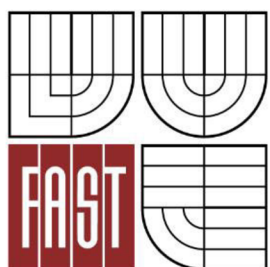




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**APLIKACE RYCHLE OBNOVITELNÝCH SUROVIN V
DESKOVÝCH MATERIÁLECH S CEMENTOVÝM POJIVEM**
APPLICATION OF RAPIDLY RENEWABLE RAW MATERIALS IN CEMENT-BONDED BOARDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MATĚJ ČEŘOVSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. **JIŘÍ BYDŽOVSKÝ, CSc.**



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 Matěj Čeřovský

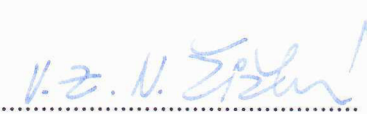
Název Aplikace rychle obnovitelných surovin v deskových materiálech s cementovým pojivem

Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

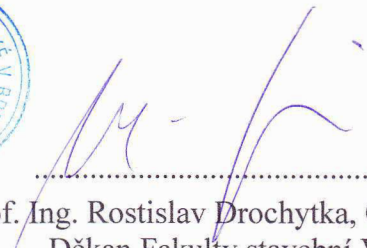
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2013

Datum odevzdání bakalářské práce 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Bareš, R. Kompozitní materiály, SNTL Praha 1988
Agarwal, B., Broutman, L. Vláknové kompozity, SNTL Praha 1987
Šauman, Z. Maltoviny I, PC-DIR Brno s.r.o., 1993
Svoboda L. a kol. Stavební hmoty. Jaga Bratislava, 2004. 471 s. ISBN 80-8076-007-1.
Chybík, J. Přírodní stavební materiály, Grada Publishing, 2009
Příslušné české technické normy zabývající se deskovými materiály pojenými cementem.
www.cetris.cz
www.cembrit.cz
www.scopus.com
www.scientific.net
www.sciencedirect.com

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V současnosti jsou při výrobě stavebních prvků často využívány rychle obnovitelné suroviny. Jejich obliba je dána především jejich dobrými fyzikálně-mechanickými i tepelně-technickými vlastnostmi. Některé druhy se svými vlastnostmi velmi přibližují dřevní hmotě. Cílem práce je vyhledat možné druhy rychle obnovitelných surovin, potenciálně použitelných pro výrobu cementem pojených desek. V rámci bakalářské práce jsou požadovány následující výstupy:

1. Shromáždění základních poznatků o deskových materiálech pojených cementem (např. cementotřískové a cementovláknité desky) – výroba, suroviny, vlastnosti, aplikace.
2. Shromáždění základních poznatků o rychle obnovitelných surovinách – vlastnosti, nejčastější aplikace.
3. Studium odborných publikací zaměřených na již probíhající výzkum v oblasti aplikace rychle obnovitelných surovin do matrice deskových materiálů pojených cementem.
4. Zmapování především tuzemské situace z hlediska produkce a dostupnosti potenciálně vhodných alternativních rychle obnovitelných surovin s ohledem na možnost parciální či úplné náhrady plniva v deskách pojených cementem.
5. Zhodnocení všech získaných poznatků s úvahami a doporučeními pro případný navazující výzkum v této oblasti, tj. výběr vhodných rychle obnovitelných surovin, návrh receptur deskových materiálů, odzkoušení základních vlastností atd.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

V dnešní době pochází většina surovin pro stavební účely z neobnovitelných zdrojů. Z toho vyplývá potřeba použití většího podílu obnovitelných surovin pro udržení stávající produkce. Práce se zabývá využitím rychle obnovitelných surovin v deskových materiálech s cementovým pojivem, srovnání vlastností různých druhů dřevních hmot, konopí i méně běžných surovin.

Klíčová slova

Rychle obnovitelné suroviny, cementotřísková deska, cementové kompozity, dřevní tříska

Abstract

Nowadays come most raw materials for the construction of non-renewable resources. This implies the need to use a larger proportion of renewable materials, to maintain current production. This work deals with the use of rapidly renewable materials in board materials with cement binder, comparing the characteristics of different kinds of wood materials, cannabis and less common ingredients.

Keywords

Rapidly renewable materials, cement-bonded wood particle board, cement composites, wood chips

Bibliografická citace VŠKP

Matěj Čeřovský *Aplikace rychle obnovitelných surovin v deskových materiálech s cementovým pojivem*. Brno, 2014. 54 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25.5.2014

.....
podpis autora
Matěj Čerovský

Poděkování

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Bydžovskému, CSc. a Ing. Šárce Keprdové za pomoc, trpělivost a užitečné odborné rady při psaní této práce.

1	Úvod	9
2	Cíl práce	10
3	Běžně užívané deskové materiály	11
3.1	Cementotřískové desky	11
3.1.1	Cementotřískové desky z jemných třísek	12
3.1.2	Cementotřískové desky z hrubých třísek	12
3.1.3	Desky z dřevních vláken	13
3.2	Používané materiály	13
3.2.1	Pojiva	13
3.2.1.1	Portlandský cement	13
3.2.1.2	Hořčnatá maltovina	14
3.3	Plnivo	15
3.3.1	Obecné vlastnosti dřeva	15
3.3.1.1	Složení	16
3.3.2	Fyzikální vlastnosti dřeva	16
3.3.3	Běžně užívané druhy dřeva	17
3.4	Přísady a příměsi	18
3.4.1	Vodní sklo	19
3.4.2	Síran hlinitý	19
3.4.3	Chlorid vápenatý	19
4	Někteří výrobci cementotřískových a vláknocementových desek	20
4.1	Výrobci v České republice	20
4.1.1	Společnost CIDEM Hranice a.s. - Divize CETRIS	20
4.1.2	Cembrit a.s.	20
4.1.3	Fermacell GmbH	20
4.1.4	VELOX – WERK s.r.o Hranice	21
4.2	V zahraničí	21
4.2.1	Swisspearl	21

4.2.2	Ameriform.....	21
4.2.3	Euroform Products.....	21
5	Rychle obnovitelné zdroje	22
5.1	Materiály.....	22
5.1.1	Použitelné v tuzemsku	22
5.1.1.1	Topol	22
5.1.1.2	Sláma.....	26
5.1.1.3	Konopí.....	28
5.1.2	Pro zahraniční využití	30
5.1.2.1	Kokosová vlákna	30
5.1.2.2	Bagasa	36
6	Dostupnost surovin pro tuzemskou výrobu	44
7	Diskuse.....	46
8	Závěr	48
9	Seznam použité literatury	49
10	Seznam obrázků.....	52
11	Seznam tabulek	54

1 Úvod

Cementotřískové desky a desky z dřevité vlny jsou dnes hojně využívány pro rozmanité stavební účely. Dají se využít pro konstrukci stěn, podlah, fasád, střech, podhledů, balkonů, jako ztracené bednění a pro speciální účely. Jsou oblíbené pro své mechanické vlastnosti, nízkou objemovou hmotnost, to znamená menší náklady na dopravu a snadnou manipulaci, dále snadnou opracovatelnost běžným nářadím, pro své tepelně-technické vlastnosti a pro svou nízkou cenu. Druhem plniva, rozměry a objemovou hmotností se dají silně ovlivňovat výsledné vlastnosti, což vede k velké variabilitě výrobků v konstrukčním, tepelně izolačním i zvukově izolačním využití.

Jako plnivo se dají využívat rychle rostoucí rostliny, zbytky z jiného zpracování, případně organické odpady jako papír. Tím se šetří náklady, snižuje výsledná cena, zároveň roste ekologická hodnota využíváním obnovitelných zdrojů a odpadů. Tyto materiály mají minimální hodnoty svázané spotřeby energie a svázaných emisí CO₂ a SO₂. [1]

Mezi nevýhody přírodních materiálů patří nutnost použití přísad a úpravy, zejména pro zlepšení tuhnutí cementu a zvýšení výsledné pevnosti. Hlavní vliv na tyto negativní vlastnosti mají složky dřevní hmoty (třísloviny, polysacharidy, lignin). Pro použití v interiéru je vhodné použít hořečnatá pojiva. [2]



Obrázek 1: Ukázka aplikací desek na bázi cementu v interiéru a exteriéru [10, 11]

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit současnou výrobu desek s cementovým pojivem a běžně aplikovanými surovinami s funkcí plniva. Jsou zde popsány užívané suroviny a pracovní postupy při jejich výrobě, je uvedeno jejich použití a některé vlastnosti. V této práci jsou shrnuty informace o rychle obnovitelných zdrojích materiálů využitelných jako plnivo. Jsou uvedeny jejich fyzikální vlastnosti, aplikace, hlavní výhody i nevýhody oproti běžně užívaným materiálům. Jsou zpracována data z vědeckých výzkumů týkajících se využití nových i stávajících rychle obnovitelných surovin pro desky s cementovým pojivem. Práce je zaměřena na suroviny a postupy upotřebitelné v tuzemsku, pro výrobu cementotřískových a vláknocementových desek. Součástí práce je i seznámení s některými informacemi o užití rychle obnovitelných materiálů v zahraničí. Výsledkem práce je porovnání mechanických vlastností, dostupnosti pro výrobu (pro částečnou nebo úplnou náhradu stávajících plniv). Zohledněna je vhodnost těchto rychle obnovitelných surovin pro výrobu a stavební využití. Jsou zhodnoceny postupy při jejich zpracování pro deskové materiály s cementovým pojivem, specifické pro daný materiál.

3 Běžně užívané deskové materiály

Desky vznikají spojením za využití cementu a rozdělené dřevní nebo příbuzné hmoty (štěpka, tříska, vlákno atd.). Tím získáme variabilní tvary užitečné jako velkoplošné konstrukční desky, tepelně a zvukově izolační desky atd. Tyto materiály vykazují menší vlhkostní i teplotní roztažnost než masivní dřevo. Můžeme změnit například anizotropnost daného materiálů na homogenní chování, případně anizotropní pouze ve dvou směrech nebo snížit objemovou hmotnost podle zpracování dřevní hmoty. Mezi další výhody těchto materiálů patří vyšší pevnost v ohybu, tlaku či v tahu, odolnost proti vodě či požáru a relativně nízká cena. Výroba kompozitních deskových materiálů také umožňuje využívání materiálů, které by nebyly jinak efektivně využitelné pro některé vady a nedostatky projevující se při použití v celku nebo bez vhodné úpravy.[2]

3.1 Cementotřískové desky

Cementotřískové desky jsou vyráběny lisováním z částic na bázi dřeva nebo jiných rostlinných částic, nejčastěji pojených běžným portlandským cementem nebo cementy na bázi hořčíku s možnými přísadami.

S využíváním organického plniva se však pojí i jisté nevýhody, zejména zpomalování tvrdnutí cementu vlivem některých obsažených látek (třísloviny, polysacharidů a ligninu). Toto zpomalení se dá kompenzovat některými postupy, např. vyluhováním dřeva ve vodě, izolováním povrchu dřevních částic (např. bitumeny) nebo mineralizací dřevních částic. Zpomalení tvrdnutí cementu se dá vyřešit použitím hořčnatého pojiva, tím však vzniká další problém v podobě nízké odolnosti desek proti vlhkosti a možnost používání desek pouze v interiéru.[2]

Desky mohou mít různé povrchové úpravy, mohou být hladké nebo s lisovaným vzorem, tónovány do barev, opatřeny přilepeným dekoračním papírem, laminátem nebo kovovou folií. Mohou být opatřeny čtyřstrannou pero-drážkou.



Obrázek 2: Ukázka výroby cementotřískových desek [10]

3.1.1 Cementotřískové desky z jemných třísek

Jako plnivo jsou zde použity jemné třísky s vysokou objemovou hmotností (nad 800 kg/m^3). Používají se pro obklady stěn a stropů, na podlahy, na fasádní odvětrávací systémy (ovšem hrozí zde nebezpečí výkvětů), na požární obklady a příčky, na ztracené bednění apod. Pro protipožární účely se vyrábí cementotřískové desky, ve kterých jsou dřevěné třísky kombinovány s vermikulitovým plnivem.[4]

3.1.2 Cementotřískové desky z hrubých třísek

U těchto desek jsou jako plnivo použity štěpky a hrubší třísky (objemová hmotnost 400 až 800 kg/m^3). Tloušťka těchto částic je nejčastěji $0,5$ až 5 mm , délka 10 až 20 mm a šířka 2 až 10 mm . Dřevní částice se nejčastěji mineralizují vodním sklem, které současně snižuje nasákavost a zvyšuje odolnost proti škůdcům a plísním.[2]

Desky mají výborné zvukově izolační vlastnosti (vzduchová neprůzvučnost 30 až 35 dB), mají však nízkou zvukovou pohltivost. Odolávají vlhku, prakticky nebobtnají a jsou odolné vůči mrazu, hmyzu a plísním.[4]

3.1.3 Desky z dřevních vláken

Vyrábějí se lisováním dřevité vlny (objemová hmotnost do 400 kg/m^3) mineralizované roztokem chloridu vápenatého s cementem.[1]

Mohou být použity též mineralizované dřevěné hobliny spojené cementovým tmelem.[5]

Pro svou nízkou objemovou hmotnost se používají na tepelnou izolaci stěn a stropů, na tepelně izolační obklady nosníků, průvlaků, piliřů, stropů a obvodových zdí, jako ztracené bednění stropních a věncových konstrukcí, k tepelné izolaci teplovzdušných kanálů, ke zhotovování příček a dělicích stěn apod.[2]

3.2 Používané materiály

Výsledné vlastnosti desek jsou závislé na vlastnostech materiálů použitých při jejich výrobě. Míra závislosti odpovídá poměrnému objemovému zastoupení vláken a matrice v kompozitu. Významně ovlivňuje výsledné vlastnosti orientace vláken (pokud vlákna nejsou rovnoběžná se směrem zatěžování, pevnost a tuhost kompozitů se snižuje), pevnost vláken (zatížení se v kompozitu přenáší z matrice na vlákna), mezifázové rozhraní (zodpovídá za přenos zatížení z matrice na vlákna, to je důležité zejména u kompozitů s krátkými vlákny), zbytková pnutí (vznikají již ve výrobě rozdílnými tepelnými vlastnostmi materiálů). Z toho vyplývají hlavní příčiny mechanických poškození, která se v kompozitech projevují nejdříve vnitřním porušením, např. přetržení vláken, vznik trhlin v matrici, oddělení vláken od matrice a delaminace.[6]

Nejběžnějšími, u nás užívanými, kompozity na bázi cementového pojiva a rychle obnovitelných plniv jsou cementotřískové desky. Jejich hlavními složkami jsou portlandský cement, dřevo, voda a přísady (vodní sklo).

3.2.1 Pojiva

Anorganické či organické látky, chemicky aktivní, spojující částice různých velikostí. Spolu s plnivem tvoří po zatvrdnutí pevnou matici a spojují složky kompozitu do pevného celku, ve kterém se vzájemně přenáší napětí.

3.2.1.1 Portlandský cement

Jedná se o hydraulické pojivo, pálené nad mez slinutí. Je to jemně mletá anorganická látka, která po smíchání s vodou v důsledku hydratačních reakcí a procesů tuhne a po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost jak na vzduchu, tak i ve vodě. Vyznačuje se mechanickou odolností podobnou přírodním pevným horninám.[4]

Hydraulické tvrdnutí cementu probíhá hlavně v důsledku hydratace vápenatých silikátů a aluminátů. Celkový obsah aktivního oxidu vápenatého CaO a aktivního oxidu křemičitého SiO₂ musí být větší než 50 %. Během těchto reakcí dochází ke dvěma i vizuálně pozorovatelným změnám. První se vyznačuje postupným houstnutím cementové kaše a ztrátou tvarovatelnosti. Druhá se vyznačuje postupným nárůstem pevnosti. Tento proces v praxi neprobíhá skokem, ale postupně, různou rychlostí podle konkrétního složení cementové kaše a okolní teploty. Projevem začínající a probíhající hydratace je vývin hydratačního tepla. Množství uvolněného tepla je závislé na složení cementu (největší hydratační teplo uvolňují cementy jemně mleté a třídy I.). Nepříjemným projevem hydratace cementu jsou objemové změny způsobené odpařením nadbytečné vody a chemickou reakcí minerálů. Smršťování cementu má za následek vznik trhlin, které snižují vlastnosti zatvrdlého cementu.[4][5]

Pro modelování hydratace jsou přitom klíčové čtyři faktory: zastoupení slínekových minerálů v cementu, křivka zrnitosti cementu, vodní součinitel a teplota.[2]

Mezi přednosti portlandského cementu patří vysoká pevnost a trvanlivost ve vzdušném i vodním prostředí. Díky tomu z něj můžeme vytvářet odolné výrobky s vysokou životností, variabilních tvarů a účelů využití. Oproti tomu ovšem vykazuje i jisté nedostatky, zejména nízkou odolnost proti některým agresivním látkám a nízkou pevnost v tahu a ohybu.[5]

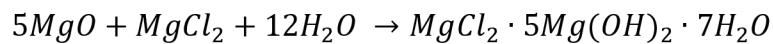
Výsledné vlastnosti jsou dány nejen chemickým a mineralogickým složením jeho základní složky, tj. cementového slínku, ale dalšími operacemi. Důležité je jeho mletí na požadovanou jemnost a přidavek dalších složek (látek), jež se při mletí přidávají, např. síran vápenatý (v různých formách) a speciální další přísady (pro usnadnění mletí apod.).[4]

U kompozitů s cementovým pojivem a organickými plnivými je hlavní problém se zpomalováním procesu tuhnutí cementu vlivem některých přítomných látek. Mezi tyto látky patří zejména cukry a škrob. Princip působení těchto látek spočívá ve schopnosti reagovat s ionty Ca²⁺ za vzniku sacharátu vápenatého. Portlandit (Ca(OH)₂) vznikající v průběhu hydrolýzy alitu (C₃S) v prvních hodinách hydratace této hlavní slínekové složky je z části ihned vázán na uvedenou sloučeninu, takže nemůže nastat nasycení roztoku Ca²⁺. Dalším prvkem zpomalení tuhnutí cementu je vytvoření ochranného koloidu omezujícího bobtnání hydrosilikátových gelů.[7]

3.2.1.2 Hořečnatá maltovina

Hořečnaté pojivo, někdy též nazývané Sorrelův (hořečnatý) cement, je v některých výrobních cementotřískových deskách využíváno místo portlandského cementu. Reaguje dobře

s organickými plnivými a vytváří pevnou matici v kompozitech. Jeho hlavními složkami jsou oxid hořečnatý (MgO) a chlorid hořečnatý (MgCl₂). Tvrdnutí hořečnatého pojiva lze zjednodušeně vyjádřit rovnicí



Ve skutečnosti nevzniká pouze výše uvedený komplexní heptahydrát, ale pestrá směs hydratovaných hydrochloridů a oxochloridů hořečnatých. Za vyhovující recepturu bývá považována směs obsahující MgO a MgCl₂ v molárním poměru 3 : 1.[2]

Mezi nevýhody patří nízká odolnost vůči vlhkosti, snadná tvorba výkvětů, korozivní účinky na kovové materiály.

3.3 Plnivo

Látky organické či anorganické, chemicky neaktivní, které vytvářejí kostru kompozitu a jsou spojovány pojivy ve větší celky.

Nejběžnější je u nás plnivo na bázi dřeva, ve formě třísek, štěpků, dřevité vlny atd.

Dřevo je jeden z nejstarších materiálů používaných člověkem, snadno dostupný a obnovitelný, dobře opracovatelný a příjemný pro lidské smysly.

3.3.1 Obecné vlastnosti dřeva

Dřevo je přírodní obnovitelný surovinový zdroj s širokým využitím a bohatou historickou tradicí v našich podmínkách. Výrobky ze dřeva a na jeho bázi mají nízkou hmotnost, což usnadňuje dopravu a manipulaci, dobré tepelně-technické vlastnosti, akustický útlum a ozvučnost, snadno se zpracovávají a dají se recyklovat. Mezi často citované nevýhody patří, stejně jako u většiny ostatních přírodních materiálů, hořlavost, degradace vlhkem a povětrností či působením škůdců, ale ty lze snadno eliminovat konstrukčním řešením. Samotný růst stromů, který spotřebovává CO₂, je pak příčinou toho, že v některých tabulkách je uváděno dřevo a výrobky ze dřeva jako materiál se záporným znaménkem svázaného množství energie. (Svázaná energie, embodied energy je energie nutná k výrobě materiálu. Šedá energie je energií, která je potřebná pro výrobu materiálu, na výstavbu objektu, pro transport na místo stavby a také energie potřebná k zajištění samotného průběhu výstavby. O její přesný výpočet se pokouší metoda LCA – Life Cycle Assessment – posouzení životního cyklu produktů.)[1]

3.3.1.1 Složení

Základní součástí dřeva jsou buňky, které mají zpočátku tvar nízkého hranolku, později jsou protáhlé a tvoří vláknitou strukturu dřeva. Typické buňky v kmeni jehličnatých dřevin jsou tracheidy dlouhé 2 – 5 mm a široké jen 0,03 – 0,04 mm. Dřevo se skládá hlavně z celulózy (cca 50 %), hemicelulózy (cca 22 %) a ligninu (polyfenoly, cca 22 %), které tvoří buněčné stěny. Zbylých 6 % jsou látky, vytvářející vnitřek buněk a patří k nim pryskyřice, tuky, vosky, třísloviny, barviva, alkaloidy a látky minerální. Chemicky se všechny druhy dřeva skládají ze stejných prvků, a to přibližně ve stejném množství. Organické látky, tvořící převážnou část dřeva, obsahují kolem 50 % uhlíku, 43 % kyslíku, 6 % vodíku a 0,3 % dusíku. Zbytek do 100 % (tj. cca 0,7 %) tvoří látky minerální obsahující draslík, sodík, vápník, fosfor, hořčík aj.[2]

Celulóza je polysacharid tvořící hlavní stavební jednotku buněčné stěny. Chemicky je velmi stabilní. Není rozpustná ve vodě. Na zemském povrchu je nejvíce se vyskytující chemickou sloučeninou. Ze dřeva ji získáváme odstraněním ostatních složek (lignin, oleje, hemicelulóza, aj.).

Hemicelulóza je polysacharid blízký složením celulóze. Od celulózy se liší stavbou řetězce. Chemicky je méně stabilní. Podle obsahu atomů uhlíku v molekule cukru se dělí na pentozany a hexozany. Pentozany obsahuje převážně listnaté dřevo a hexozany jehličnaté dřevo. Celulóza spolu s hemicelulózou tvoří tzv. holocelulózu.

Lignin plní hydrofobní funkci. Hlavním úkolem je spojování mezibuněčných vláken celulózy a hemicelulózy. Způsobuje zdřevnatění. Mechanicky zpevňuje buněčnou stěnu. Dává dřevu pevnost. Po celulóze je to druhá nejčastější sloučenina na Zemi. Obsah ligninu je vyšší u jehličnatých dřevin.[9]

Podle barvy dřeva můžeme určit obsah pryskyřic a tříslovin, tmavší barva dřeva ukazuje na jejich větší množství. Takové dřevo je obecně trvanlivější (velký vliv na trvanlivost má kolísavá vlhkost, která ji zkracuje), pro využití jako plnivo v cementovém kompozitu je však méně vhodné.

3.3.2 Fyzikální vlastnosti dřeva

Hustota vlastní dřevní hmoty je stejná pro všechny dřeviny, činí přibližně $1500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato hodnota odpovídá hustotám hlavních složek dřeva, celulózy (s hustotou $1580 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a ligninu (hustota $1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Objemová hmotnost závisí na druhu dřeva a jeho vlhkosti,

s rostoucí vlhkostí vzrůstá. Objemová hmotnost dřeva v suchém stavu u běžných dřevin se pohybuje od $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [2]

Čerstvě poražené dřevo má vlhkost 40 % až 170 % (průměrně kolem 100 %), Dřevo proschlé na vzduchu, jehož vlhkost je v rovnováze s přirozenými atmosférickými podmínkami okolí, má obvykle vlhkost nižší než 20 %. Pro technologické zpracování dřeva je důležité sesychání a bobtnání dřeva. Dřevo sesychá (i bobtná) jinak ve směru vláken, jinak v radiálním směru a jinak v tečném směru. Absolutně vysušené dřevo seschne v podélném směru o 0,05 % až 0,7 % (průměrně o 0,2 %), v radiálním směru o 2,2 % až 8,5 % (průměrně 5 %), ve směru tečném o 3 % až 16 % (nejčastěji kolem 15 %), ve svém objemu o 5 % až 21 %. Toto nestejněměrné sesychání způsobuje tvarové změny. Vzhledem k nízké teplotní roztažnosti dřeva jsou dilatační spáry a další technologická opatření týkající se změny objemu vázána na objemové změny vlivem vlhkosti. [2]

Tepelná vodivost je velmi malá – dřevo je vhodným tepelně izolačním materiálem. Při vlhkosti 20 %, objemové hmotnosti 450 až $650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a teplotě $27 \text{ }^\circ\text{C}$ má součinitel tepelné vodivosti dřeva λ hodnotu podél vláken $0,121$ až $0,163 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Napříč vlákny je dřevo $1,4$ až $3\times$ méně vodivé než podél vláken.

Hořlavost dřeva je schopnost vznítit se, žhnout a hořet. Bod zápalnosti je teplota $300 \text{ }^\circ\text{C}$ až $470 \text{ }^\circ\text{C}$. Doba zapalování suchého dřeva je 50 až 300 vteřin při působení teploty nad $330 \text{ }^\circ\text{C}$.

Suché dřevo je velmi dobrý izolant. Měrný elektrický odpor dřeva je nejmenší podél vláken. Napříč vlákny je téměř dvakrát větší. S rostoucí vlhkostí a teplotou se elektrický odpor dřeva snižuje.

Orientační průměrná zvuková vodivost dřeva je podél vláken $4500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a napříč vláken $1000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zvuková pohltivost v „%“ dopadající energie je přibližně 50 %. Zvuková průzvučnost vyjádřená úbytkem intenzity zvuku při průchodu materiálem je u dřeva tloušťky 50 mm 27 dB a u překližky tloušťky 12 mm 23 dB . [5]

3.3.3 Běžně užívané druhy dřeva

Smrk má měkké, poměrně lehké a pryskyřičné dřevo s dlouhými vlákny. Smrkové dřevo je poměrně pružné a pevné, za sucha velmi dobře štípatelné. Málo se bortí a sesychá. V interiéru je velmi trvanlivé, venku málo odolné. Barva dřeva je žlutohnědá, bez tmavě zbarveného jádra. Používá se prakticky na všechny druhy stavebního řeziva – jako konstrukční dřevo i na stavebně-truhlářské výrobky.

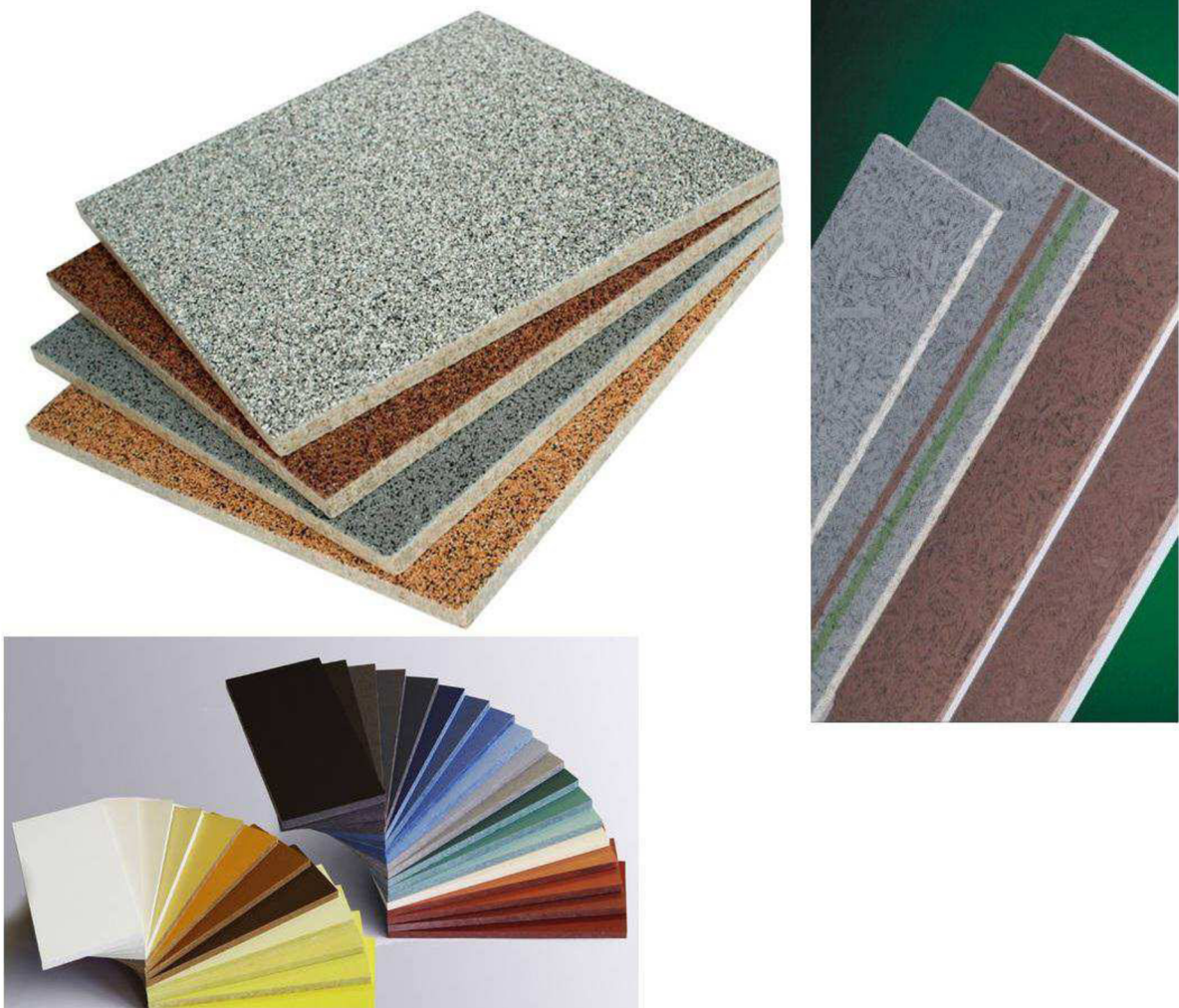
Jedle má dřevo podobných vlastností jako dřevo smrkové. Zpracovatelnost dřeva je o něco horší, pevnost o něco nižší než u smrku. Z hlediska pravidelnosti růstu bývá zpravidla lepší

než smrk. V suchu je jedlové dřevo velmi trvanlivé, méně odolné je v exteriéru. Vysoce trvanlivé je ve vodě. Dřevo je žlutobílé a je dobře štípatelné. Používá se stejně jako smrkové dřevo.

Borovice má dřevo měkké, ale tvrdší než smrk, lehké až středně těžké, křehčí a málo pružné. Má velký obsah pryskyřice, proto je velmi trvanlivé i ve vlhku, zejména ve vodě. Dřevo je bílé barvy se žlutočerveným jádrem. Mívá poměrně velký obsah suků, které mohou časem vypadávat.[2]

3.4 Přísady a příměsi

Látky upravující vlastnosti kompozitu účinkem na jeho složky. Pro použití v kompozitech s cementovým pojivem a organickým plnivem jsou to zejména látky omezující bobtnání plniva a omezující zpomalování tuhnutí vlivem cukrů v plnivu.



Obrázek 3: Ukázka povrchových úprav a pigmentů (Wood content) [10, 13, 14]

3.4.1 Vodní sklo

Používá se pro mineralizaci organických plniv v cementotřískových deskách, zároveň snižuje nasákavost a zvyšuje odolnost vůči škůdcům a plísním. Jedná se o koloidní roztok alkalických silikátů. Hlavními složkami jsou Na_2O (cca 22 %) a SiO_2 (cca 77 %). Tuhnutí a tvrdnutí vodního skla způsobuje vznik kontinuální sítě křemičitého hydrogelu. Proces může být vyvolán například snížením obsahu vody. Další možností je reakce alkalického křemičitanu s oxidem uhličitým, resp. kyselinou uhličitou za tvorby gelu kyseliny křemičité, vedlejším produktem této vytvrzovací reakce je tedy podle typu vodního skla soda nebo potaš. [7,8]

3.4.2 Síran hlinitý

Využívá se při mineralizaci cementotřískových desek a urychlení tuhnutí cementu. Je to anorganická sloučenina hlinité soli kyseliny sírové ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

3.4.3 Chlorid vápenatý

Spolu s cementem se roztok chloridu vápenatého používá k mineralizaci dřevité vlny.[1]

Jedná se o bílou, krystalickou látku s hygroskopickými vlastnostmi (CaCl_2), rozpustnou ve vodě. Zlepšuje mechanické vlastnosti organických plniv a jejich vaznost s cementem.

4 Někteří výrobci cementotřískových a vláknocementových desek

Stručný přehled výrobců deskových stavebních materiálů na bázi cementového pojiva.

4.1 Výrobci v České republice

Výčet některých společností na cementotřískové a vláknocementové desky s výrobními závody v tuzemsku.

4.1.1 Společnost CIDEM Hranice a.s. - Divize CETRIS

Vyráběny jsou lisované cementotřískové desky pod obchodním názvem CETRIS. Složení: dřevěné třísky (smrk, borovice), cement, voda a hydratační přísady. Desky jsou z ekologických materiálů, zdravotně nezávadné, odolné proti povětrnostním vlivům i škůdcům. Nabízeny jsou různé formy povrchových úprav desek: základní nebo barevný nátěr, reliéf v kombinaci s barevným nebo základním nátěrem, akustická úprava, akrylátová mozaiková dekorativní omítka, pigmentový podnátěr s lazurovacím probarveným lakem.[10]

Desky mají široké stavební využití: ztracené bednění, stěny, fasády, podlahy, konstrukce plochých střech a další.

4.1.2 Cembrit a.s.

Jedná se o deskové výrobky z přírodních recyklovatelných materiálů na bázi vláknocementu. Výrobky jsou složeny z cementu, vody, minerálního plniva, celulózy a netoxických organických vláken. Výrobky jsou před zráním lisovány.[11]

Firma vyrábí skládanou střešní krytinu, vlnitou krytinu, fasádní desky, funkční desky (pro specifické stavební využití) a stavební desky.

U nás jsou desky a střešní krytina vyráběny v Berouně a Šumperku.

4.1.3 Fermacell GmbH

Firma vyrábí cementovláknité desky litím a vstřikováním do forem. Desky jsou tvořeny směsí cementu, vody, skelných vláken a lehkých příměsových materiálů.[12]

Desky mohou být využívány pro stěnové a stropní konstrukce, fasády, podlahy a další.

Společnost Fermacell patří pod koncern Xella a svou pobočku má v Praze.

4.1.4 VELOX – WERK s.r.o Hranice

Jedná se o štěpkocementové desky, ty jsou vyráběny z ekologických materiálů, dřeva (89 %), cementu a vodního skla. Desky jsou snadno opracovatelné a odolné proti vlhkosti a škůdcům.[13]

Desky jsou využívány ve stavebnictví jako ztracené bednění pro konstrukce stěn i základů.

Desky Velox jsou vyráběny v Hranici rakouskou firmou VELOX-WERK GmbH.

4.2 V zahraničí

Někteří zahraniční výrobci desek na bázi cementu.

4.2.1 Swisspearl

Švýcarská společnost zaměřená na výrobu vláknocementových fasádních desek. Desky se skládají z portlandského cementu (40 %), vápencové moučky a pigmentu (11 %), syntetických organických vláken (2 %), celulósových vláken (5 %), vody (12 %) a vzduchových mikroskopických póru (30 %). Desky mají širokou škálu barev a povrchových úprav. Mezi další výrobky patří interiérové desky a velkoformátová střešní krytina.[14]

4.2.2 Ameriform

Americká společnost vyrábějící cementotřískové a vláknocementové desky pod obchodním názvem GeoBoard a ARMOROCK. Složení desek je: portlandský cement, voda, dřevní vlákna a chemické přísady. Použito je recyklované odpadní dřevo (28 %). Desky jsou použitelné v interiéru i exteriéru jako stěnové či fasádní a pro podlahy nebo stropy.[15]

4.2.3 Euroform Products

Britská společnost vyrábějící cementotřískové desky pod obchodním názvem Versapanel. Desky jsou vyráběny z portlandského cementu, dřevěných třísek, vody a chemických přísad (zejména urychlující tuhnutí a tvrdnutí cementu). Společnost také vyrábí vláknocementové desky ze speciálně upravených dřevních vláken, rozptýlených mechanicky a aerodynamicky, pod obchodním názvem Pyrok.[16]

5 Rychle obnovitelné zdroje

V této části práce jsou uvedeny výsledky uveřejněných studií na téma využití rychle obnovitelných surovin s cementovým pojivem.

5.1 Materiály

Využitím přírodních vláken v cementových kompozitech, je možné dosáhnout lepších mechanických vlastností, jsou to zejména pevnost v ohybu a pevnost po vzniku trhlinek. Přírodní vlákna jsou oproti syntetickým výhodnější po stránce ekonomické, protože nevyžadují takovou míru zpracování. Další výhodou je výrazně nižší ekologická zátěž spojená s jejich využitím.

5.1.1 Použitelné v tuzemsku

Jedná se o materiály běžně dostupné u nás, pěstované cíleně pro uplatnění ve stavebním průmyslu. Případně se jedná o odpadní produkt nestavební výroby, který by se dal využít jako plnivo pro kompozitní materiály na bázi cementu.

5.1.1.1 Topol

Topol je opadavá, rychle rostoucí dřevina s měkkým dřevem, rozšířená zejména v mírném a subtropickém pásu. U nás jsou rozšířeny tři druhy a jeden křížený. Jednou z hlavních výhod pro jeho použití s cementovým pojivem, kromě rychlého růstu, je také nízký index inhibitorů cementové hydratace. To je ovlivněno zejména množstvím uvolnitelných látek (terpeny, mastné kyseliny, taniny, sacharidy a anorganické materiály). Tyto negativní účinky na kompatibilitu dřeva a cementu mohou být částečně odstraněny použitím chloridu vápenatého (CaCl_2).[17]

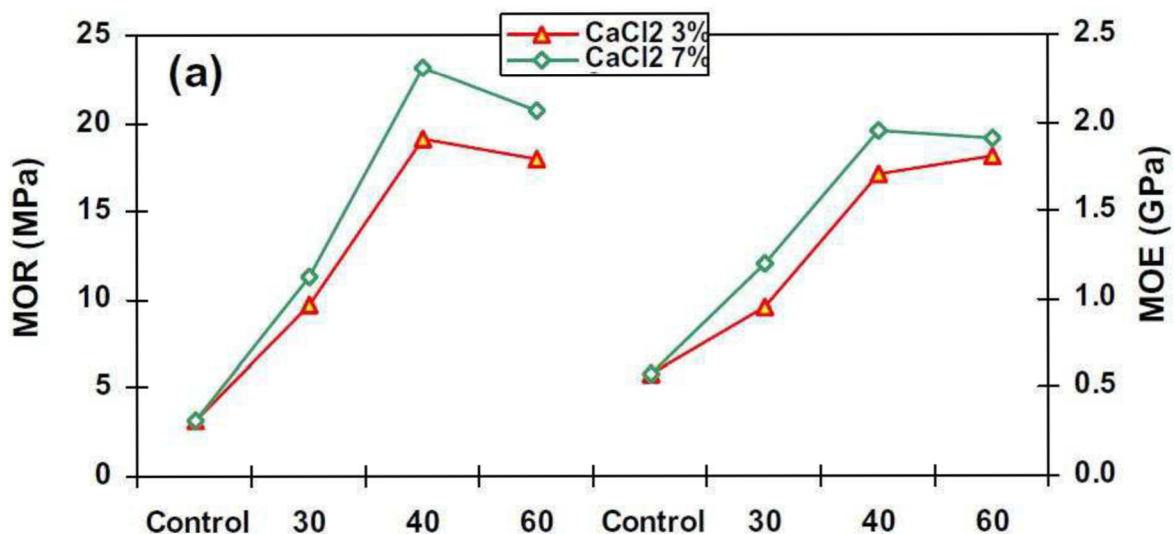
Tabulka 1: Inhibiční index dřevin [17]

Dřevina	Buk	Habr	Borovice	Jedle	Bříza	Topol
Inhibiční index [%]	52,2	39,1	27,3	16,5	11,5	7,4

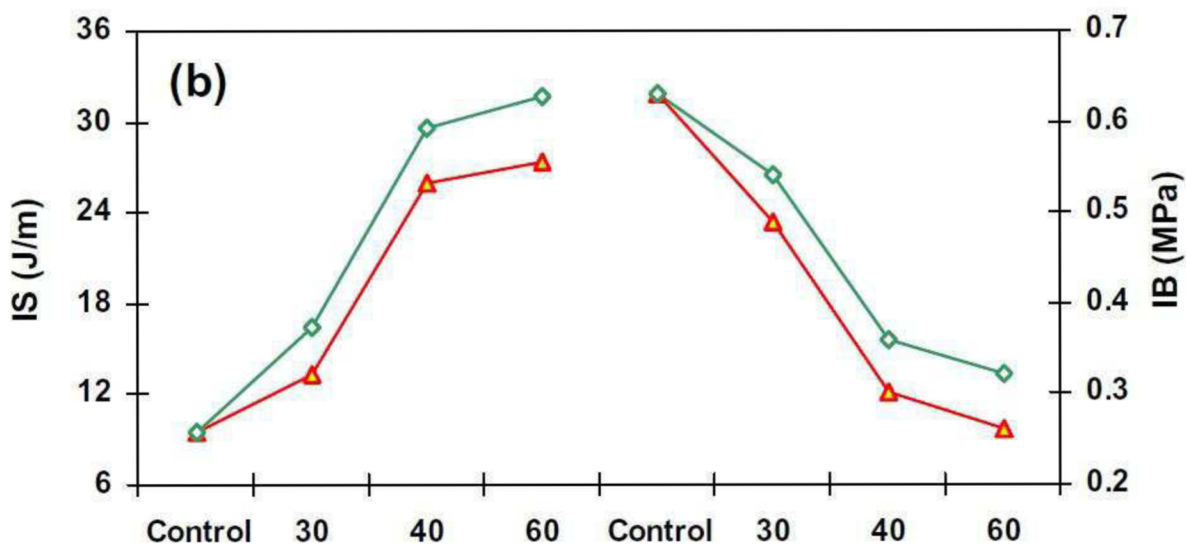
Jedno z využití je ve formě třísek ($40 \times 5 \times 0,5$ mm). Třísky byly ošetřeny vodou o teplotě $20\text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 24 hodin a následně vysušeny vzduchem na vlhkost 12 %. Použit byl portlandský cement a chlorid vápenatý. Použity byly hmotnostní poměry surovin 40:60, 60:40 a 70:30 cement:dřevo a vodní součinitel 0,6 (včetně vody ve dřevě). Kontrolní vzorek se skládal z cementu a vody. Desky obsahovaly 3 % a 7 % chloridu vápenatého. Směs byla

24 hodin stlačena tlakem 30 kg/cm^2 v ocelové formě (rozměr formy $450 \times 450 \times 15 \text{ mm}$). Následně byly desky odformovány a uloženy po 28 dní při teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkosti 65 %. Nakonec byly ořezány na formát $420 \times 420 \text{ mm}$. [17]

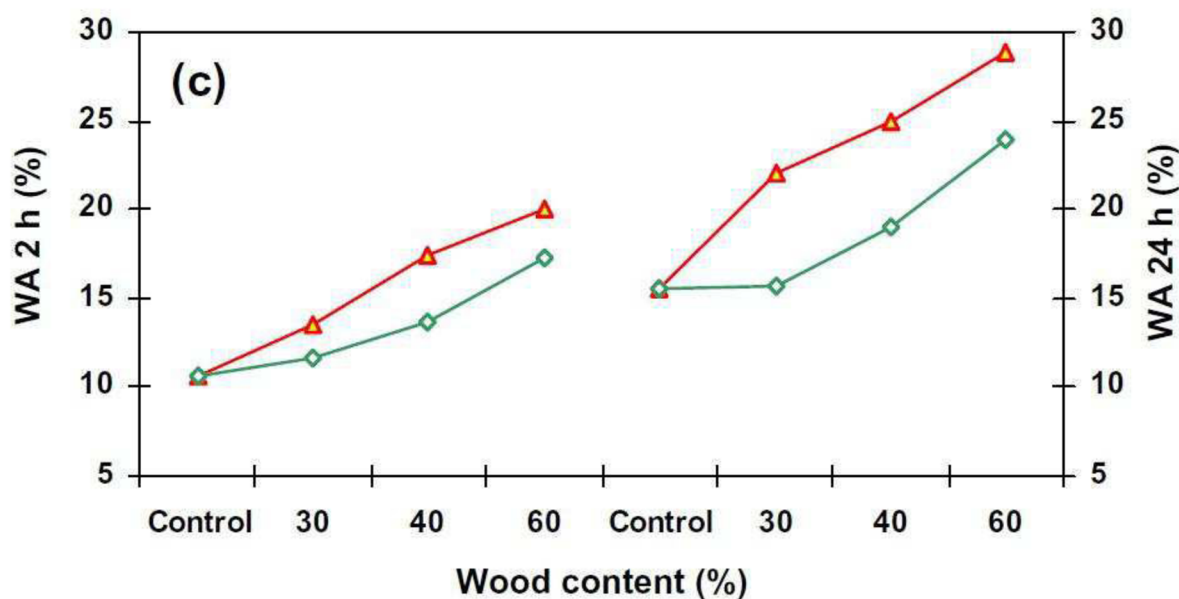
Desky byly zkoušeny pro pevnost v ohybu, modul pružnosti, rázovou pevnost, pevnost vnitřní vazby. Dále na nasákavost po 2 a 24 hodinách. [17]



Obrázek 4: Pevnost v ohybu (MOR) a modul pružnosti (MOE) [17]



Obrázek 5: Rázová pevnost (IS) a pevnost vnitřní vazby (IB) [17]

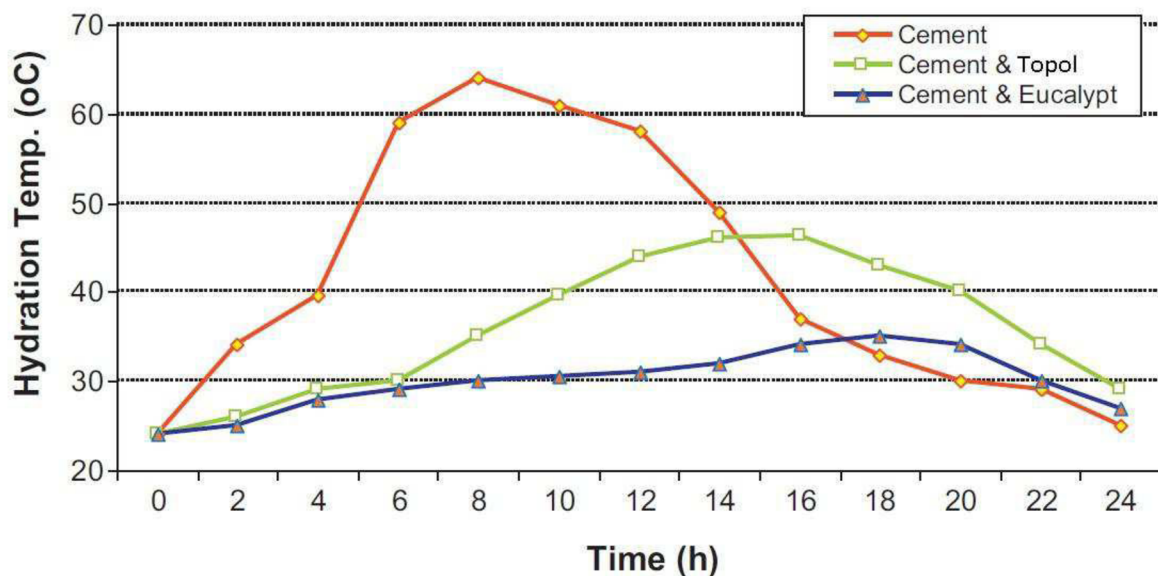


Obrázek 6: Nasákavost (WA), podíl dřevní hmoty (Wood content) [17]

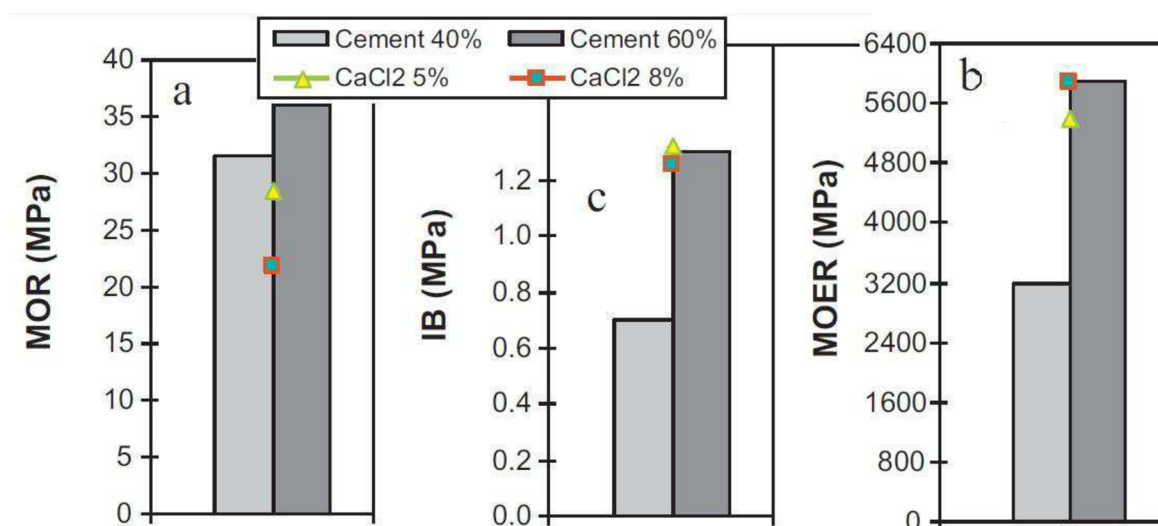
U pevnosti v ohybu a modulu pružnosti došlo u vzorku s obsahem dřeva 60 % ke zhoršení vlastností vlivem nestejněměrného rozmísení třísek v cementové matici. Rázová pevnost a vnitřní vazba vykazovala se zvyšujícím se obsahem cementu lepší vlastnosti, vlivem většího počtu vazeb mezi cementem a dřevem. Nasákavost souvisela se snižující se objemovou hmotností s rostoucím obsahem dřeva, tím vzniká více dutinek schopných nasáknout vodu. Na všechny vlastnosti mělo kladný efekt použití 7 % chloridu vápenatého, který zlepšuje vazbu mezi cementem a dřevem, nárůst pevností cementu a zlepšuje mechanické vlastnosti dřeva.[17]

Nejlepších vlastností bylo dosaženo při obsahu 40 % třísek topolu, vodní součinitel 0,6 (včetně vody obsažené ve dřevě) a přídavku 7 % chloridu vápenatého.

Další možností využití dřeva topolu je ve formě dřevních vláken. Tak dostaneme desky podobných vlastností jako u asbestocementových, bez negativních vlivů na zdraví. Pro tuto zkoušku byla vlákna (délka 100 – 200 mm, šířka 1 – 5 mm a tloušťka 0,2 – 0,5 mm) namočená ve vodě o teplotě 50 °C po dobu 48 hodin. Následně byla vlákna promíchána s portlandským cementem a vodou (vodní součinitel 0,43), poměr cement:vlákna byl použit 40:60 a 60:40. Ke směsi byl přidán chlorid vápenatý (5 a 8 %). Desky byly 24 hodin stlačovány tlakem cca 25 kg/cm², po odformování byly 28 dní uloženy při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti 65 %. Desky byly zkoušeny na pevnost v ohybu, modul pružnosti a pevnost vnitřní vazby.[18]



Obrázek 7: Teplotní průběh hydratace (Hydratation Temp.) v závislosti na čase (Time) [18]



Obrázek 8: Pevnost v ohybu (MOR), pevnost vnitřní vazby (IB) a modul pružnosti (MOER) [18]

Oproti kontrolnímu vzorku z cementu vykazoval zkušební vzorek cement/topol nižší maximální teplotu v průběhu hydratace a její pozvolnější nárůst. Pevnost v ohybu byla nejvyšší u vzorku s 60 % cementu (31,5 MPa), stejně tak modul pružnosti (5900 MPa). U vzorku s vyšším podílem dřevních vláken docházelo ke tvorbě shluků vláken a větší porositě desky. Pevnost vnitřní vazby byla naměřena nejvyšší u vzorku s vyšším podílem cementu (1,3 MPa), to je dáno větším počtem vazeb vláken v cementové matici. Lepších vlastností bylo obecně dosaženo s přidáním 5 % chloridu vápenatého.[18]

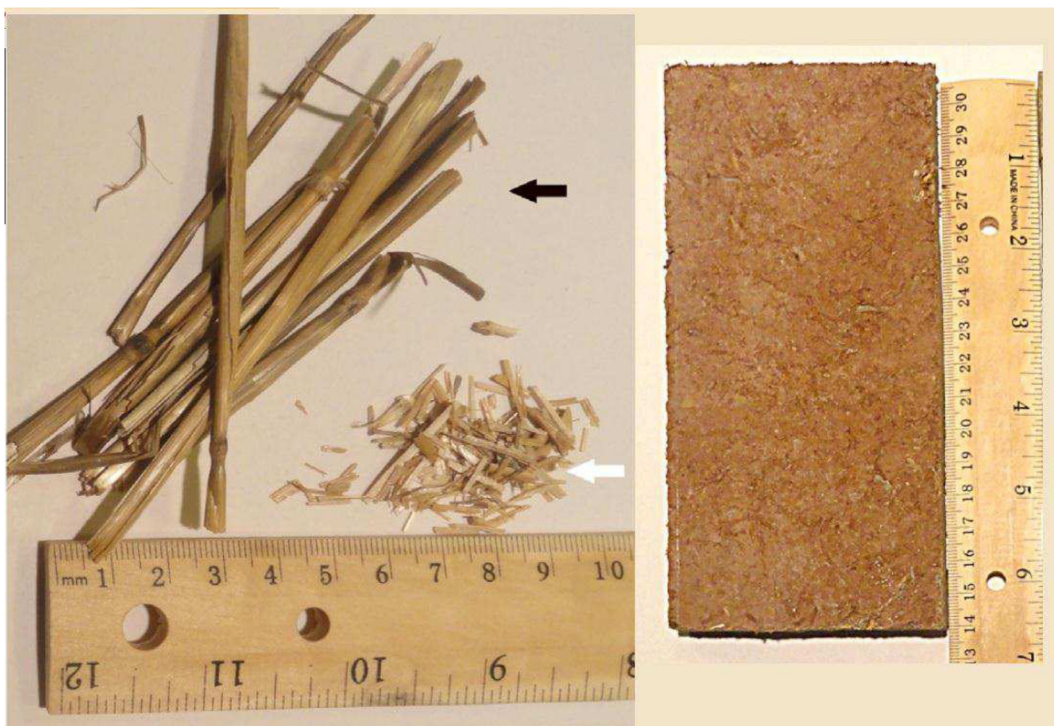
Nejlepších vlastností bylo dosaženo při složení 40 % vlákna z topolu, 55 % cement a 5 % CaCl_2 . [18]

5.1.1.2 Sláma

Jedná se o levný, ekologicky nezávadný a recyklovatelný materiál. Dříve se u nás používala jako střešní došková krytina nebo se přidávala do nepálených cihel. Obecně se jedná o vymlácené a vyschlé stonky a stébla rostlin, zejména obilnin. Použitelné jsou pro lokální využití zejména stonky pšenice, obecně ale také kukuřice, rýže, ječmene, žita, ovsa a cukrové třtiny po zpracování.

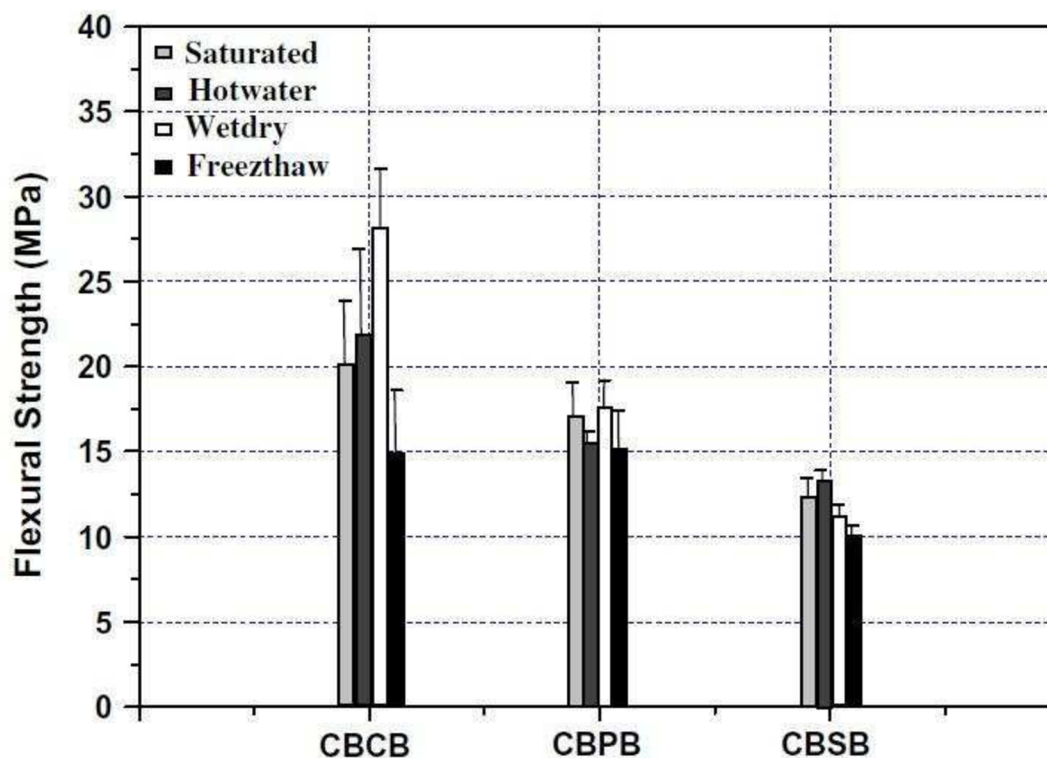
Sláma oproti dřevu obsahuje relativně vysoké množství extrahovatelných látek rozpustných ve vodě, jejich negativní dopad na hydrataci je třeba řešit. Nejlepších vlastností bylo dosaženo vystavením slámy vytvrzování pomocí oxidu uhličitého (CO_2). Oxid uhličitý s vodou tvoří kyselinu uhličitou, která podporuje reakci alitu v prvních minutách. Při tomto procesu se uvolňuje značné množství tepla, které usnadňuje odpařování přebytečné vody. [19,20]

Zkoušené desky byly vyrobeny ze směsi: portlandský cement (5600 g), křemičitý úlet (700 g), křemičitan sodný (1600 g), hydrogenuhličitan sodný (1300 g), sláma (1000 g), voda (2100 g) a hydrofobizační přísada (100 g). Sláma byla předem namočená ve vodě nasycené vápnem po dobu 30 dní a následně vysušena vzduchem. Směs byla lisována za tepla a následně uložena 14 dní při teplotě 22 °C a relativní vlhkosti 50 %. [19]



Obrázek 9: Sláma a deska vyrobená ze slámy a cementu [19]

Desky byly testovány na pevnost v ohybu v nasyceném stavu, nasákavost, bobtnání, dále byly desky vystaveny 100 dní ponoření do horké vody, 100 cyklů v mokřem a suchém prostředí a 100 cyklů zmrazování a rozmrazování.[19]



Obrázek 10: Pevnost v ohybu v porovnání s konkurenčními deskami. (CBCB – vláknocementové desky, CBPC – cementotřískové desky, CBSB – desky ze slámy a cementového pojiva; Saturated – nasáklé vodou, Hotwater – nasáklé horkou vodou, Wetdry – střídavé namáčení a vysoušení, Freezthaw – střídavé vystavení mrazu a rozmražení) [19]

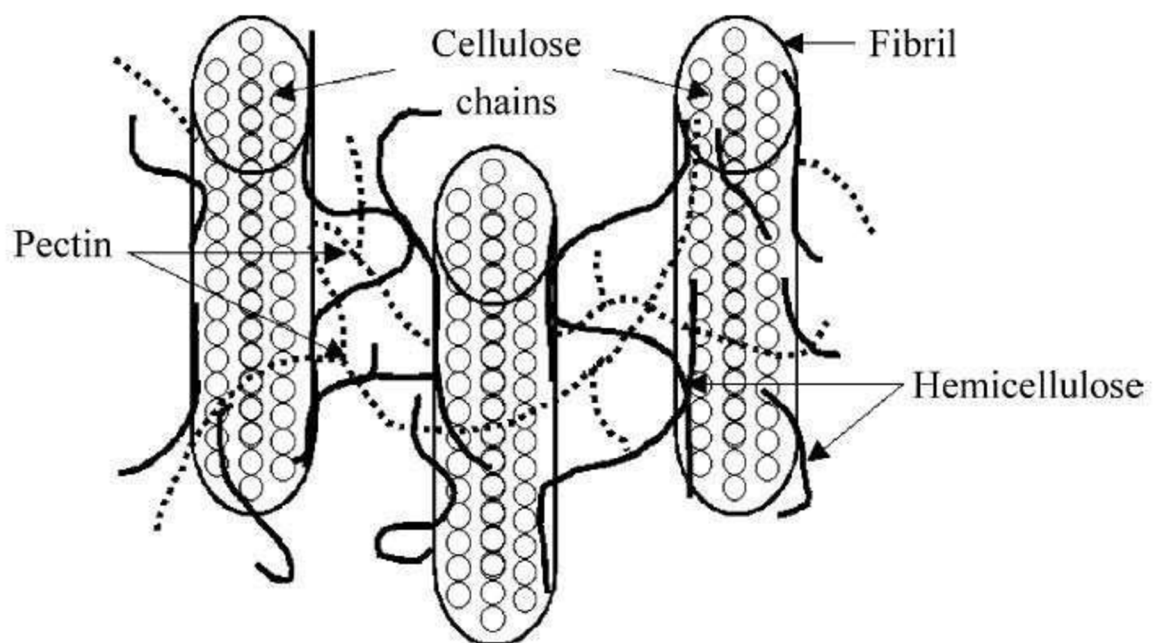
Tabulka 2: Naměřené vlastnosti desek ze slámy s cementovým pojivem [19]

Objemová hmotnost [kg/m ³]	Nasákavost [%]	Bobtnání [%]
1350	32	3,9

Při správné úpravě slámy, odstranění inhibičních složek, vykazují desky ze slámy a cementu dobré vlastnosti (pevnost v ohybu, trvanlivost, využití a pracovní postupy) porovnatelné s konkurenčními materiály. Tyto desky se vyznačují dobrými estetickými vlastnostmi, ekologičností, nízkými náklady.[19]

5.1.1.3 Konopí

Pro stavební účely se využívá konopí seté, známé jako technické konopí, které splňuje normy na obsah THC (tetrahydrocannabinol, max. 0,3 %), pro průmyslové využití. Je to jednoletá teplomilná rostlina, využívaná zejména v textilní výrobě, ale i v dalších odvětvích od potravinářského po energetické. Konopná vlákna se skládají z celulózy (55-72 %), hemicelulózy (8-19 %), ligninu (2-5 %), vosku (<1 %) a minerálů (4 %). Pazdeří obsahuje větší množství ligninu (19-21 %) a hemicelulózy (31-37 %), ale méně celulózy (34-41 %).[21]



Obrázek 11: Stavba konopného vlákna [22]

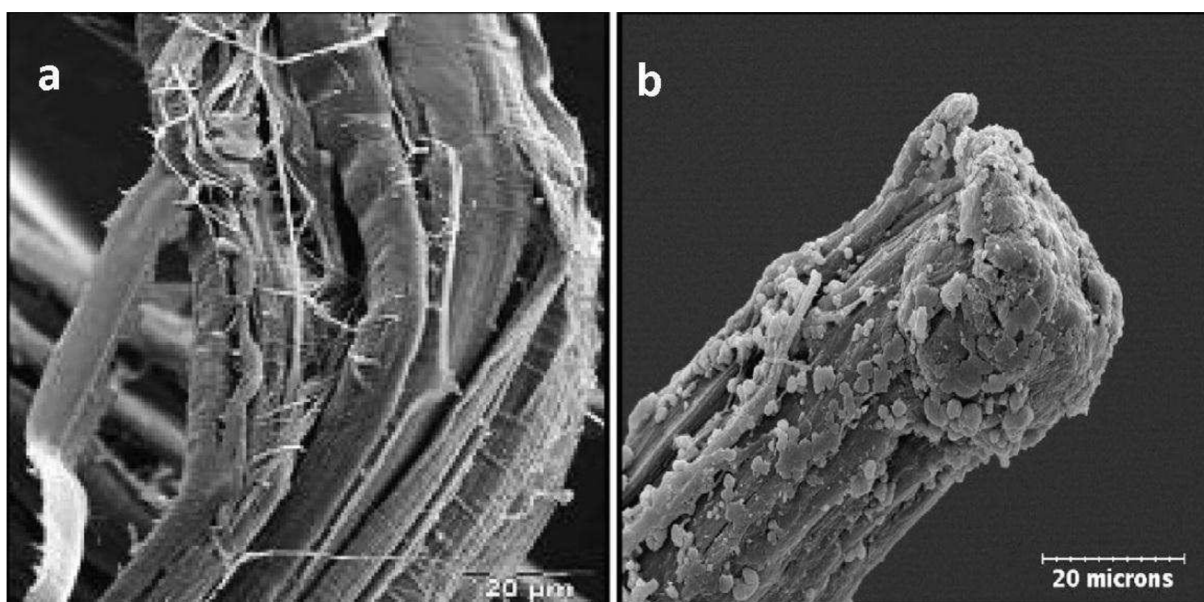
Pro zkoušku byla použita konopná vlákna (délky přibližně 2 cm), portlandský cement (52,5R) a voda (vodní součinitel 0,5). Konopná vlákna byla předem namočena (24 hodin) ve vodě nasycené vápnem (označení FIB), část vzorků byla ošetřena namočením v roztoku NaOH (48 hodin při teplotě 20 °C, označení FIBNA), další část vzorků byla ošetřena namočením v roztoku AlCl₃ (48 hodin při teplotě 20 °C, označení FIBAL). Dále byl zkoušen kontrolní vzorek bez konopných vláken. Vzorky (o rozměrech 40 × 40 × 160 mm) byly zkoušeny po 28 dnech uložení při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 50 %.[22]

Vzorky byly testovány na pevnost v tahu za ohybu.

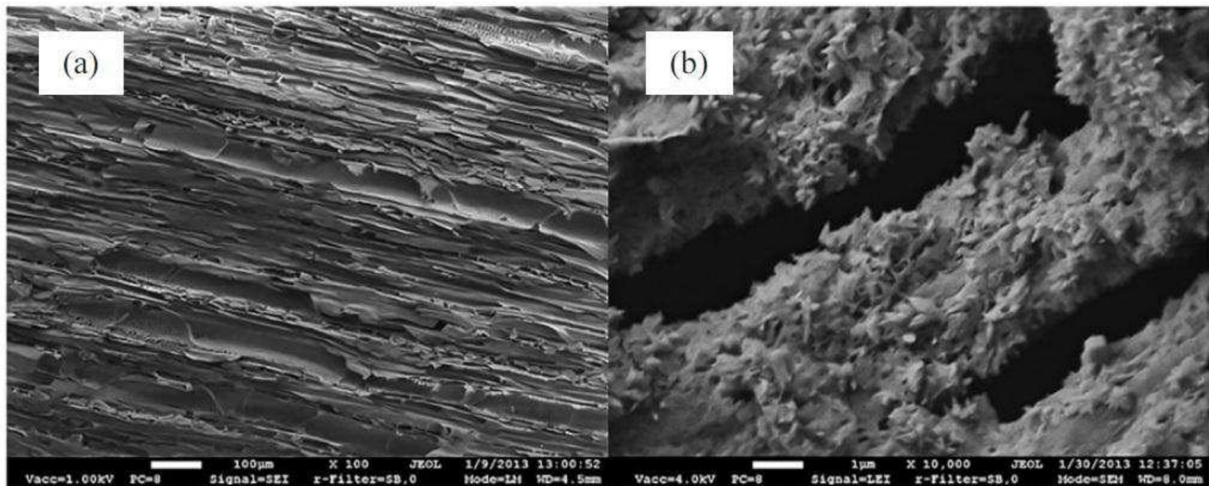
Tabulka 3: Maximální pevnost v tahu za ohybu [21]

Objemový podíl vláken [%]	Pevnost v ohybu [MPa]	Vzorek	Pevnost v ohybu [MPa]
0	4,9	Kontrolní	4,9
7	5,0	FIB	6,8
10	5,9	FIBNA	9,5
16	6,8	FIBAL	7,3
20	4,0		

Poznámka: FIB – vlákna ošetřena vápnem, FIBNA – vlákna ošetřena NaOH, FIBAL – vlákna ošetřena AlCl₃



Obrázek 12: Mikrostruktura vláken a – konopná vlákna, b – konopná vlákna po namáčení ve vápenném roztoku[23]



Obrázek 13: Mikrostruktura vláken *a* – konopná vlákna, *b* – konopná vlákna po smísení s cementem a vodou[21]

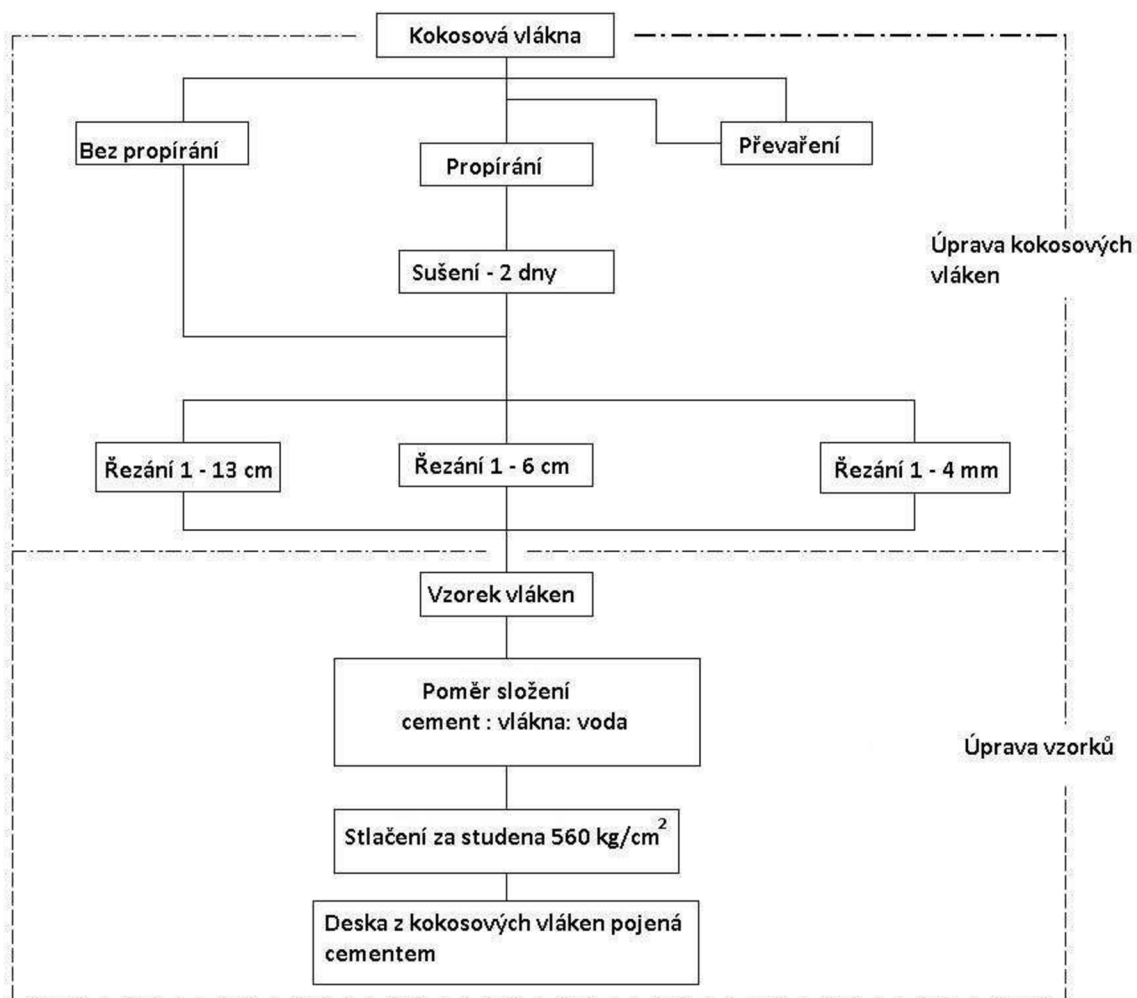
Jako nejlepší se ukázal obsah vláken 16 % objemových. U vyššího podílu vláken se tvoří méně vazeb mezi vlákny a cementem a dochází ke tvorbě shluků vláken. Nejlepších vlastností bylo dosaženo při namáčení vláken v NaOH. Roztok NaOH odstraní z vláken část hemicelulózy, vosku a nečistot z povrchu vláken a zároveň povrch zdrsňuje, to zlepšuje vazbu s cementovým tmelem.[22]

5.1.2 Pro zahraniční využití

Materiály exotické, momentálně bez efektivního využití u nás, ale s velikým potenciálem pro zahraniční výrobu.

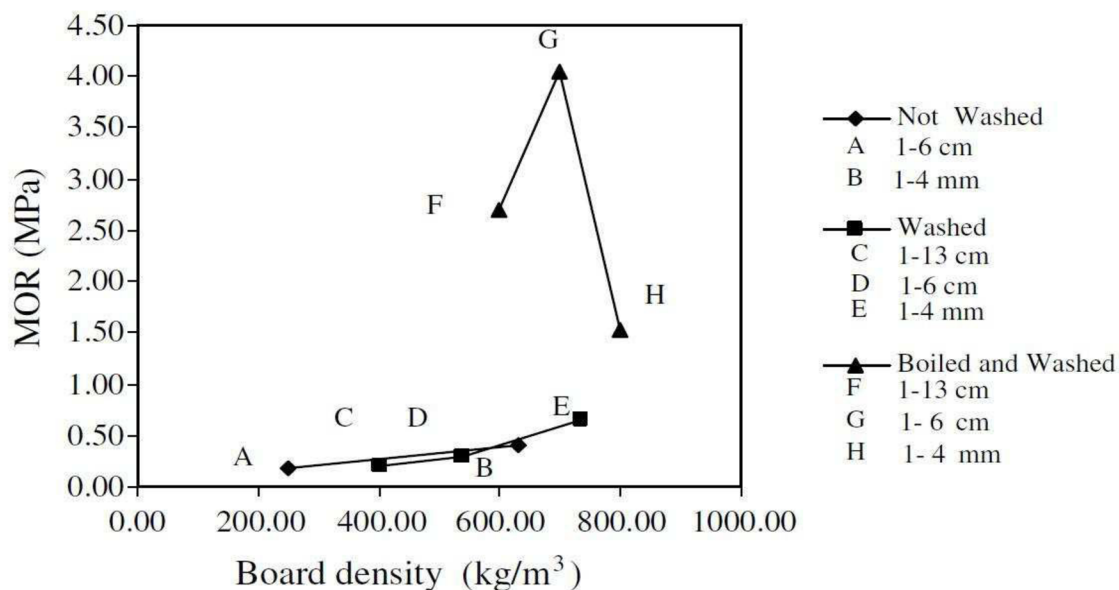
5.1.2.1 Kokosová vlákna

Využívají se vlákna obalující pevnou skořápku kokosových ořechů, která se mechanicky oddělí. Hlavní složkou vláken je celulóza a lignin. Vlákna pro výrobu desek pojených portlandským cementem, jsou propírána vodou (desetkrát vodovodní a následně 2 hodiny vroucí). Následně jsou vlákna dva dny sušena na slunci. Po této úpravě jsou vlákna tužší a tvrdší. Díky hrubému povrchu dobře spolupůsobí s cementem.[23]



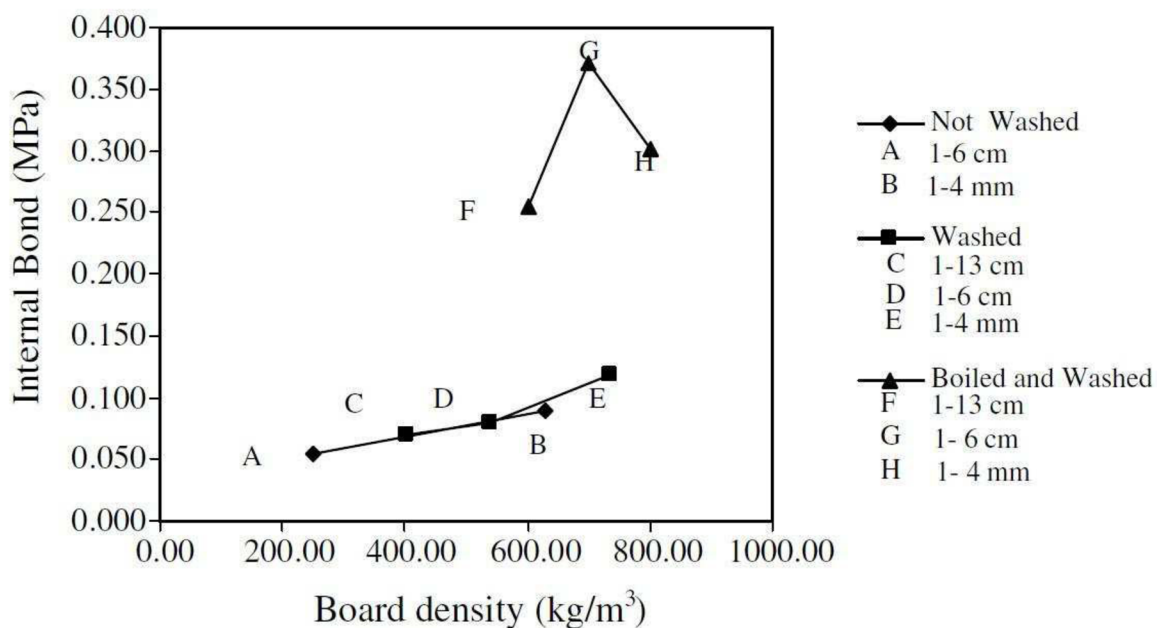
Obrázek 14: Postup výroby vzorků [23]

Pro zkoušení byly použity tři druhy směsi podle poměru směsi cement:kokosová vlákna:voda (1:1:1, 1:2:1, 2:1:2). Směsi byly umístěny do forem $350 \times 350 \times 10$ mm, vystaveny 24 hodin tlaku 560 kg/cm^2 a následně odformovány a 28 dní uloženy při pokojové teplotě.[23]



Obrázek 15: Hustota (Board density) vs. pevnost v ohybu (MOR) pro různé vzorky (Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23]

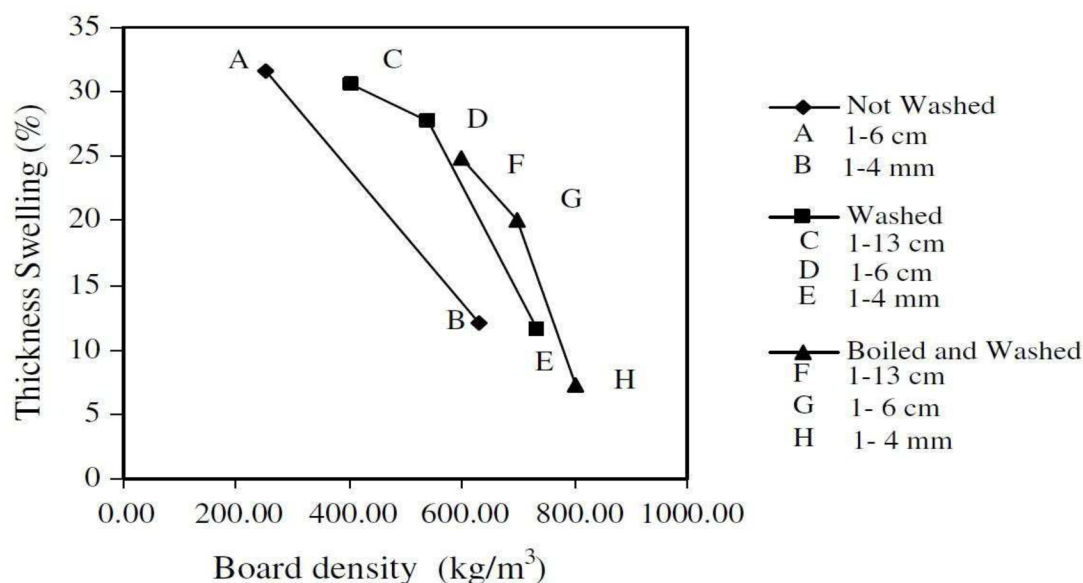
Z grafu je patrné, že nejlepších hodnot pevnosti v ohybu (cca. 4,0 MPa) bylo dosaženo u vzorku s vlákny propíranými vroucí vodou o délce 1 – 6 cm.



Obrázek 16: Hustota (Board density) vs. pevnost vnitřní vazby (Internal Bond) pro různé vzorky (Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23]

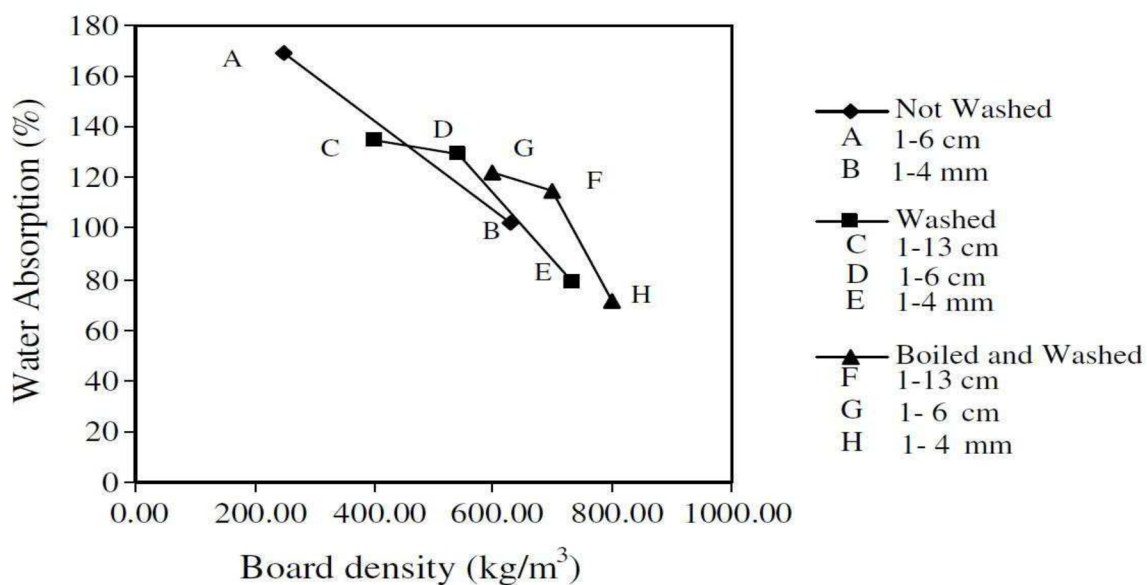
Z grafu je patrné, že nejlepších hodnot pevnosti vnitřní vazby (cca. 0,37 MPa) bylo dosaženo u vzorku s vlákny propíranými vroucí vodou o délce 1 – 6 cm.

Tyto lepší mechanické vlastnosti delších vláken mohou být způsobeny rychlejší mineralizací kratších vláken a jejich následnou ztrátou pružnosti.[23]



Obrázek 17: Hustota (Board density) vs. bobtnání (*Thickness Swelling*) pro různé vzorky (Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23]

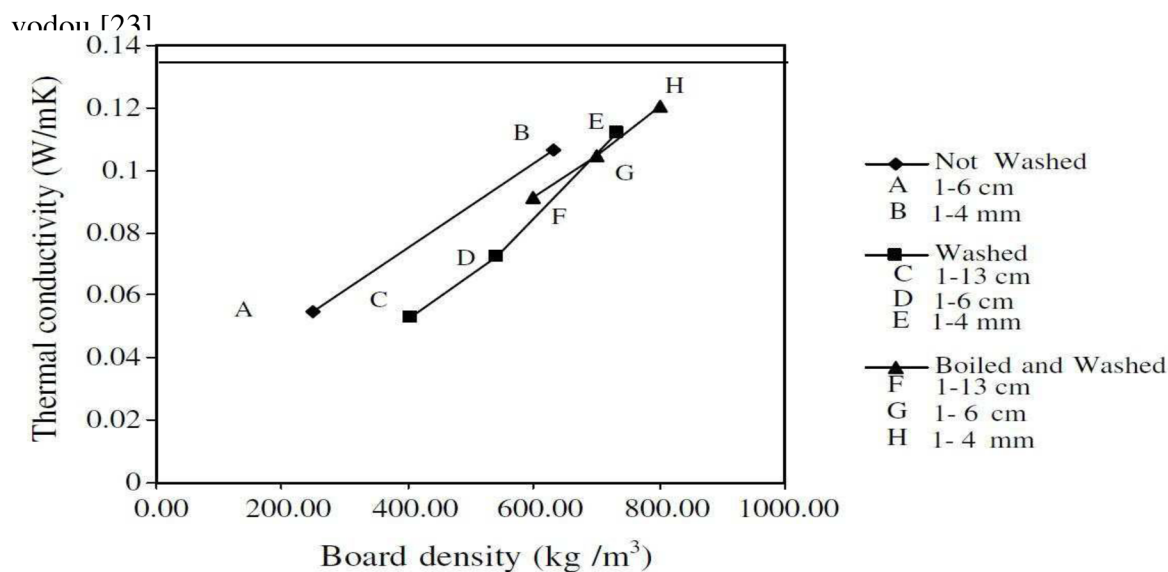
Z grafu je patrné, že nejlepších hodnot (7,3 – 11,6 %) dosahují vzorky s nejkratšími vlákny (1 – 4 mm) a zejména upravené propíráním vroucí vodou.



Obrázek 18: Hustota (Board density) vs. nasákavost (*Water Absorption*) pro různé vzorky (Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23]

Z grafu je patrné, že nejlepších hodnot (cca. 71,1 %) dosahují vzorky s nejkratšími vlákny (1 – 4 mm), zejména upravená propíráním vroucí vodou.

Nasákavost a bobtnání je ovlivněno hustotou desky - s menší hustotou vzniká více prostoru pro nasáknutí vody. Lepších vlastností je dosaženo u vláken upravených promýváním vroucí



Obrázek 19: Hustota (Board density) vs. tepelná vodivost (Thermal conductivity) pro různé vzorky (Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23]

Z grafu je patrné, že nejlepších hodnot (cca. 0,053 W/(m.K)) dosahují vzorky neupravené s dlouhými vlákny (1 – 6 cm) a upravené propíráním studenou vodou s dlouhými vlákny (1 – 13 cm).

Tabulka 4: Vlastnosti vzorků podle poměru složení [23]

Poměr C:K:V	Hustota [kg/m ³]	Bobtnání [%]	Nasákavost [%]	Pevnost v ohybu [MPa]	Tepelná vodivost [W/(m.K)]	Pevnost vnitřní vazby [MPa]
1:2:1	715,00	40,04	86,99	6,25	0,2302	0,29
1:1:1		13,70	40,38	13,09	0,2763	0,51
2:1:2		5,25	24,22	15,61	0,3269	0,64
1:2:1	928,33	28,23	66,31	9,06	0,2423	0,35
1:1:1		10,66	35,99	16,56	0,2937	0,59
2:1:2		4,04	21,25	17,26	0,3906	0,70
1:2:1	1125,00	27,06	64,72	10,54	0,2518	0,38
1:1:1		10,20	35,20	17,02	0,3157	0,68
2:1:2		3,64	19,66	19,94	0,4001	0,73

Poznámka: C – cement, K – kokosová vlákna, V - voda

Z tabulky je patrné, že nejlepších vlastností, kromě tepelné vodivosti je dosaženo u vzorku s největší hustotou ($1125,0 \text{ kg/m}^3$) a poměrem složení 2:1:1. Při vyšším podílu cementu dojde k lepšímu vyplnění dutin, a tím ke zlepšení mechanických vlastností, zároveň však dojde ke zvýšení tepelné vodivosti.



Obrázek 20: Desky z kokosových vláken a cementu [23]

Pro průmyslovou výrobu je nejvhodnější využívat vlákna délky 1 – 6 cm, upravená propíráním vroucí vodou a poměrem složení 2:1:2. Dále je vhodné používat tyto desky v kombinaci s dalšími materiály plnicími funkcí tepelné izolace.

Další možností ke zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností spočívá ve využití chloridu vápenatého (CaCl_2), který zlepšuje spojení mezi vlákny kokosu a cementem.

Tabulka 5: Vlastnosti vzorků podle hustoty a obsahu CaCl_2 [24]

Cílová hustota [kg/m^3]	Obsah CaCl_2 [%]	Hustota [kg/m^3]	Bobtnání [%]	Nasákvavost [%]	Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost vnitřní vazby [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
1200	0	1120	0,21	29,2	1,56	0,043	821

1200	4	1090	0,27	25,2	3,80	0,211	1818
1400	0	1260	0,15	22,8	3,30	0,141	2650
1400	4	1340	0,19	17,8	3,77	0,278	2004

Při stejné hustotě dojde při přidání CaCl_2 ke zlepšení mechanických vlastností. Hlavní vliv na vlastnosti má však obsah dutin, respektive hustota.[24]

Pro výrobu je tedy vhodné používat desky lisované vyšším tlakem – mající vyšší hustotu. Vhodná jsou vlákna délky 1 – 6 cm. Ideální úprava vláken je propírání ve vroucí vodě. Nejlepších vlastností dosáhl poměr složení 2:1:2 (cement:kokosová vlákna:voda). Další možnosti k vylepšení vlastností je přidání malého množství CaCl_2 .

5.1.2.2 Bagasa



Obrázek 21: Bagasa [27]

Jedná se o zbytek cukrové třtiny po odšťavnění. Tato surovina je využitelná zejména v Indii, kde se hojně pěstuje pro svou šťávu, ale i celosvětově se jedná o jeden z nejrozšířenějších zemědělských odpadů. Po odšťavnění je považována za odpadní materiál a je převážně spalována, což je velice neekonomické nebo je využívána jako krmivo, či pro výrobu papíru. Proto je snaha využívat jej ve stavebnictví pro kompozitní materiály s cementovým pojivem, konkrétně desky a bloky. Hlavní zaměření zkoušek je na efekt

vláken, jejich vliv na pevnosti, odformovací čas a parametry pro výrobu. Další zaměření se týká vlivu vlhkosti a počasí.[25,27]

Bagasa se skládá z měkké dřevě bez vláken a z vláknitého silného obalu. Ve vysušené bagase je podíl tvrdých vláken cca. 65 % a dřevě 35 %. Vlákna jsou po odstranění dřevě odolná proti rozkladu.[25]

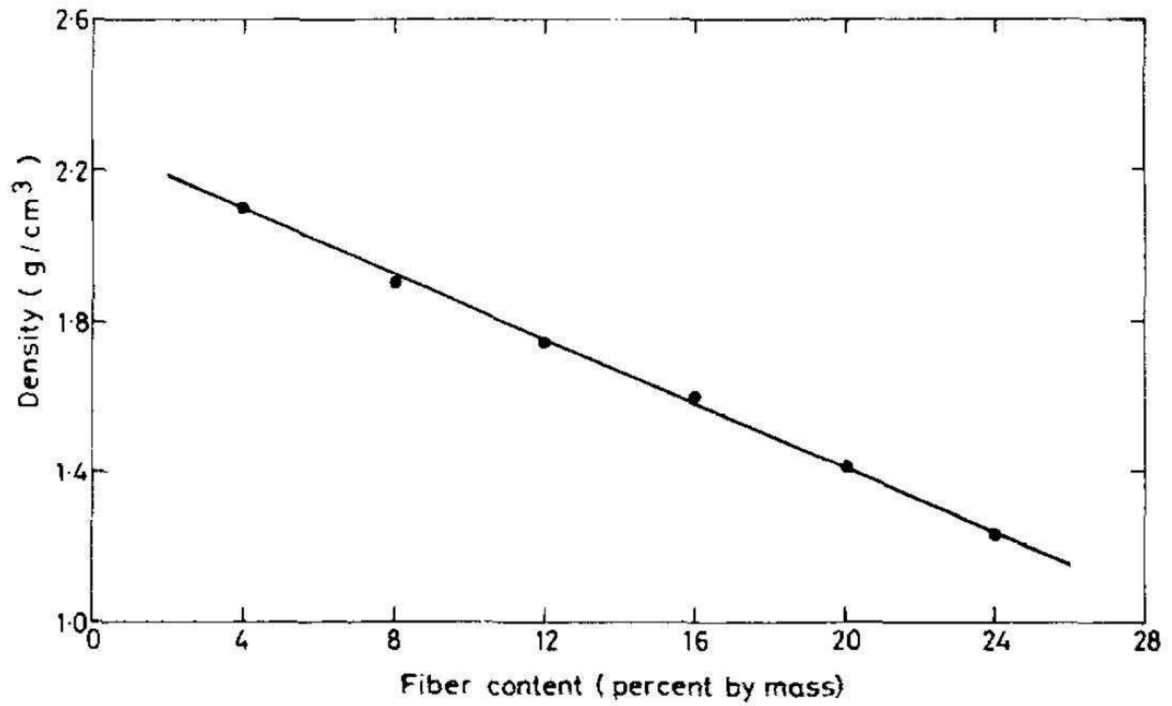
Zkoušená vlákna byla v chemickém roztoku 2 hodiny, neabsorbovaná voda z nich byla odebrána. Následně byla vlákna smíchána s portlandským cementem, vodní součinitel (w) 0,40. Směs byla uložena do ocelových forem (300×300 mm) a stlačena hydraulicky na dobu potřebnou, aby nedošlo k opětovnému rozpínání. Po odformování byly vzorky uloženy ve vlhkém prostředí 10 dní a následně vysušeny.[25]

Hustota, nasákavost a bobtnání byly měřeny za použití vzorku 100×100 mm, pevnost v ohybu na vzorku 300×75 mm a vzorek 50×50 mm byl použit pro pevnost vnitřní vazby. Pevnost v ohybu byla měřena třibodově v rozpětí 200 mm. Nasákavost a bobtnání byly měřeny po ponoření vzorku do vody na 24 hodin. Zrychlená zkouška trvanlivosti zahrnující ponoření do vody trvala až 720 dní. Cyklus se skládal z následujících kroků: 72 hodin ponoření do vody (27 ± 2 °C); 24 hodin sušení na vzduchu (27 ± 2 °C); 72 hodin sušení a zahřívání na vzduchu (70 ± 1 °C).[25]

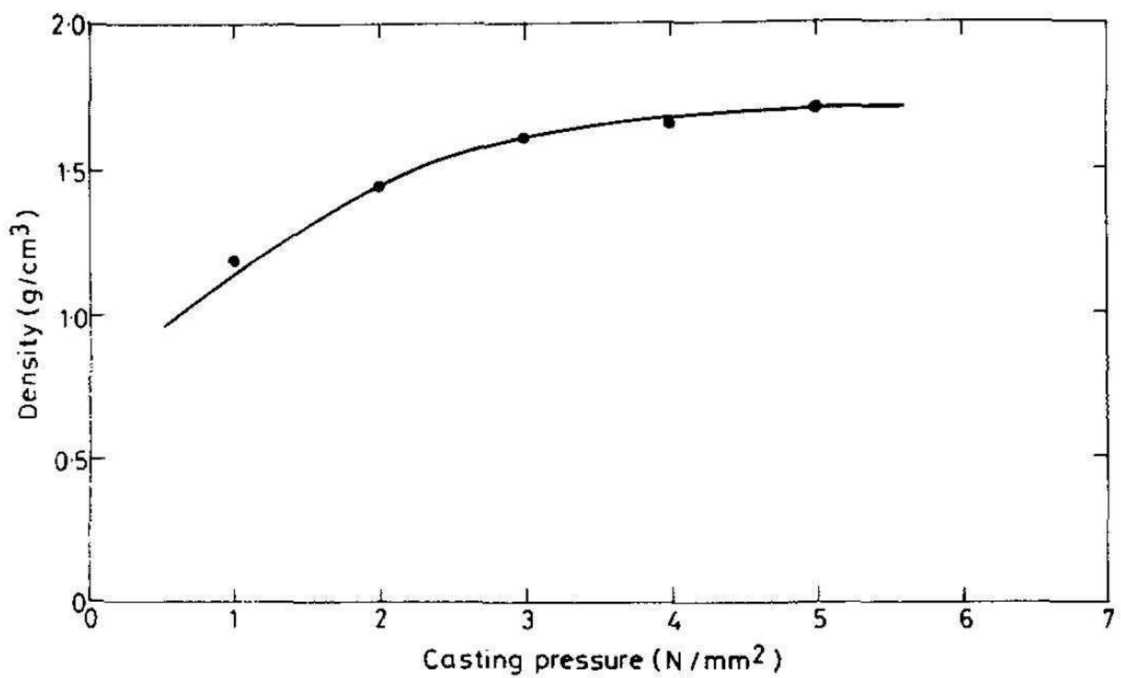
Ve všech případech bylo testováno alespoň šest vzorku na hustotu, nasákavost, bobtnání, pevnost v tahu, pevnost vnitřní vazby a pevnost v ohybu, uvedeny jsou střední hodnoty.[25]

Tabulka 6: Typické vlastnosti vláken bagasy [25]

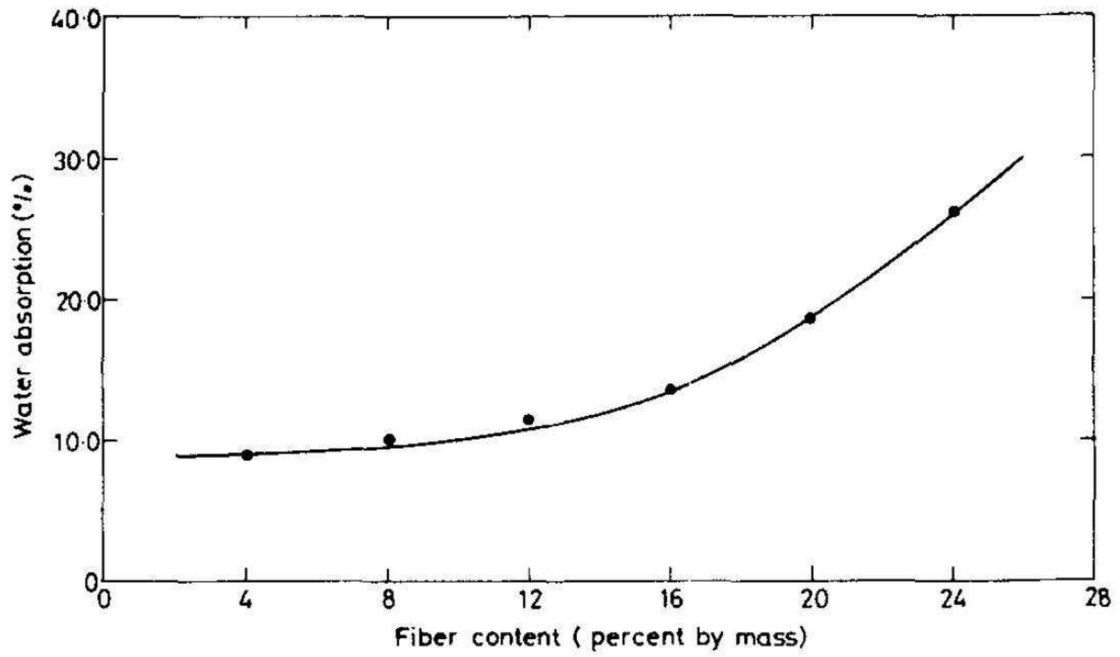
Barva	Světle hnědá
Objemová hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	180 – 190
Absorbce vody [%]	250 – 280
Obsah popelu [%]	3 – 4
Obsah částic v %	
2,36 mm	1 – 2
1,18 mm	50 – 55
600 μm	36 – 40
150 μm	9 – 10



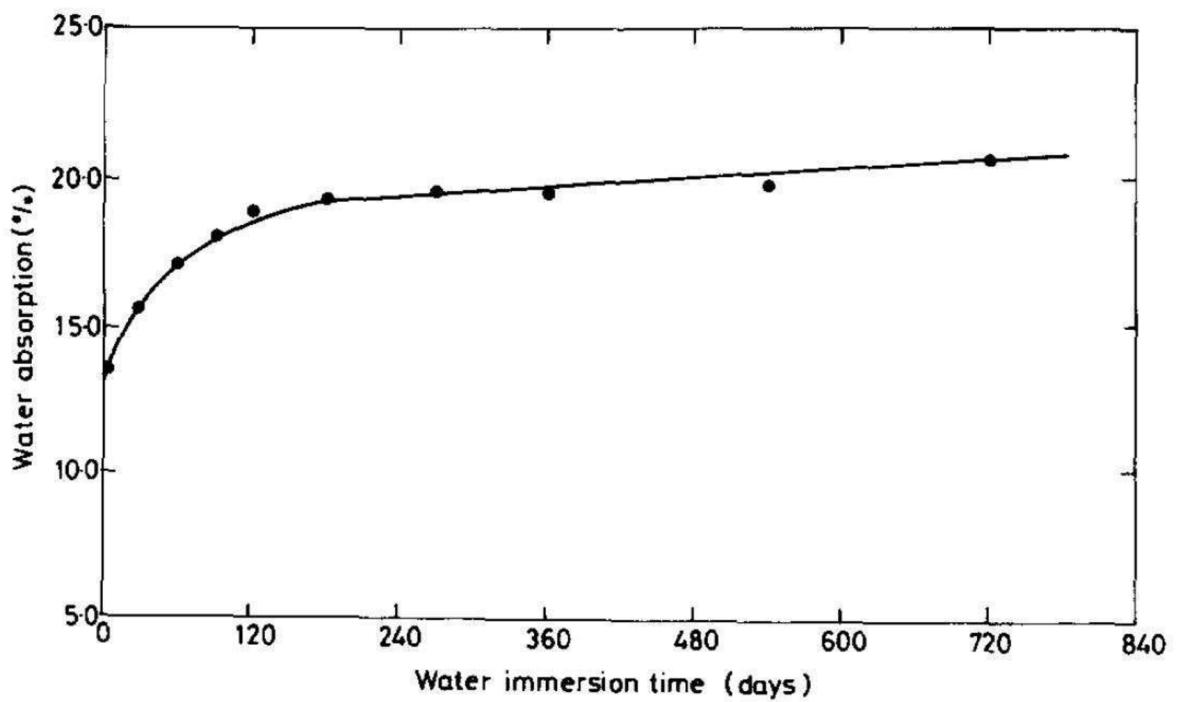
Obrázek 22: *Obsah vláken* (Fiber content) vs. hustota (Density) [25]



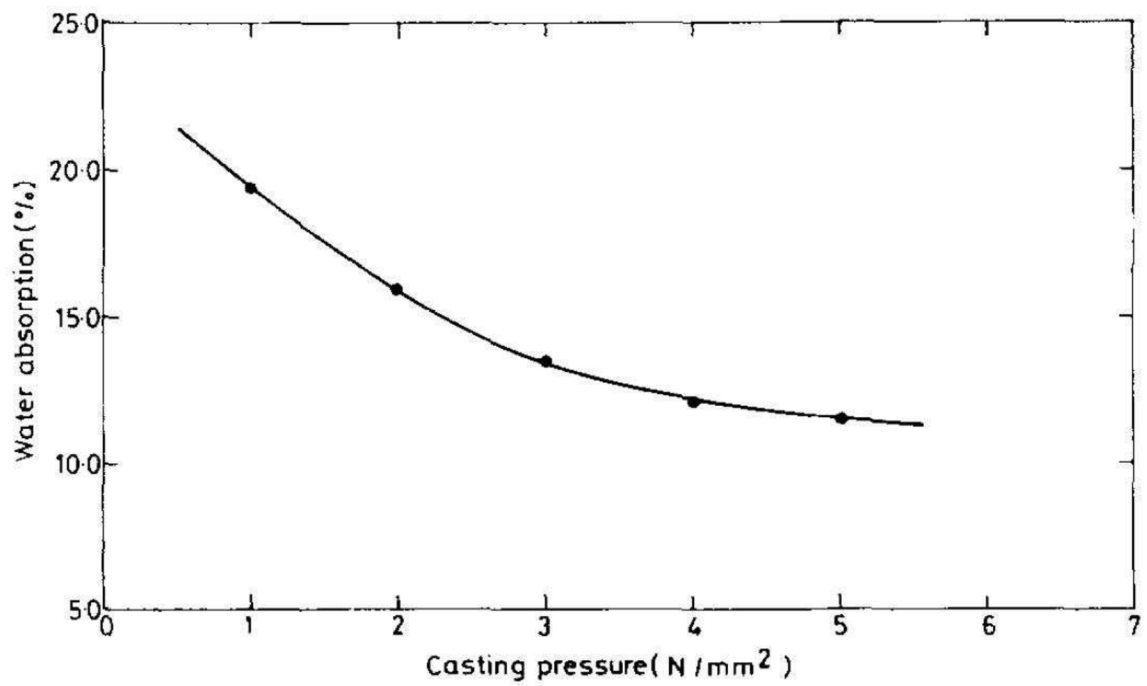
Obrázek 23: *Stlačení* (Casting pressure) vs. hustota (Density) (16 % bagasy) [25]



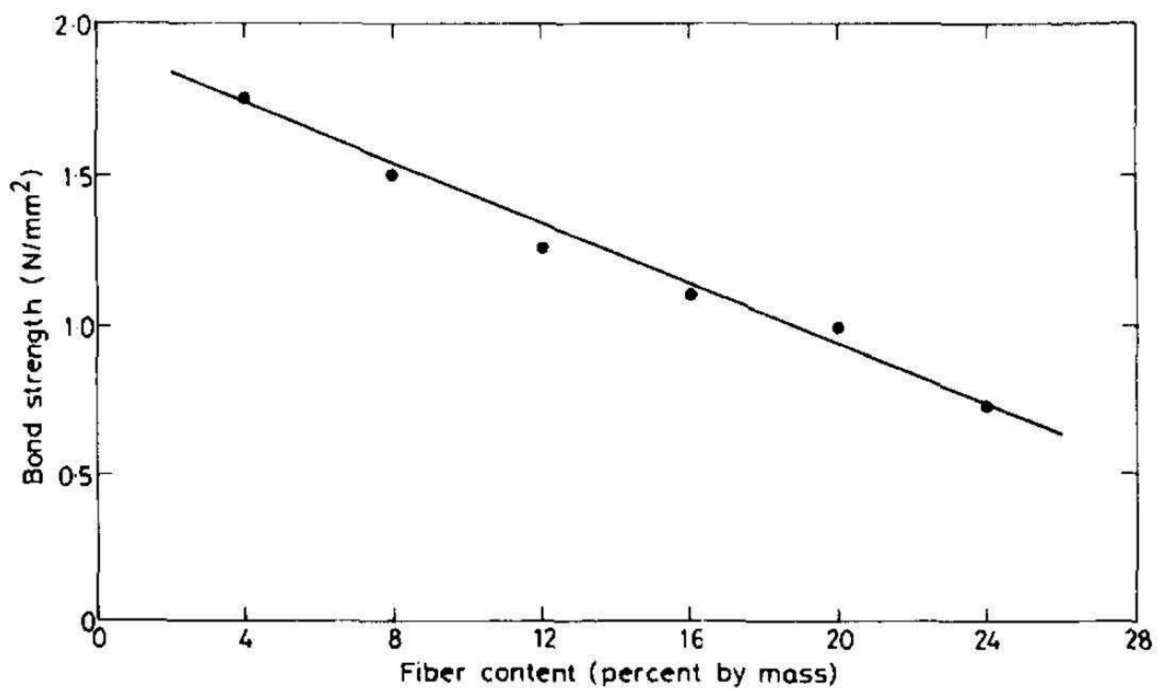
Obrázek 24: Obsah bagasy(Fiber content) vs. *nasákavost* (Water absorption) [25]



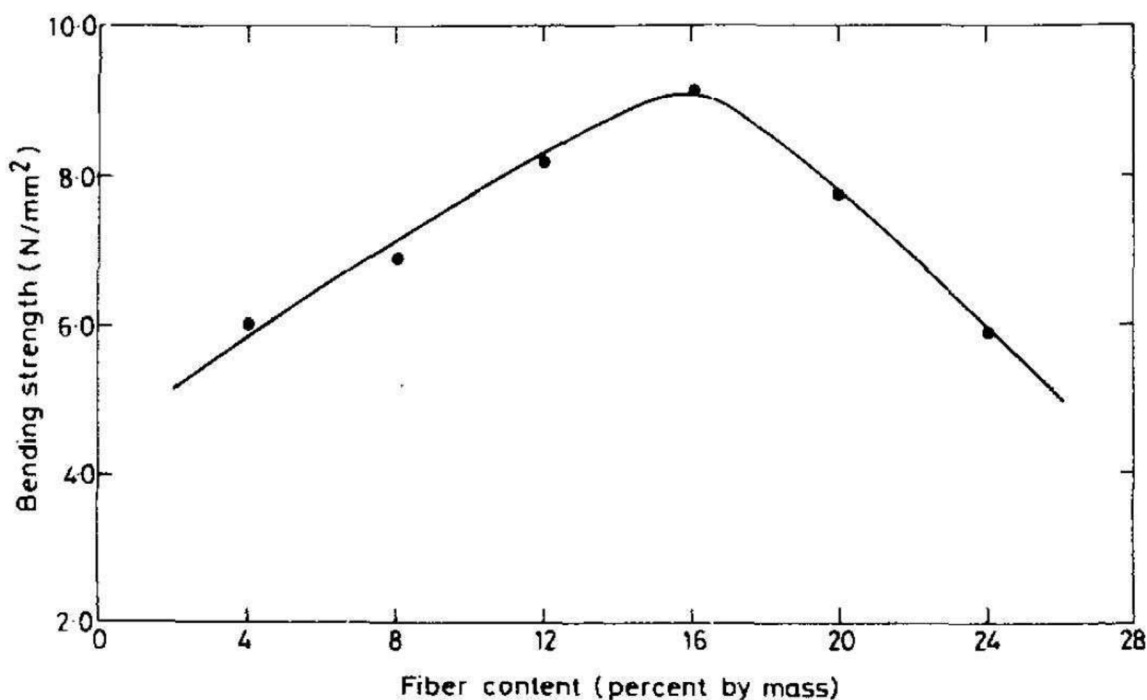
Obrázek 25: *Ponoření ve vodě ve dnech* (Water immersion time) vs. *nasákavost* (Water absorption) [25]



Obrázek 26: *Stlačení (Casting pressure) vs. nasákavost (Water absorption) (16 % bagasy) [25]*



Obrázek 27: *Obsah bagasy (Fiber content) vs. pevnost v tahu (Bond strength) [25]*



Obrázek 28: Obsah bagasy (Fiber content) vs. pevnost v ohybu (Bending strength) [25]

Z grafů vyplývá příznivý vliv stlačení desek při výrobě na nasákavost a objemovou hmotnost. Při změně stlačení z 1,0 N.mm⁻² na 3,0 N.mm⁻² došlo ke zvýšení hustoty o cca. 32 % a při změně ze 3,0 N.mm⁻² na 5,0 N.mm⁻² o cca. 8 %. Při změně stlačení z 1,0 N.mm⁻² na 3,0 N.mm⁻² dále došlo ke snížení nasákavosti o cca. 6 % a při změně ze 3,0 N.mm⁻² na 5,0 N.mm⁻² o cca. 2 %. Nejvýhodnější pro výrobu je tlak stlačení 2,0 – 3,0 N.mm⁻². Dále z grafů vyplývá, že nejlepších pevností bylo dosaženo při obsahu bagasy 12 – 16 %. Optimální je odformování po 6 hodinách.[25]

Mezi negativní vlastnosti bagasy, stejně jako u jiných organických plniv používaných s cementovým pojivem, je negativní vliv na průběh hydratace cementu. Jedná se zejména o ve vodě rozpustné cukry, hemicelulózu a lignin. Při zahřátí vláken bagasy na 200 °C na rozdíl od použití neupravených, však hydratace probíhá srovnatelně jako použití pouze cementového kompozitu.[28]

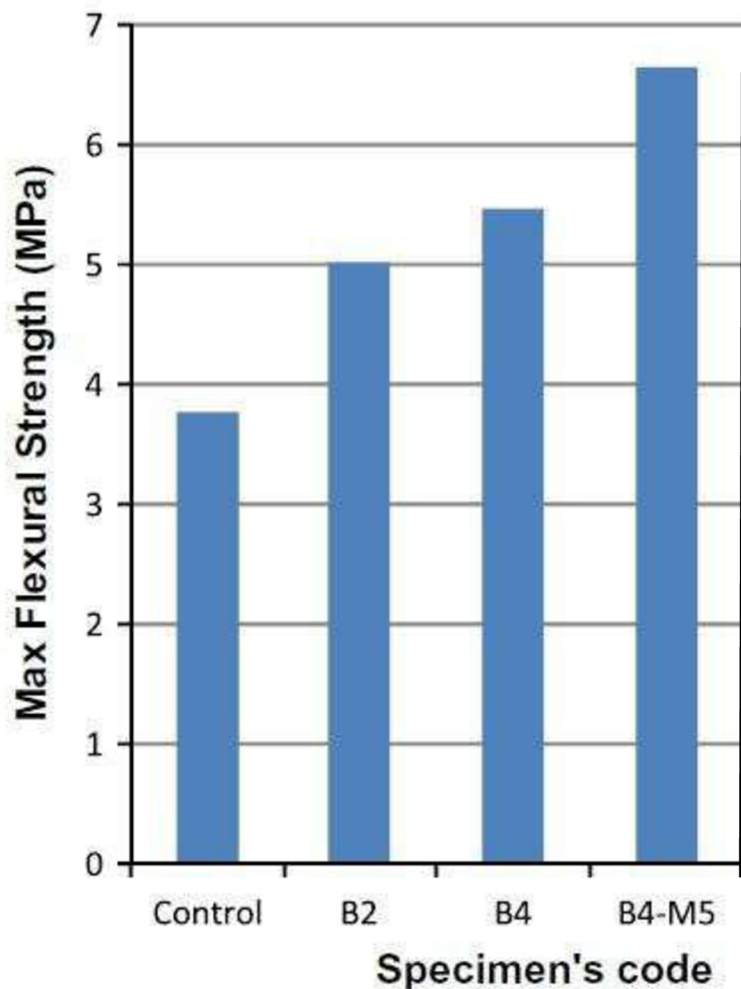
Další možností pro zlepšení vlastností je využití mikrosiliky. Při této zkoušce bylo porovnáváno několik směsí, lišících se obsahem bagasy a křemičitého úletu. Testované vzorky měly rozměr 18 × 8 × 0,8 cm. Vodní součinitel pro všechny vzorky byl 0,3. Ze vzorků byla vakuově odsána přebytečná voda a byly zatíženy, aby se usnadnil odvod vody a ztuhnutí. Hodinu po odformování byly vzorky uloženy na 28 dní do prostředí s relativní vlhkostí 95 % a teplotou 21 °C.[26]

Tabulka 7: Vlastnosti použité mikrosiliky [26]

Barva	Šedá
Specifická hmotnost	2,35
Rozpustnost	Nerzpustný
Objemová hmotnost	625 kg.m ⁻³
Oxid křemičitý (SiO ₂)	93 %
Obsah vlhkosti	1,5 %
Zbytek na síť 45 μm (síto 325)	3,2 %
Index síly pucolánové aktivity po 7 dnech	112 %
Měrný povrch	20 m ² .g ⁻¹

Tabulka 8: Testované vzorky [26]

Vzorek	Cement [g]	Voda [g]	Mikrosilika [g]	Vlákna bagasy [g]	Vlákna bagasy [%]
Referenční	150	450	-	-	-
B2	150	450	-	3	2
B4	150	450	-	6	4
B4M5	142,5	450	7,5	6	4



Obrázek 29: Označení vzorku (*Specimen's code*) vs. maximální pevnost v ohybu (Max Flexural Strength) [26]

Z grafu je patrný nárůst pevnosti se zvyšujícím se obsahem bagasy a další zvýšení na téměř 7 MPa u vzorku s křemičitým úletem.

Jako vhodný výrobní postup se proto nabízí využití vláken bagasy upravených zahřátím na teplotu 200 °C v celkovém množství 12 – 16 % hmotnosti, stlačení 2,0 až 3,0 N.mm⁻² při výrobě, odformování po 6 hodinách a přidání křemičitého úletu cca. 5 %.

6 Dostupnost surovin pro tuzemskou výrobu

Jako vhodné materiály, pro tuzemskou výrobu desek s cementovým pojivem, se jeví technické konopí, sláma (zejména pšeničná) a topolové dřevo.

Konopí se řadí mezi technické plodiny a kromě potravinářského průmyslu (semena atd.) má zejména široké využití v textilním a energetickém. Ve stavebním průmyslu se konopné pazdeří využívá zejména pro tepelně izolační účely. Přibližná cena vysušené slisované drti je 16000 Kč/t (cca 3200 Kč/m³, cca 1600 Kč/m³ volně loženého).

Sláma je v podstatě odpadní produkt pěstování obilovin pro zrní, který se využívá zejména jako stelivo pro hospodářská zvířata a následně jako hnojivo. Ve stavebním průmyslu se sláma využívá ve formě lisovaných nenosných desek, výjimečně také nelisovaná, např. ve formě balíků, jako tepelná izolace obvodových stěn. Přibližná cena 1000 Kč/t (cca 450 Kč/m³ ve formě balíků).

Topol patří mezi dřeviny s měkkým dřevem a stavebně využívaný je spíše výjimečně. Průmyslově je využíván na výrobu biomasy pro energetický průmysl. Přibližná cena štěpků 900 – 2100 Kč/t (cca 900 Kč/m³).

Cenově vychází nejlépe sláma, pokud počítáme čistě cenu suroviny. Další náklady spočívající v její úpravě a investici do nových výrobních postupů a strojů, nehledě na obtížnost udržení stejné kvality pro různé zdroje, ji však značně znevýhodňují. Konopí je dražší, a zůstává problém se změnou výrobních procesů. Topolové dřevo ve formě štěpků je relativně levný materiál se snadno udržitelnou kvalitou.

Tabulka 9: Plocha osevů a těžba dřeva v ČR [29]

Rok	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Plocha osevu [ha]					
Obiloviny	1 552	1 528	1 459	1 468	1 444	1 428
celkem	717	020	505	129	688	171
Pšenice celkem	802	831	833	863	815	829
	325	300	577	132	381	393
Konopí	-	-	-	299	213	280
	Těžba dřeva [m ³ bez kůry]					
Topol, vrba, osika	49 306	60 739	59 151	82 782	90 007	-

Z tabulky je patrný nárůst těžby dřeva z topolu, vrby a osiky. Je zde vidět veliký potenciál obilovin jakožto nejrozšířenějších zemědělských plodin. U konopí vidíme kolísání v oseté ploše, a to na celkově ne příliš velké ploše.

7 Diskuse

Deskové materiály s cementovým pojivem jsou dnes široce využívány ve stavebnictví, díky své variabilitě, snadné manipulaci, montáži a trvanlivosti. Použít se dají např. na konstrukce stěn, fasád, podhledů, podlah, ale i jako ztracené bednění. Svými mechanickými vlastnostmi předčí masivní dřevěné prvky. Základní surovinou, sloužící jako plnivo pro výrobu desek s cementovým pojivem, jsou dřevní třísky, případně dřevní vlákna. V současné době je pro výrobu desek nejvíce využívané dřevo smrkové, které má ovšem některé nedostatky (doba růstu, inhibiční index, mechanizace těžby, atd.). Proto by bylo výhodné jej ve výrobě částečně nebo úplně nahradit některým z materiálů uvedených níže.

Topol je rychle rostoucí, listnatá dřevina, rozšířená v subtropickém podnebném pásu. Topolové dřevo je vhodné jako plnivo do deskových materiálů s cementovým pojivem díky nízkému inhibičnímu indexu. Má tedy nízký obsah látek zpomalujících hydrataci cementu. Působení těchto látek se dá omezit pomocí chloridu vápenatého. Topolové dřevo je vhodné pro výrobu cementotřískových i vláknocementových desek.

Sláma je tradiční materiál, ve stavebnictví využívaný zejména jako střešní krytina. Jedná se o zbytky obilovin po vymlácení zrn, v podstatě je to odpadní materiál. Mechanické vlastnosti desek ze slámy a cementu jsou porovnatelné s běžnými cementotřískovými a vláknocementovými deskami. Hlavní nevýhodou je vysoké množství obsažených extrahovatelných látek rozpustných ve vodě. Jejich negativnímu dopadu na hydrataci cementu je možné zabránit použitím oxidu uhličitého. Další nevýhodou je náročné zajištění stálosti kvality, která je snižována působením plísní a škůdců na slámu před zpracováním. Při pokusu bylo využito relativně malé množství slámy ve směsi (cca. 9,7 % hmotnostních). Z toho vyplývá nutnost dalších zkoušek hodnotících závislost obsahu slámy ve směsi na mechanické vlastnosti. Zatím je možno doporučit slámu pro částečnou náhradu plniva.

Konopí (technické konopí, konopí seté) je jednoletá, teplomilná rostlina, která splňuje normy obsahu THC. Pěstování a sklizeň nevyžaduje těžkou mechanizaci, což je finančně výhodné. Konopné pazdeří je vhodné pro výrobu vláknocementových desek. Pro lepší hydrataci a spojení s cementem je vhodné vlákna ošetřit roztokem NaOH. Konopí je vhodné zejména jako parciální náhrada plniva, nejlepších vlastností dosahuje při velmi malém obsahu ve směsi (16 % objemových), což znamená vysoký obsah cementu a značnou finanční náročnost výroby.

Kokosová vlákna jsou získávána z plodů kokosovníku ořechoplodného, který je rozšířen v tropech. Vlákna jsou využívána zejména v textilním průmyslu. Nejlepších vlastností je

dosaženo při lisování desek vyšším tlakem (na hustotu minimálně 1100 Kg/m³). Pro lepší spojení s cementem a zabránění zpomalování hydratace cementu je výhodné vlákna před použitím propírat ve vroucí vodě, případně přidat malé množství CaCl₂ (4 %) do směsi. Kokosová vlákna jsou vhodná pro samostatné využití jako plnivo, nicméně není možné efektivně pěstovat kokosovník na našem území a dovoz vláken je z finančního hlediska nevýhodný.

Bagasa je zbytek cukrové třtiny po odšťavnění při výrobě cukru. Negativní vliv na hydrataci cementu je možné odstranit zahřátím bagasy na 200 °C. Dále také přidáním křemičitého úletu do směsi (5 %). Nejlepších vlastností bylo dosaženo při obsahu vláken ve směsi 16 %, z toho vyplývá vhodnost zejména pro parciální nahrazení plniva. Jelikož se jedná o rostlinu rozšířenou v tropech, znamenalo by její využití u nás vysoké náklady spojené s dovozem.

8 Závěr

Jako nejlepší surovina, využitelná pro funkci plniva v deskových materiálech s cementovým pojivem, se jeví topolové dřevo. Mezi hlavní výhody patří srovnatelné fyzikální a chemické vlastnosti s nejpoužívanějším stávajícím plnivem (smrkové dřevo), z toho vyplývá minimální změna v zavedených výrobních procesech, mechanizaci a sortimentu. Topolové dřevo je méně náchylné na poškození při převozu a skladování vlivem povětrnostních podmínek a působení škůdců (naopak sláma je k takovému poškození velmi náchylná). Další výhodou je udržení stejných nebo podobných vlastností pro různé zdroje.

Topol je nenáročná a rychle rostoucí listnatá dřevina, které se dobře daří i v tuzemsku. Vykazuje nízký inhibiční index, což je důležité pro hydratační proces s cementem. Je využitelný pro výrobu cementotřískových i vláknocementových desek.

Vhodné složení pro výrobu cementotřískových desek sestává z poměru cement:topolové třísky - 60:40. Tento poměr zaručuje nejvyšší množství vazeb mezi dřevními třískami a cementem a ideální rozmísení třísek. Vodní součinitel je vhodný 0,6 (včetně vody obsažené ve dřevě – obsah vody v třískách 12 %). Ke zlepšení mechanických vlastností dřeva a vazby s cementem poslouží přidání 7 % chloridu vápenatého.[17]

Pro výrobu vláknocementových desek je vhodné použít směs 40 % vláken z topolu (délky 100 – 200 mm), 55 % cementu, při vodním součiniteli 0,43 a 5 % chloridu vápenatého. Poměr vláken k cementu opět zaručuje ideální tvorbu vzájemných vazeb a správné rozmísení vláken v cementové matici.[18]

Třísky nebo vlákna je vhodné namáčet v horké vodě (50 °C po 48 hodin), pro lisování se jako nejlepší jeví tlak 2,5 – 3,0 MPa, po odformování je dobré udržovat desky při teplotě 25 °C a relativní vlhkosti 65 % po dobu dozrávání.[17,18]

U cementotřískových desek byla dosažena pevnost v ohybu 23 MPa a modul pružnosti 2 GPa. U vláknocementových desek byla dosažená pevnost v ohybu 31,5 MPa a modul pružnosti 5,9 GPa.[17,18]

Další výzkum by bylo vhodné zaměřit na vliv namáčení v horké vodě a úpravy před přidáním cementu. Dále by bylo vhodné prověřit možnosti urychlení výroby přidáním urychlujících přísad či účinkem vyšších teplot, tak aby bylo dosaženo rychlejší výroby umožňující stabilní a plynulou výrobu stavebních desek.

Topolové dřevo má veliký potenciál ve stavební výrobě pro kompozitní materiály, bylo by vhodné zvážit jeho větší využití a zavedení do běžné výstavby.

9 Seznam použité literatury

- [1] HUDEC, M., JOHANISOVÁ, B., MANSBART, T. *Pasivní domy z přírodních materiálů*. 1. Vydání. Praha: Grada Publishing, 2013, 160 s. ISBN 978-80-247-4243-4
- [2] SVOBODA, L. a kol. *Stavební hmoty*. 3. Vydání. Praha: Jaga Group, 2013, 950 s. ISBN 978-80-260-4972-2
- [3] CHYBÍK, J. *Přírodní stavební materiály*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2009, 268 s. ISBN 978-80-247-2532-1
- [4] KOLÁŘ, K., REITERMAN, P. *Stavební materiály*. 1. Vydání. Praha: Grada Publishing, 2012, 208 s. ISBN 978-80-247-4070-6
- [5] ADÁMEK, J. *Stavební materiály*. 1. vyd. Brno: CERM, 1997, 205 s. ISBN 80-214-0631-3.
- [6] BODNÁROVÁ, L. *Kompozitní materiály ve stavebnictví*. Brno: CERM, 2002, 122 s. ISBN 80-214-2266-1.
- [7] ŠAUMAN, Z. *Maltoviny I*. 1. Vydání. Brno: VUT v Brně, 1993, 194 s. ISBN 80-214-0509-0
- [8] Vodní sklo [online]. 2014 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z:
<http://www.vodnisklo.cz/view.php?cisloaktuality=2009120702>
- [9] Atlas dřeva [online]. 2014 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z:
http://www.atlasdreva.hu.cz/makro_exoticke/teorie_chemicke_slozeni_dreva_.html
- [10] Cetrís [online] [cit. 2014-05-01] Dostupné z: <http://www.cetris.cz/>
- [11] Cembrit [online] [cit. 2014-05-01] Dostupné z: <http://www.cembrit.cz/>
- [12] Fermacell [online] [cit. 2014-05-01] Dostupné z:
http://www.fermacell.cz/#_sub2756
- [13] Velox [online] [cit. 2014-05-01] Dostupné z: <http://www.velox.cz/cs/>
- [14] Swisspearl [online] [cit. 2014-05-01] Dostupné z: <http://www.swisspearl.com/>
- [15] Ameriform [online] [cit. 2014-05-01] Dostupné z:
<http://www.ameriformllc.com/index.asp>
- [16] Versapanel [online] [cit. 2014-05-01] Dostupné z:
http://www.euroform.co.uk/versapanel_what_is.shtml
- [17] ASHORI, A., TABARSA, T., SEPAHVAND, S. Cement-bonded composite boards made from poplar strands. Sciencedirect [online] 2012 [cit. 2014-04-27] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811002510>

- [18] ASHORI, A., TABARSA, T., AZIZI, K., MIRZABEYGI, R. Wood-wool cement board using mixture of eucalypt and poplar. Sciencedirect [online] 2011 [cit. 2014-04-27] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669011001105>
- [19] SOROUSHIAN, P., HASSAN, M. Evaluation of cement-bonded strawboard against alternative cement-based siding products. Sciencedirect. [online] 2012 [cit. 2014-04-29] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812000888>
- [20] SOROUSHIAN, P., AOUADI, F., kol. Cement-bonded straw board subjected to accelerated processing. Sciencedirect. [online] 2004 [cit. 2014-04-29] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946503001720>
- [21] BALČIŪNAS, G., VEJELIS, G., VAITKUS, S., KAIRYTE, A. Physical properties and structure of composite made by using hemp hurds and different binding materials. Sciencedirect [online] 2013 [cit. 2014-04-29] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813007534#>
- [22] SEDAN, D., PAGNOUX, C., SMITH, A., CHOTARD, T. Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction. Sciencedirect. [online] 2008 [cit. 2014-04-29] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221907003925>
- [23] ASASUTJARIT, C., HIRUNLABH, J., kol. Development of coconut coir-based lightweight cement board. Sciencedirect. [online] 2007 [cit. 2014-04-08] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061805002643>
- [24] ALMEIDA, R., MENEZZI, C., TEIXEIRA, D. Utilization of the coconut shell of babacu to produce cement-bonded particleboard. Sciencedirect. [online] 2002 [cit. 2014-04-08] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852402000822>
- [25] AGGARVALL, L. Bagasse-Reinforced Cement Composites. Sciencedirect [online]. 1994 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/095894659500008Z>
- [26] KHORAMI, M., GANJIAN, E. Comparing flexural behaviour of fibre-cement composites reinforced bagasse: Wheat and eukalyptus. Sciencedirect [online]. 2011 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811000985>

- [27] LOH, Y.R., SUJAN, D., RAHMAN, M.E., DAS, C.A. Sugarcane bagasse – The future composite materiál: A literature review. Sciencedirect [online]. 2013 [cit. 2014-04-01] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491300058X#>
- [28] BILBA, K., ARSENE, M., OUENSANGA, A. Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Sciencedirect. [online] 2003 [cit. 2014-04-01] Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946502000033>
- [29] Český statistický úřad [online] [cit. 2014-05-12] Dostupné z:
http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/zemedelstvi_zem

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Ukázka aplikací desek na bázi cementu v interiéru a exteriéru [10, 11].....	9
Obrázek 2: Ukázka výroby cementotřískových desek [10].....	12
Obrázek 3: Ukázka povrchových úprav a pigmentů (Wood content) [10, 13, 14].....	18
Obrázek 4: Pevnost v ohybu (MOR) a modul pružnosti (MOE) [17].....	23
Obrázek 5: Rázová pevnost (IS) a pevnost vnitřní vazby (IB) [17].....	23
Obrázek 6: Nasákavost (WA), podíl dřevní hmoty (Wood content) [17].....	24
Obrázek 7: Teplotní průběh hydratace (Hydratation Temp.) v závislosti na čase (Time) [18]	25
Obrázek 8: Pevnost v ohybu (MOR), pevnost vnitřní vazby (IB) a modul pružnosti (MOER) [18].....	25
Obrázek 9: Sláma a deska vyrobená ze slámy a cementu [19].....	26
Obrázek 10: Pevnost v ohybu v porovnání s konkurenčními deskami. (CBCB – vláknocementové desky, CBPC – cementotřískové desky, CBSB – desky ze slámy a cementového pojiva; Saturated – nasáklé vodou, Hotwater – nasáklé horkou vodou, Wetdry – střídavé namáčení a vysoušení, Freezthaw – střídavé vystavení mrazu a rozmražení) [19] ...	27
Obrázek 11: Stavba konopného vlákna [22]	28
Obrázek 12: Mikrostruktura vláken a – konopná vlákna, b – konopná vlákna po namáčení ve vápenném roztoku[23].....	29
Obrázek 13: Mikrostruktura vláken a – konopná vlákna, b – konopná vlákna po smísení s cementem a vodou[21].....	30
Obrázek 14: Postup výroby vzorků [23].....	31
Obrázek 15: Hustota (Board density) vs. pevnost v ohybu (MOR) pro různé vzorky (Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23].....	32
Obrázek 16: Hustota (Bouard density) vs. pevnost vnitřní vazby (Internal Bond) pro různé vzorky (Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23].....	32
Obrázek 17: Hustota (Board density) vs. bobtnání (Thicness Swelling) pro různé vzorky(Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23].....	33
Obrázek 18: Hustota (Board density) vs. nasákavost (Water Absorption) pro různé vzorky (Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23].....	33

Obrázek 19: <i>Hustota (Board density) vs. tepelná vodivost (Thermal conductivity) pro různé vzorky (Not Washed – neupravené, Washed – propírané, Boiled and washed – propírané vroucí vodou) [23]</i>	34
Obrázek 20: <i>Desky z kokosových vláken a cementu [23]</i>	35
Obrázek 21: <i>Bagasa [27]</i>	36
Obrázek 22: <i>Obsah vláken (Fiber content) vs. hustota (Density) [25]</i>	38
Obrázek 23: <i>Stlačení (Casting pressure) vs. hustota (Density) (16 % bagasy) [25]</i>	38
Obrázek 24: <i>Obsah bagasy(Fiber content) vs. nasákavost (Water absorption) [25]</i>	39
Obrázek 25: <i>Ponoření ve vodě ve dnech (Water immersion time) vs. nasákavost (Water absorption) [25]</i>	39
Obrázek 26: <i>Stlačení (Casting pressure) vs. nasákavost (Water absorption) (16 % bagasy) [25]</i>	40
Obrázek 27: <i>Obsah bagasy (Fiber content) vs. pevnost v tahu (Bond strenght) [25]</i>	40
Obrázek 28: <i>Obsah bagasy (Fiber content) vs. pevnost v ohybu (Bending strength) [25]</i>	41
Obrázek 29: <i>Označení vzorku (Spesimen's code) vs. maximální pevnost v ohybu (Max Flexural Strength) [26]</i>	43

11 Seznam tabulek

Tabulka 1: Inhibiční index dřevin [17].....	22
Tabulka 2: Naměřené vlastnosti desek ze slámy s cementovým pojivem [19].....	27
Tabulka 3: Maximální pevnost v tahu za ohybu [21].....	29
Tabulka 4: Vlastnosti vzorků podle poměru složení [23]	34
Tabulka 5: Vlastnosti vzorků podle hustoty a obsahu CaCl_2 [24].....	35
Tabulka 6: Typické vlastnosti vláken bagasy [25]	37
Tabulka 7: Vlastnosti použité mikrosiliky [26].....	42
Tabulka 8: Testované vzorky [26].....	42
Tabulka 9: Plocha osevů a těžba dřeva v ČR [29].....	44