísavý v porovnání s těmito křivkami v případě délky a tloušťky.

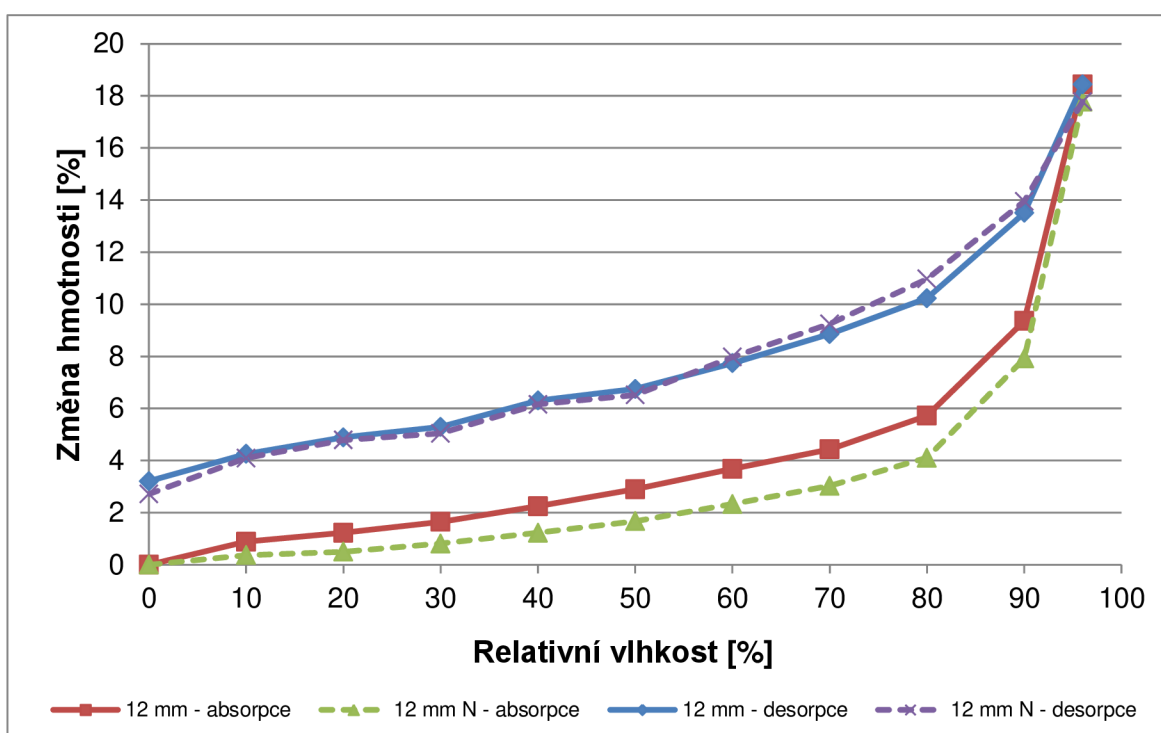
Maximální objemové změny (viz Obr. 28) dosahují 1,83 % u desek bez ošetření povrchu nátěrovým systémem a 1,41 % při aplikaci nátěrových hmot. V oblasti dosažení maximální relativní vlhkosti, v tomto případě 96 %, je patrný výraznější nárůst (sorpce) a pokles (desorpce) objemu desek v oblasti 80 % až 96 % (nárůst), resp. 96 % až 90 % (pokles). V této oblasti zvýšené relativní vlhkosti okolního vzduchu se tedy vliv povrchového ošetření desek nátěrem projeví poměrně výrazně.



Obr. 28: Sorpční křivky – změny objemu (z rozměrů stanovených posuvným měřítkem a mikrometrem)

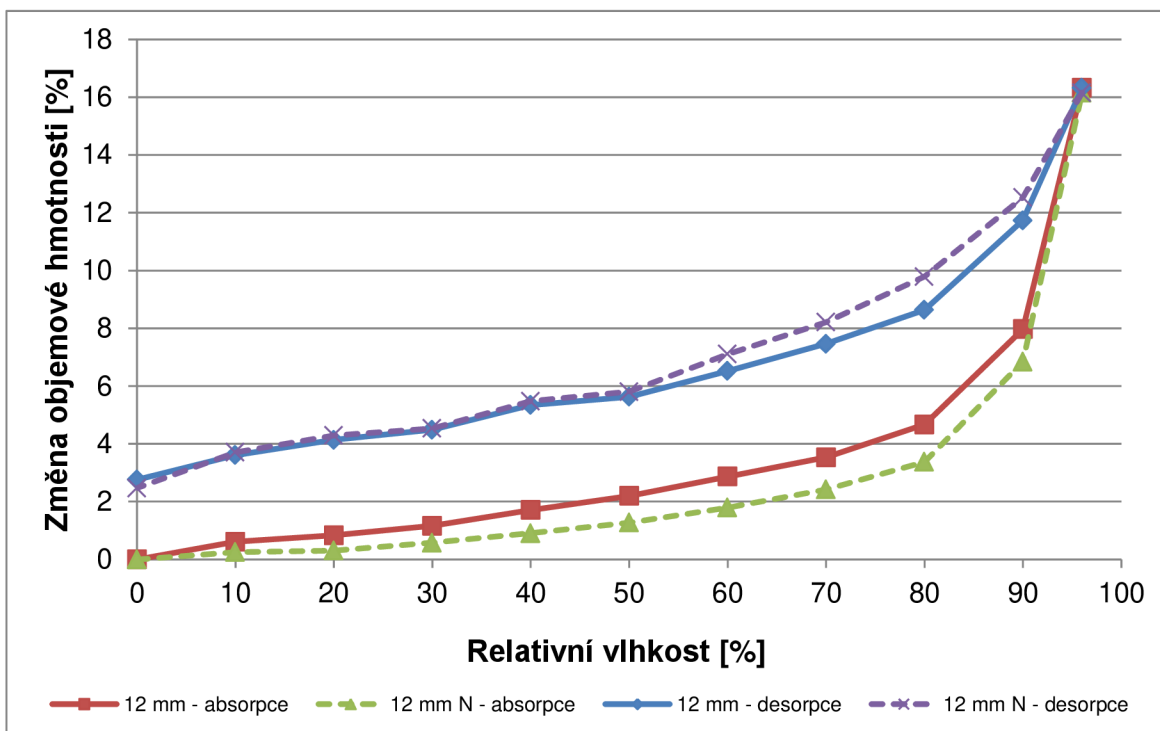
Změny hmotnosti (viz Obr. 29) lze v porovnání s kolísáním rozměrů charakterizovat jako nevýraznější. Při vystavení cementotřískových desek relativní vlhkosti byla stanovena průměrná změna hmotnosti 18,44 %, resp. 17,78 % a to pro desky povrchově neošetřené, resp. desky s aplikovaným nátěrovým systémem. V porovnání s rozměrovými a objemovými změnami byl zaznamenán menší rozdíl v průběhu křivek změn hmotnosti vlivem sorpce a desorpce vlivem povrchového ošetření desek nátěrovým systémem. Účinek nátěrového systému tedy není v případě změn hmotnosti tak výrazný, jako u rozměrových, resp. objemových změn cementotřískových desek. V oblasti dosažení

maximální relativní vlhkosti, v tomto případě 96 %, je patrný výraznější nárůst (sorpce) a pokles (desorpce) hmotnosti desek v oblasti 80 % až 96 % (nárůst), resp. 96 % až 90 % (pokles). V této oblasti zvýšené relativní vlhkosti okolního vzduchu se tedy vliv povrchového ošetření desek nátěrem projevuje poměrně výrazně, kdy velmi strmý nárůst hmotnosti byl zaznamenán při přechodu z prostředí o relativní vlhkosti okolního vzduchu 90 % na 96 %. Zde je podstatné zmínit, že k ustálení hmotnosti v tomto rozmezí vlhkosti došlo za cca 21 dní, což je v porovnání s ostatními vlhkostními intervaly značně vyšší hodnota. Při změnách vlhkosti do 50 % došlo k ustálení hmotnosti za cca 3 až 5 dní, do 80 % cca za 5 až 10 dní.



Obr. 29: Sorpční křivky – změny hmotnosti

Změny objemové hmotnosti (viz Obr. 30) vlivem sorpce a desorpce dosahují velmi podobných hodnot a průběhů křivek jako v případě hmotnosti. Maximální změna objemové hmotnosti 16,32 % a 16,16 %, tj. desky bez nátěrového systému a povrchově ošetřené.



Obr. 30: Sorpční křivky – změny objemové hmotnosti

Z hmotnostních změn a změn objemové hmotnosti vlivem sorpce a desorpce lze usuzovat na skutečnost, že nátěrový systém sice omezí pronikání vlhkosti do desek, nicméně není 100% účinný, což potvrzují trendy křivek. Nejprve dojde při nárůstu relativní vlhkosti k výraznějšímu zvýšení hmotnosti, resp. objemové hmotnosti u desek bez povrchového ošetření, tj. je umožněn lepší průnik do struktury desek bez nátěrového systému. Dále od 90 % vlhkosti následuje strmý nárůst, který je poměrně vyrovnaný pro oba typy desek. Ve fázi poklesu relativní vlhkosti pak rychleji ztrácí hmotnost deska bez povrchového ošetření nátěrem, tj. nátěr částečně zamezuje úniku vlhkosti ze struktury desky. Jedná se ovšem spíše zanedbatelný rozdíl. Při snižování relativní vlhkosti v oblasti 60 % až 0 % se křivky poklesu hmotnosti, resp. objemové hmotnosti vzájemně kopírují.

Na základě stanovených hodnot změn rozměrů a hmotnosti lze konstatovat následující:

- V případě rozměrových změn cementotřískových desek byl zaznamenán výrazný rozdíl mezi nenatřenou a natřenou cementotřískovou deskou. Došlo ke snížení délkových, šířkových a tloušťkových rozměrových změn u cementotřískové desky opatřené nátěrem.
- Nejvýraznější rozměrové změny vlivem proměnlivé relativní vlhkosti byly zaznamenány při stanovení tloušťky (0,9 % až 1,17 % - deska bez povrchové úpravy, 0,70 % až 1,01 % - deska s nátěrovým systémem).
- Z měření byl zaznamenán rozdíl při stanovení změn dilatometrem a posuvným měřítkem. Z hlediska měření je dilatometr přesnější (zaokrouhlení

na tisíciny), ale mnohem pracnější se srovnáním s posuvným měřítkem (příprava měřicích bodů atd.). Také je třeba brát v potaz, že změny stanovené pomocí posuvného měřítka jsou větší než při použití dilatometru, z důvodu měření celé desky a tím pádem dosažení reálnějšího výsledku oproti dilatometru, kde se měří menší vzdálenost, než je rozměr desky.

- Nevratná změna objemu byla v případě desek opatřených nátěrovým systémem (0,25 %) přibližně téměř o 50 % nižší, než bylo zjištěno na deskách bez povrchové úpravy (0,46 %).
- Hmotnostní rozdíl mezi natřenou a nenatřenou deskou nebyl zanedbatelný. Nátěr měl účinek hned od počátečního měření při 10 % s podstatným rozdílem celkové hmotnosti až do relativní vlhkosti 96 %, kde se pak hmotnost vyrovnala deskám bez nátěru.
- Křivky adsorpce a desorpce hmotnosti a objemové hmotnosti jsou prakticky totožné pouze s mírným rozdílem maxima.
- Stanovené výsledky potvrzují, že použití nátěru má na cementotřískové desky výrazný pozitivní dopad při snížení rozměrových, resp. objemových změnách, tím pádem zajištění lepší rozměrové stability a snížení efektu bobtnání. Mírný rozdíl je při porovnání objemu, resp. objemové hmotnosti a naprosto zanedbatelný při dosažení relativní vlhkosti vzduchu 96 %.
- Přesto, že v odborné literatuře lze nalézt poznatky o výzkumu, který se zabývá cyklickým působením vlhkosti (jak kapalné, tak vzdušné), což je mírně odlišné od postupu v bakalářské práci, některé výstupy poměrně dobře korespondují s výsledky bakalářské práce. Např. Fan a kol. [1.] vádí mimo jiné významné výsledky v souvislosti s hysterezí a nevratnými změnami hmotnosti a délky při cyklickém působení relativní vlhkosti na cementotřískové desky, kde je velmi dobře patrný rozdíl mezi deskami povrchově ošetřenými a bez nátěru. Desky s aplikovaným nátěrovým systémem s ohledem na omezení přístupu vlhkosti do jejich struktury nepodléhají nevratným změnám v tak výrazném měřítku. Toto se potvrdilo i experimenty v bakalářské práci.

5. Závěr

V rámci bakalářské práce byla v souladu se zadáním analyzována problematika především rozměrových změn s doplněním o hmotnostní změny materiálů v souvislosti s vlhkostí okolního prostředí, v němž se nachází. Konkrétně byla pozornost zaměřena na deskové stavební materiály kombinující cementovou matici a organické plnivo. Zadaná problematika byla posouzena jak v teoretické, tak experimentální rovině.

Teoretické poznatky i výsledky experimentů prokázaly značnou závislost objemových změn v souvislosti se změnou vlhkosti okolního prostředí, v němž jsou uloženy materiály obsahující organické složky.

Průzkum vědecké literatury zahrnuje poznatky týkající se jak možného vlivu úpravy samotného organického plniva, tak i úprav desek jako celku povrchovou úpravou. Typickým sledovaným parametrem přitom byla změna hmotnosti a změna délky anebo celého objemu, bez rozlišení zejména pro tloušťku materiálu. Poznatky uvedené v teoretické části poukazují na obsáhlost a důležitost zkoumané oblasti stejně jako na některé nedostatky, které jsou příležitostí pro doplňující výzkum.

S ohledem na podrobný teoretický průzkum, studium odborné literatury a technických norem bylo navrženo experimentální ověření chování cementotřískových desek (zkušební tělesa dodaná spol. CIDEM Hranice, a.s.) při změnách relativní vlhkosti od 0 % do 96 % s krokovým nárůstem, resp. poklesem po 10 %. Důraz byl kladen na rozměrové a hmotnostní změny, z čehož bylo možné stanovit a hodnotit změny objemu, resp. objemové hmotnosti.

Laboratorním experimentem bylo prokázáno, že objemovým změnám obdobně podléhají i cementotřískové desky, tvořené cementovou maticí a smrkovými třískami. Přínosem práce je prokázání, že vliv změn v důsledku vlhkosti není rovnoměrný ve všech třech směrech. V rámci tloušťky desek je patrný vliv výrazně vyšší než ve směru podélném a příčném. Tento jev souvisí s orientací třísek, kdy vlivem lisování dochází k částečnému usměrnění třísek právě do směru podélného a příčného, na úkor směru tloušťky. Také jsou v této práci podrobně uvedeny absorpční a desorpční křivky (po 10 %) pro jednotlivé rozměry desek včetně hmotnosti, které nejsou u takového výzkumu běžné. V případě podélného a příčného směru (délka a šířka) zkušebních těles byly také porovnány dvě metody stanovení (posuvné měřítko a dilatometr). Podstatné a přínosné také je, že bylo ověřeno chování reálně vyráběných variant desek s nátěrem a bez nátěru při změnách relativní vlhkosti okolí.

6. Použitá literatura

- [1.] M.Z. Fan, P.W. Bonfield, J.M. Dinwoodie, J. Boxall, M.C. Breese, Dimensional instability of cement-bonded particleboard: the effect of surface coating, *Cement and concrete research* 34 (2004) str. 1189-1197, ISSN 0008-8846.
- [2.] Ramadan A. Nasser, Mohamed Z.M. Salem, Hamad A. Al-Mefarrej, Ibrahim M. Aref, Use of tree pruning wastes for manufacturing of wood reinforced cement composites, *Cement and concrete composites* 72 (2016) str. 246-256.
- [3.] Wan Noor Aidawati Wan Nadhari, Mohammed Danish, Muhammad Syafiq Ridhwan Mohd Nasir, Boon Jia Geng, Mechanical properties and dimensional stability of particleboard fabricated from steam pre-treated banana trunk waste particles, *Journal of building engineering* 26 (2019) 100848.
- [4.] Eleni Makarona, Chara Koutzagioti, Constantinos Salmas, George Ntalos, Maria-Christina Skoulikidou, Christos Tsamis, Enhancing wood resistance to humidity with nanostructured ZnO coating, *Nano-Structures & Nano-Objects* 10 (2017) str. 57-68.
- [5.] V. Caprai, F. Gauvin, K. Schollbach, H.J.H. Brouwers, Influence of the spruce strands hygroscopic behaviour on the performances of wood-cement composites, *Construction and building materials* 166 (2018) str. 522-530
- [6.] KONEČNÝ, D. Vývoj cementotřískových desek s matricí modifikovaného složení. Brno, 2014. 119 s., 1 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
- [7.] Cetrís. [online]. [cit. 2017-11-19]. Dostupné z: http://www.cetrís.cz/pagedata_cz/download/511_ppp_kap-02.pdf
- [8.] Cetrís. Výrobní program. [online]. [cit. 2017-06-19]. Dostupné z: http://www.cetrís.cz/pagedata_cz/download/511_ppp_kap-02.pdf
- [9.] MELO, M. Analýza možnosti využití odpadů vznikajících při výrobě cementotřískových desek. Brno, 2013. 112 s., 3 s. příl., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
- [10.] Vodní sklo. Základní informace o vodním sklu. [online]. [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <http://www.vodnisklo.cz/cz/clanky/zakladni-informace-o-vodnim-skle>
- [11.] Mendelova univerzita. Význam půdních mikroorganismů pro produkční a mimoprodukční funkce půdy. [online]. [cit. 2017-10-09]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=4009&typ=html

- [12.] Dřevovýroba Křenek. [online]. [cit. 2017-10-09]. Dostupné z: http://www.drevovyrobakrenek.cz/?page_id=86
- [13.] ROHÁČEK, L. Možnosti využití příměsí pro vodonepropustné betony. Brno, 2016. 71 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Adam Hubáček, Ph.D.
- [14.] ČSN EN 197-1. Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. ČNI. 2001
- [15.] Zongying Fu, Yongdong Zhou, Xin Gao, Honghai Liu, Fan Zhou, Changes of water related properties in radiata pine wood due to heat treatment, Construction and building materials 227 (2019) 116692
- [16.] Sheikh Ali Ahmed, Tom Morén, Margot Sehlstedt-Persson, Asa Blom, Effect of oil impregnation on water repellency, dimensional stability and mold susceptibility of thermally modified European aspen and downy birch wood, J Wood science (2017) str. 74-82
- [17.] M.Z. Fan, P.W. Bonfield, J.M. Dinwoodie, J. Boxall, M.C. Breese, Dimensional instability of cement-bonded particleboard: Mechanisms of deformations of CBPB, Cement and Concrete Research 29 (1999) str. 923-932
- [18.] ČSN EN 318. Desky ze dřeva – Stanovení rozměrových změn v závislosti na změnách relativní vlhkosti vzduchu. ČNI, 2003
- [19.] Cetris. [online]. [2013-12-14]. Dostupné z: <http://cetris.cz/rady-ainformace/vlastnosti-desek-cetris/>
- [20.] Christensen GN, Kelsey KE (1959) Die Sorption von Wasserdampf durch die chemischen Bestandteile des Holzes. Holz Roh Werkst 17:189–203
- [21.] Skaar C (1984) Wood-water relationships. In: Rowell R (ed) The chemistry of solid wood. Advances in Chemistry Series, American Chemical Society, Washington, DC, pp 127–172
- [22.] Niemz P (2010) Water absorption of wood and wood-based panels—significant influencing factors. In: Thoemen H et al (eds) Wood-based panels. An introduction for specialists. Brunel University Press, London
- [23.] Skaar C (1972) Water in wood, 1st edn. Syracuse University Press, NY
- [24.] Suchsland O (2004) The swelling and shrinking of wood. A practical technology primer. Forest Products Society, Madison, WI
- [25.] Eckelman CA (1998) The shrinking and swelling of wood and its effect on furniture. Forest Natural Resources 163:1–26
- [26.] Manuel Raul Pelaez-Samaniego, Vikram Yadama, Eini Lowell, Raul Espinoza-Herrera, A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties, Wood Science technologie (2013) 47: str. 1285-1319

- [27.] Joseph Adeola Fuwape, James Sunday Fabiyi, Edward Olusola Osuntuyi, Technical assessment of three layered cemen-bonded boards produced from wastepaper and sawdust, *Waster Management* 27 (2007) str. 1611-1616
- [28.] M. Li, V. Nicolas, M. Khelifa, M. El Ganaoui, V. Fierro, A. Celzard, Modelling the hydrothermal behaviour of cement-bonded wood composite panels as permanent formwork, *Industrial crops & Products* 142 (2019) 111784
- [29.] Lelievre, D., Colinart, T., Glouannec, P., 2014. Hygrothermal behavior of bio-based building materials including hysteresis effects: experimental and numerical analyses. *Energy Build.* 84, 617–627. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.013>.
- [30.] Palumbo, M., Lacasta, A.M., Holcroft, N., Shea, A., Walker, P., 2016. Determination of hygrothermal parameters of experimental and commercial bio-based insulation materials. *Constr. Build. Mater.* 124, 269–275. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.106>.