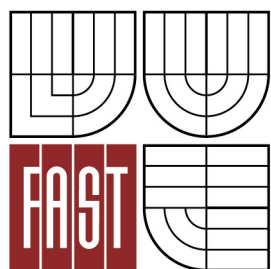




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

MODIFIKACE PLNIVA CEMENTOTŘÍSKOVÝCH DESEK ALTERNATIVNÍMI VLÁKNITÝMI PLNIVY

MODIFICATION OF THE FILLER IN CEMENT-BONDED BOARDS WITH ALTERNATIVE
FILAMENTOUS FILLERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MICHAL DYWOR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ BYDŽOVSKÝ, CSc.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Michal Dywor
Název Modifikace plniva cementotřískových desek alternativními vláknitými plnivy
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce 11. 1. 2013

V Brně dne 31. 3. 2012



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

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

Podklady a literatura

- CHYBÍK, J. Přírodní stavební materiály, Grada Publishing, 2009
ŠAUMAN, Z. Maltoviny I, PC - DIR Brno s.r.o., 1993
BAREŠ, R. Kompozitní materiály, SNTL Praha 1988
AGARWAL, B., BROUTMAN, L. Vláknové kompozity, SNTL Praha 1987
Pfeiferová, M., Srdečný, K., Šimek, F. Slaměný dům, Rosa, o.p.s., Č. Budějovice, 2001
Konopářský svaz České republiky [online], dostupný z WWW: <http://www.konopi.info/>
Chanvre et Technique [online], dostupný z WWW: <http://www.technichanvre.com/chanvre-technilaine.htm>
Konopí ve stavebnictví [online], dostupný z WWW: <http://www.konopa.cz/>
Související české technické normy.
Firemní literatura společnosti Cidem Hranice a.s.
Vacula, M., Klvač, M., Mildner, R. Využití odpadu z výroby kamenné vlny pro modifikaci vlastností cementových desek s organickým plnivem, Sborník příspěvků Sanace a rekonstrukce staveb 2011, Praha, WTA CZ, p.77-83.

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

Pro cementotřískové desky jsou jako běžné plnivo používány dřevěné třísky. Cílem práce je ověření možnosti využití alternativních plniv na bázi organické i anorganické.

V rámci teoretické části budou specifikovány stávající poznatky o funkci vláken v kompozitním systému, a formou rešerší z dostupných informačních zdrojů vyhledány a popsány alternativní typy plniv.

V praktické části budou provedeny zkoušky vlastností vytipovaných alternativních plniv a posouzena nutnost jejich předúpravy. Následně bude provedeno ověření jejich funkce v silikátové matici, kdy budou vyrobeny v laboratorním lisu desky s těmito alternativními plnivy a na vyřezaných zkušebních tělesech bude hodnocen jejich vliv na základní parametry desek, zejména pevnost v ohybu, nasákavost, modul pružnosti apod.

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 část VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

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

Abstrakt v českém a anglickém jazyce

V cementotřískových deskách se jako plnivo běžně užívá třísek jedlového nebo smrkového dřeva. Zvyšující se nároky kladené na stavební materiály nutí technology vyvíjet nové druhy kompozitních materiálů využívající i alternativní zdroje plniv. V této práci jsou v rámci teoretické části specifikovány poznatky o funkci vláken v kompozitních systémech, jsou rozebrány vlastnosti pojiva a plniva cementotřískových desek a také alternativních materiálů. V části praktické jsou popsány zkušební metody, navrhnuty receptury a následně vyrobeny desky z nichž byly vyřezány zkušební tělesa určená pro zkoušení vlastností desek s alternativními plnivy.

The cement boards are commonly used as a filler fir or spruce chips-profit wood. The increasing demands for construction materials forcing technology to develop new types of composite materials using an alternative source of fillers. In this work in the context of theoretical knowledge about the specified fibers in composite systems are discussed properties of cement binder and filler for cement – bonded particleboards and alternative materials. The practical part describes the test methods designed recipes and then made boards of which were carved specimens intended for testing the properties of boards with alternative fillers.

Klíčová slova v českém a anglickém jazyce

Kompozit, vlákno, cementotřískové desky, alternativní materiál

Composite, cement – bonded particleboards, alternative material

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690

DYWOR, Michal. *Modifikace plniva cementotřískových desek alternativními vláknitými plnivý*. Brno, 2013. 91 s., 91 s. příl. Diplomová 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 VŠKP

Prohlášení:

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

V Brně dne

.....
podpis diplomanta

Poděkování:

Za odborné a pedagogické vedení děkuji doc. Ing. Jiřímu Bydžovskému, CSc. a také Ing. Šarce Keprtové za trpělivost a ochotu. Dále děkuji ostatním zaměstnancům ÚTHD FAST VUT v Brně za vstřícnost a poskytnutí technické pomoci.

OBSAH

A. Úvod.....	11
B. Teoretická část.....	12
1. Kompozitní materiál.....	12
1.1.1 Vláknové kompozity.....	14
1.2 Desky pojené minerálními pojivy.....	14
1.2.1 Desky z dřevité vlny a cementu.....	15
1.2.2 Cementoštěpkové desky.....	16
1.2.3 Cementotřískové desky.....	17
1.2.3.1 Historie desek.....	17
1.2.3.2 Výroba.....	17
1.2.3.3 Vlastnosti.....	19
1.2.3.4 Použití.....	20
1.2.4 Cementovláknité desky.....	20
1.2.5 Sádrovláknité desky.....	20
2. Pojivo.....	21
2.1 Cement.....	21
2.1.1 Výroba cementu.....	22
2.1.1.1 Základní suroviny pro výrobu cementu.....	24
2.1.1.2 Hlavní technologické kroky výroby cementu.....	25
2.1.2 Vlastnosti cementu.....	29
3. Plnivo.....	31
3.1 Dřevo.....	31
3.1.1 Historie.....	31
3.1.2 Zdroj dřeva.....	31
3.1.3 Těžba dřeva.....	32
3.1.4 Skladba dřeva.....	32
3.1.5 Složení dřevní hmoty.....	33
3.1.6 Druhy dřevin.....	34
3.1.6.1 Jehličnaté dřeviny.....	34
3.2 Alternativní nebo obnovitelné suroviny.....	35

3.2.1 Juta.....	35
3.2.2 Sláma	36
3.2.3 Konopí	37
3.2.4 Prach a pazdeří	38
3.2.5 Pěnové sklo	38
3.2.6 Separát z pneumatik.....	39
3.2.7 Odpad z výroby minerální vlny	40
3.2.8 Syntetická vlákna.....	41
C. Cíl práce.....	42
D. Praktická část.....	43
4. Metodika.....	43
4.1 I. Etapa – zkoušení vlastností vstupních surovin	45
4.1.1 Stanovení sypné hmotnosti	45
4.1.2 Stanovení nasákavosti	46
4.1.3 Stanovení normální konzistence, počátku a doby tuhnutí	46
4.1.4 Stanovení měrné hmotnosti cementu pyknometricky	47
4.1.5 Stanovení jemnosti mletí	47
4.1.6 Stanovení pevnosti cementu	48
4.1.7 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor.....	50
4.2 II. etapa – Vlastní výroba zkušebních těles.....	50
4.2.1 Receptury pro výrobu zkušebních těles.....	50
4.2.2 Postup míchání a ošetřování zkušebních těles – desky	51
4.3 III. etapa – zkoušení vlastností zkušebních těles.....	52
4.3.1 Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu.....	52
4.3.2 Stanovení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky.....	53
4.3.3 Stanovení objemové hmotnosti	54
5. Zpracování a vyhodnocení naměřených dat.....	55
5.1 Vyhodnocení výsledků I. etapy	55
5.1.1 Výsledky zkoušek na alternativních plnivech.....	55
5.1.2 Výsledky zkoušek cementu	56
5.2 Vyhodnocení II. etapy	57
5.3 Vyhodnocení výsledků III. etapy	58
5.3.1 Povrch a struktura zkušebních těles.....	58
5.3.2 Mechanické vlastnosti zkušebních těles.....	62

5.3.3 Souhrn výsledků	70
5.4 Fotodokumentace	73
E. Závěr	82
F. Seznamy	85
6. Seznam zdrojů a použité literatury	85
7. Seznam obrázků.....	87
8. Seznam tabulek.....	89
9. Seznam grafů	89
10. Seznam zkratek a použitých symbolů	91

A. Úvod

Je všeobecně známo, že historie stavebnictví je hluboce spjata s dějinným vývojem člověka a s rozvojem lidské společnosti. Stavebnictví vždy patřilo a patřit bude k nejrozšířenějším odvětvím lidského snažení měnit tvář naší planety. V současnosti se vyznačuje dynamickým vývojem a inovativními postupy v oblasti nových, šetrnějších technologií. Opětovně se využívají materiály na přírodní bázi, ale zároveň dochází ke vzniku nových, kombinovaných materiálů, jejichž předností může být levnější i ekologicky šetrnější výsledný produkt.

Cementotřískové desky patří do skupiny kompozitních materiálů se silikátovou matricí a jako zpevňující komponent se užívají dřevěné třísky. Desky jsou vhodné pro použití do exteriéru i interiéru, a to jako fasádní a podlahové systémy, podhledy, protipožární systémy, mohou také zastávat funkci ztraceného bednění a v neposlední řadě je lze využít i při výstavbě přiček. Toto široké využití je umožněno vhodnou kombinací vlastností cementu a dřeva. Vyráběné desky tak vynikají svou pevností, pružností, lze je snadno opracovávat a vyznačují se nízkou hmotností. Nevýhodou zůstává vyšší cena.

Základními surovinami jsou cement jako pojivo, třísky smrkového, či jedlového dřeva jako plnivo a přísady. Úkolem této diplomové práce je prozkoumat možnost náhrady dřevní hmoty vláknitým materiálem ať už organického či anorganického původu a zjistit vliv na konečné materiálové vlastnosti – pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, modul pružnosti, objemovou hmotnost a mrazuvzdornost.

B. Teoretická část

1. *Kompozitní materiál*

Obecně lze říci, že kompozit je materiál tvořený dvěma nebo více druhy materiálů rozdílných vlastností s makroskopicky rozlišitelným rozhraním. Nově vzniklý materiál se pak vyznačuje vlastnostmi, kterými nedisponují vstupní materiály samy o sobě. Nelze jich dosáhnout ani prostým sečtením, jelikož dochází k vzájemné synergii. Všechny vlastnosti se odvíjejí jak od použitých materiálů, tak od technologií výroby. V neposlední řadě záleží také na uspořádání, orientaci a vzájemné interakci všech složek.

Za původní kompozity lze považovat malé hliněné bloky, do nichž byly přidávány kousky slámy. Tyto bloky se vysušily na slunci a v konečném výsledku disponovaly lepšími vlastnostmi než samostatná hlína. Mezi velmi staré kompozitní materiály patří rovněž beton, který byl poměrně nedávno, pro dosažení ještě lepších vlastností, zkombinován s ocelí. Počátky novodobých kompozitních materiálů lze zaznamenat počátkem 20. století s příchodem prvních plastických látek. Největší rozmach přišel v sedmdesátých letech, kdy se kompozitní materiály začaly mnohem více prosazovat v leteckém, automobilovém a také sportovním průmyslu. V současné době je kladen důraz na vývoj nových kompozitních materiálů s kovovou a keramickou maticí, dále pak na vývoj uhlíkových a polymerních kompozitů. [1] [2]

V průmyslu výroby stavebních hmot se setkáváme se třemi skupinami látek, jejichž spolupůsobením vznikají kompozitní materiály. Jsou jimi pojiva, plniva a přísady. Pojiva jsou definována jako chemicky reaktivní látky organického či anorganického původu, umožňující spojení menších částic ve větší celky, které vykazují dostatečnou pevnost. Plnivy se rozumí chemicky nereaktivní menší částice organických či anorganických látek, které vytvářejí výplň či nosnou kostru kompozitů. Jako přísady lze definovat chemicky reaktivní i nereaktivní látky organického či anorganického původu, které mají za úkol pozměňovat vlastnosti pojiva či celého kompozitu. [9]

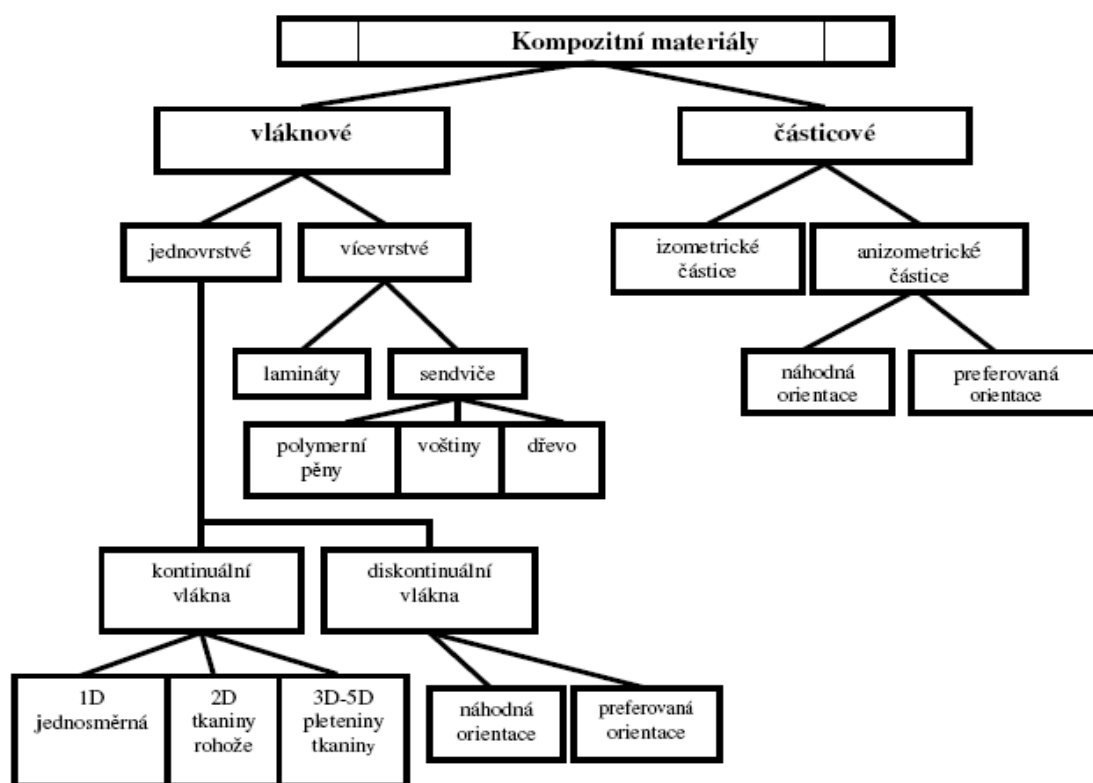
1.1 Rozdělení kompozitních materiálů

Kompozitní materiály lze dělit podle několika základních hledisek:

- podle materiálu matrice:
 - s organickou matricí
 - s keramickou matricí
 - s kovovou matricí
 - se silikátovou matricí
- podle druhu zpevňujícího komponentu:
 - vláknové kompozity
 - kompozity zpevněné krátkými vlákny (whiskery)
 - částicové kompozity
 - disperzně zpevněné kompozity
 - eutektické kompozity

[1]

Rozdělení podle struktury:



Obr. 1) Rozdělení kompozitních materiálů

1.1.1 Vláknové kompozity

Vláknové kompozity patří k nejvíce používaným druhům kompozitních materiálů. Konstituenty kompozitních materiálů rozdělujeme do dvou tříd, a to na dispergované neboli nespojité konstituenty a na matrice neboli spojité konstituenty. Vlákná užitá jako výztuž se z důvodů malých průřezových rozměrů vkládají do matricového materiálu, v našem případě tuto matici tvoří cementové pojivo. Matrice vlákna spojuje dohromady, slouží k přenosu namáhání do vláken a chrání je před poškozením.

Mechanismus kompozitních materiálů je silně závislý na geometrii vyztužení. Způsob přípravy a výroby vláknových kompozitů, druh vláken a jejich povrchová úprava, materiál a vlastnosti matrice závisí na oblasti aplikace vláknových kompozitů. Ve všech případech je třeba přesně vymezit všechny součásti kompozitu, aby bylo dosaženo jejich optimálního synergického spolupůsobení a potřebné životnosti. [1]

Z hlediska délky vláken lze dělit kompozity na krátkovláknové a dlouhovláknové. Za krátkovláknový kompozit považujeme takový, v němž délka vlákna ovlivňuje jeho vlastnosti, vlákna jsou v matici nahodile orientovaná. U dlouhovláknových lze předpokládat, že břemeno působí přímo na vlákna a že vlákna jsou hlavní nosnou složkou ve směru namáhání. [1]

1.2 Desky pojené minerálními pojivy

Desky pojené minerálními pojivy patří mezi nejstarší typy aglomerovaných materiálů. Některé druhy se začaly vyrábět již ve třicátých letech minulého století. Dřevěné třísky nebo celulózová vlákna u těchto druhů desek slouží jako zpevňující prostorová síť.

Nejčastěji používaným druhem minerálního pojiva je portlandský cement, který hydratační reakcí s vodou tuhne a tvrdne na vzduchu i pod vodou. Nevýhodou materiálů pojených portlandským cementem je dlouhá dozrávací doba po základním slisování. Tvrdnutí cementu výrazně ovlivňuje zejména množství tříselovin, pryskyřic a rozpustných polysacharidů obsažených v používané dřevině. Tyto látky mohou způsobit

zpomalení tuhnutí a snížení tvrdosti cementu. K výrobě desek pojených portlandským cementem jsou z domácích dřevin vhodné pouze smrk, jedle a topol.

Dalšími druhy pojiv jsou hořečnatý cement a sádra. [4]

Druhy desek pojené minerálními pojivy:

- desky z dřevité vlny a cementu
- desky z velkých třísek a cementu (cementoštěpkové desky)
- desky z jemných třísek a cementu (cementotřískové desky)
- desky z vláken a cementu (cementovláknité desky)
- desky z vlákna a sádry (sádrovláknité desky)

1.2.1 Desky z dřevité vlny a cementu



Obr. 2) Deska z dřevité vlny [4]

Dřevitá vlna (jemné podélné pásky dřeva se vyrábí na speciálních strojích – kráječkách dřevité vlny). Dřevitá vlna se pro lepší spojení dřeva s cementem a rychlejší tvrdnutí mineralizuje v roztoku chloridu vápenatého. Dále se ve směšovači míchá s cementem a mechanicky nanáší do dřevěných rámových forem. Po lisování souboru rámu následuje obvykle jednodenní vytvrzení slisovaného souboru. Surové desky se nechávají 21 až 28 dnů vysušit a dozrát.

Tento druh desek patří mezi lehké stavební desky. Hustota tohoto materiálu (350 až 550 kg.m^{-3}) je oproti ostatním typům desek pojených cementem velmi nízká

a je způsobena zejména velkým podílem vzduchových dutin v hotové desce. Pevnost v ohybu, modul pružnosti a některé další mechanické vlastnosti jsou také výrazně nižší než u ostatních typů desek.

Díky velkému podílu dutin mají tyto desky dobré tepelně i zvukově izolační vlastnosti. Hrubý povrch zajišťuje dobrou přídržnost malty a omítky. Obvykle se používají pro stavbu lehkých omítaných nenosných příček a pro zlepšení tepelných a zvukově izolačních vlastností nových a rekonstruovaných staveb. [4]

1.2.2 Cementoštěpkové desky

Tyto materiály se vyrábějí z poměrně velkých účelově vyráběných třísek o tloušťce 0,5–5 mm a délce 20–50 mm. Často bývají označovány jako cementoštěpkové. Po mineralizaci smrkových třísek vápenným mlékem se třísky míchají s cementem a lisují ve formách, které jsou vytvrzovány 24 hodin v meziskladu. Dále jsou desky formátovány a přesunuty do dozrávacího skladu. V malé míře se vyrábí také stavební dutinové tvárnice, kdy se používají přesné dávkovače lisované směsi do kovových tvárnic.

V rámci materiálů pojených minerálními pojivy je tento druh řazen mezi výrobky střední hustoty (500 až 800 kg.m⁻³). Struktura materiálů je pórovitá a povrch je velmi hrubý, což umožňuje omítání maltami. Výrobky jsou mrazuvzdorné, odolné proti vlhkosti, mají dobré mechanické, zvukově a tepelně izolační vlastnosti.

Nejčastěji se používají jako součást stavebních bednicích systémů, u kterých je kovovými distančními sponami vymezena vzdálenost desek a je vytvořen systém ztraceného bednění. [4]

1.2.3 Cementotřískové desky



Obr. 3) Cementotřísková deska CETRIS [7]

1.2.3.1 Historie desek

Prvopočátky cementotřískových desek se datují do dvacátých let minulého století, v té době šlo však pouze o smísení třísek s cementem. První dřevovláknitá deska byla vyrobena v roce 1940 z dlouhých dřevěných vláken slisováním s cementem. V šedesátých letech ve Švédsku bylo do cementu přidáno omezené množství třísek, čímž vznikl základ pro výrobu moderních třískových desek. V roce 1967 ve Švýcarsku vyrobili vlastní technologické zařízení a zprovoznili tak první linku v Evropě na výrobu současných cementotřískových desek. [5]

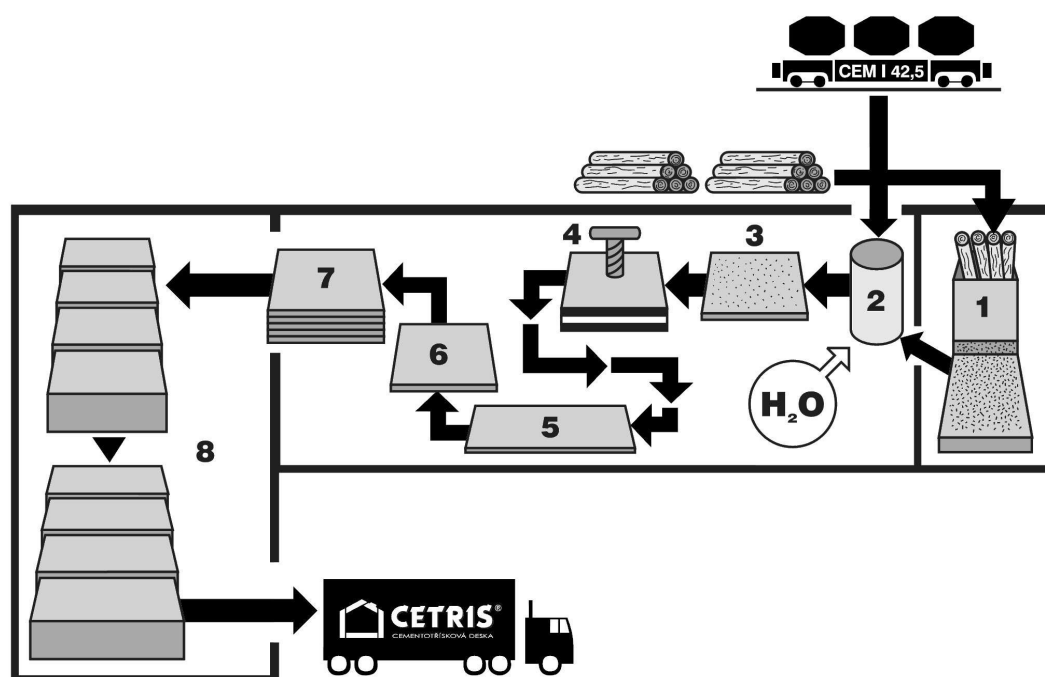
V České republice se cementotřískové desky začaly vyrábět v roce 1991 v Hranicích na Moravě. Společnost CIDEM Hranice, a.s., divize CETRIS je v současnosti největším výrobcem cementotřískových desek v Evropě. Výrobní kapacita linky je 55 000 m³ ročně. [6]

1.2.3.2 Výroba

Cementotřískové desky CETRIS jsou vyráběny dle ČSN EN 633, 634-1 a 634-2.

Dřevní hmota smrková a jedlová, která je odkorněná, se po tří až čtyřměsíčním skladování roztřískuje na jehlicovité třísky a následně se dopravuje do sil na třísky. Do míchacího zařízení se přes váhy dopravuje připravená dřevní hmota, kvalitní

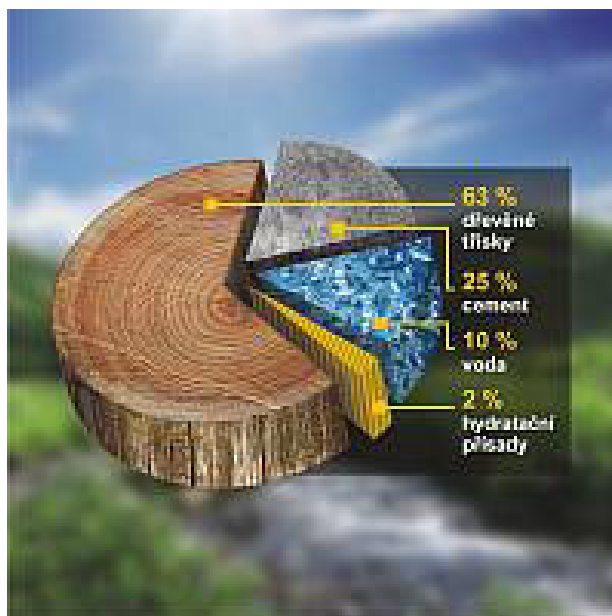
portlandský cement, podle receptury mineralizační látky a voda, jejíž množství se přizpůsobuje podle naměřené vlhkosti dřeva. Ve vrstvicím zařízení se rozprostře namíchaný materiál na rovné, předem ošetřené ocelové plechy, které v přímém sledu obíhají dokola. Zařízení pracuje se čtyřmi oddělenými vrstvicími stroji za sebou. První a čtvrtá komora vytváří pomocí větrného třídění krycí vrstvy desek, druhá a třetí komora jsou mechanické a rovnoměrným nanášením vytvářejí středovou provázanou vrstvu. Plechy s rounem jsou stohovány na sebe a lisovány vysokým tlakem na jmenovitou tloušťku (přibližně 1/3 sypané tloušťky). Po urychleném hydratačním procesu vytvrzováním se desky odstohují a převezou se do klimatizačního skladu, kde minimálně sedm dní dozrávají. Potom se desky suší na vlhkost 9 % (± 4 váhová %). Následuje formátování základních rozměrů. [7]



Obr. 4) Výroba desek CETRIS [7]

Legenda:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1) roztřískování | 5) zrání a sušení |
| 2) míchání směsi | 6) formátování |
| 3) vrstvení desek | 7) skladování |
| 4) lisování a vytvrzování pod tlakem | 8) expedice |



Obr. 5) Složení cementotřískové desky [7]

1.2.3.3 Vlastnosti

Objemová hmotnost cementotřískových desek se pohybuje od 1 000 do 1 500 kg.m^{-3} . Desky mají poměrně vysokou pevnost v tahu za ohybu (přes 10 MPa) a podle reakce na oheň jsou řazeny do třídy A2. Jako všechny materiály s podílem dřevní hmoty mají poměrně velkou lineární roztažnost v závislosti na vlhkosti, proto je třeba umožnit deskám dilataci. Cementové pojivo zvyšuje součinitel tepelné vodivosti na hodnotu kolem $0,3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$), cementotřískové desky jsou proto použitelné pro podlahy s podlahovým vytápěním. Desky se vyznačují výbornými zvukově izolačními vlastnostmi, mají však nízkou zvukovou pohltivost. Jsou rezistentní vůči mrazu, hmyzu (i termitům), plísním a dřevokazným houbám. Desky odolávají vlhku, jsou proto běžně používány v exteriéru, prakticky neobobtnají, jsou ekologické a hygienicky nezávadné. Jsou také odolné proti působení benzínu a olejům, neobsahují azbest ani formaldehyd. [5] [4]

Požadavky na vlastnosti cementotřískových desek:

- Pevnost v ohybu: 9 MPa
- Modul pružnosti v ohybu: 5 000 MPa pro třídu 1 a 4 000 MPa pro třídu 2 [8]

1.2.3.4 Použití

Cementotřískové desky najdou využití v interiéru i exteriéru a to v mnoha podobách, jako příklad lze uvést stěny a příčky, odvětrané fasády, půdní vestavby, podlahové systémy, podhledy, ztracené bednění nebo například zahradní doplňky.

1.2.4 Cementovláknité desky

U cementovláknitých desek se pro výrobu kromě cementu používají celulózová vlákna (buničina), syntetická vlákna (polypropylen), minerální plniva nebo perlit a vodní sklo. Některé firmy používají také přídavek celulózových vláken z kvalitního sběrného papíru. Směs vláken (buničina) se mísí s cementem a dalšími složkami a vytváří se homogenní směs, která se dále odvodňuje a lisuje na válcových nebo plošných lisech.

Díky jemné struktuře, vysokému podílu cementu a velkému lisovacímu tlaku mají tyto materiály hustotu 1 350 až 1 700 kg.m⁻³. Vysoká homogenní hustota dodává deskám vysokou tvrdost, pevnost, trvanlivost a odolnost proti působení povětrnostních vlivů. Tento materiál má také velmi nízkou nasákavost a bobtnavost, je mrazuvzdorný, nehořlavý a zdravotně nezávadný.

Vedle speciálních typů použití je nejčastější upotřebení celých desek pro obklady větraných fasád a vnitřních stěn a stropů. Mohou se také používat při výrobě sendvičových panelů a izolačních podložek pod elektrická zařízení. [4]

1.2.5 Sádrovláknité desky

Vyrobené desky mají hustotu kolem 1 100 kg.m⁻³, dobré mechanické vlastnosti, jsou nehořlavé, dají se velmi dobře obrábět, povrchově dokončovat foliováním, zejména stěrkovými omítkami.

Kvůli menší odolnosti proti působení vysoké vlhkosti jsou určeny zejména pro použití v interiéru, nejčastěji jako vnitřní plášť rámových dílů sendvičových dřevostaveb. [4]

2. **Pojivo**

Pojiva jsou organické nebo anorganické látky, které se mísí s plnivý na směsi, mající vhodnou tvárnost a po zatvrdnutí dostatečnou pevnost spolu s jinými požadovanými a potřebnými vlastnostmi.

V průběhu zpevňovacího procesu rozeznáváme dvě stadia, a to tuhnutí a tvrdnutí. Ve fázi tuhnutí ztrácí tekutá nebo kašovitá forma svou původní zpracovatelnost a postupně nabývá charakteru pevné látky. V následující fázi tvrdnutí získává takto vzniklá pevná látka vyšší pevnost, která je potřebná při praktickém využití pojiva ve stavební funkci.

Pojiva založená na anorganické bázi ve stavebnictví převažují. Podle stálosti ve vodném prostředí se dělí na pojiva vzdušná a pojiva hydraulická. Základem většiny anorganických pojiv jsou práškovité látky minerálního původu, které se do kašovitě podoby převádějí smísením s vodou. Jejich hlavní složka se získává tepelným zpracováním vhodné přírodní horniny nebo minerální směsi. [10]

2.1 **Cement**

Česká technická norma ČSN EN 197-1 charakterizuje cement jako hydraulické pojivo pálené nad mez slinutí. Tato jemně namletá anorganická látka po smíchání s vodou v důsledku hydratačních reakcí tuhne a tvrdne a po zatvrdnutí si zachovává svoji pevnost a stálost jak na vzduchu, tak i ve vodě.

Základním a nejdůležitějším cementem je portlandský cement, který se vyrábí pálením surovin za vzniku portlandského slínku a jeho následným mletím se 3 až 5 % sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ jako regulátoru tuhnutí. Portlandský slínek se získá pálením směsi vápence s hlinito-křemičitými minerály v oblasti teploty slinutí nad 1 350 °C.

Hydraulické tvrdnutí je důsledek hydratace vápenatých silikátů a aluminátů – účinné sloučeniny tedy jsou CaO , SiO_2 , Al_2O_3 a Fe_2O_3 . Celkový obsah aktivního CaO a SiO_2 musí být v cementu nejméně 50 % hmotnosti.

Dle převažující aktivní složky lze rozdělit cementy do 3 skupin:

- křemičitanové cementy
- hlinitanové cementy
- jiné cementy (např. železitanové, bárnaté)

2.1.1 Výroba cementu

Technologie výroby cementu vychází z požadavku vytvořit slínek, jehož mikrostruktura je tvořena novými sloučeninami (fázemi) požadovaného složení. Jde především o přípravu surovinové směsi vhodného chemického složení s odpovídajícími moduly a stupněm sycení vápnem. Surovinová směs musí být jemně mletá s velkým reakčním povrchem, aby průběh reakcí v žáru a vznik taveniny podmiňující vytvoření slínku byly co nejrychlejší a nejúplnější. Teplota, doba a prostředí výpalu jsou pak pro průběh reakcí rozhodující – i při správném dodržení chemismu lze nevhodným výpalem dospět k nekvalitnímu slínku.

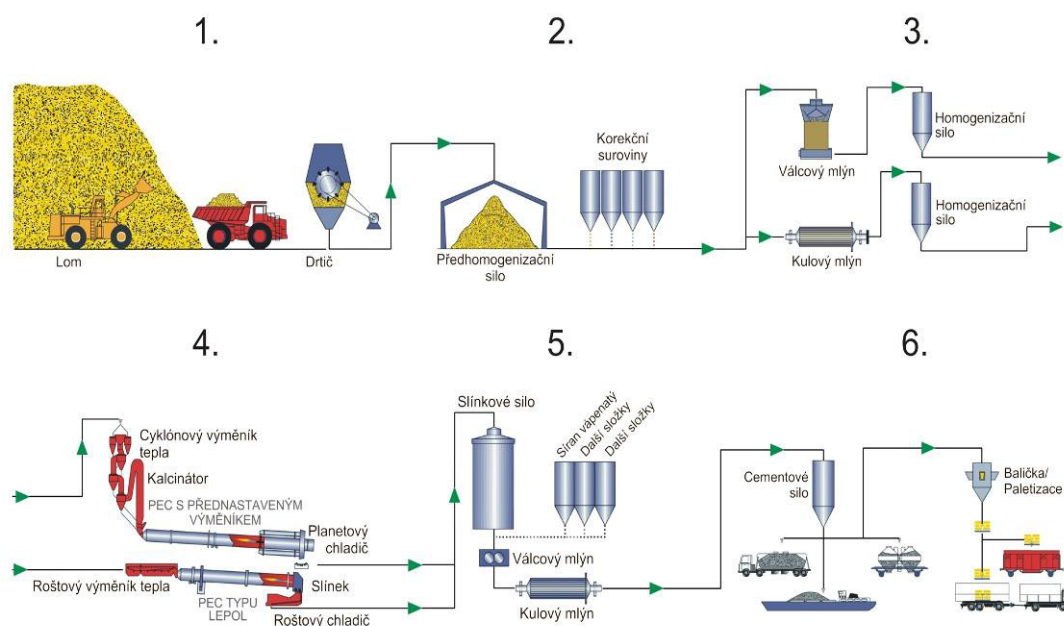
Obecné schéma technologie výroby cementu lze podle jednotlivých operací rozdělit na tři hlavní fáze:

1. příprava surovinové směsi – těžba vápence a korekčních surovin, jejich drcení, mletí a homogenizace,
2. výroba slínku – tepelné zpracování (výpal) surovinové směsi na slínek, probíhající obvykle v rotační cementářské peci a následné chlazení a odležení vypáleného slínku,
3. výroba cementu – mletí slínku s příměsmi (upravujícími vlastnosti výsledného produktu) nebo přísadami a následné skladování cementu v zásobnících a balení a expedice cementu.

Podle způsobu mísení, mletí a homogenizace surovinové směsi a její podoby při výpalu na slínek se rozlišují dva základní způsoby výroby cementu – mokrý a suchý způsob výroby.

Mokrý způsob výroby cementu – vápenec se drtí za sucha a následně mele za mokra, zpravidla v bubnových mlýnech. Ke třídění kalu se používají vibrační třídiče. Obsah vody v surovinovém kalu se pohybuje mezi 33 až 40 %. Kal se ukládá v kalových zásobnících (nádržích), kde se neustále promíchává (mechanicky, pneumaticky) a tím se homogenizuje. Pak se kal převádí do menších zásobníků, odkud jde do pecí, kde se nejprve vysušuje a pak vypaluje do slinutí. Výhodami mokrého způsobu výroby je, že vstupní suroviny není třeba sušit a surovina se snadněji mele, což snižuje spotřebu energie. Dále je tím usnadněna příprava a zlepšena homogenizace suroviny, díky použití vody je snížena prašnost pracovního prostředí. Naopak základní nevýhodou je velká spotřeba vody a následně tepla na vysušení kalu před výpalem. Mokrý způsob výroby je vhodný pro měkké, pórovité suroviny s vyšší vstupní vlhkostí a pro suroviny s kolísavým chemickým složením.

Suchý způsob výroby cementu vyžaduje, aby suroviny byly před výpalem vysušeny. K sušení dochází před mletím nebo současně s mletím v tzv. sušících mlýnech. Pak se surovina dopravuje do zásobníků (sil), kde se homogenizuje a upravuje její chemismus. Práškovitá směs se pak, zpravidla po předeřtání spaliny, dopravuje do pece, kde probíhá samotný výpal. Jednoznačnými výhodami suchého způsobu výroby jsou vysoká výkonnost výroby a vysoká tepelná účinnost vypalovacího procesu díky předeřtávání surovinové směsi před výpalem spaliny. Dále je celkově podstatně nižší spotřeba tepla při sušení a pálení surovinové směsi: 3 100–3 700 kJ oproti 5 500–6 300 kJ na 1 kg slinku při mokrému způsobu výroby. Suchý způsob výroby je vhodný zejména pro tvrdé suroviny s malou vstupní vlhkostí a méně kolísavým chemickým složením. [11]



Obr. 6) Schéma výroby cementu [11]

2.1.1.1 Základní suroviny pro výrobu cementu

Z hlediska významu lze rozdělit suroviny do tří základních skupin:

- základní suroviny tvořící převážnou část surovinové směsi
- vedlejší nebo taky korigující suroviny
- pomocné suroviny

Do základních surovin patří vápence s obsahem kalcitu (nevhodné jsou dolomitické vápence – způsobují rozpínání), obsah CaCO_3 ve vápenci by měl být přibližně 75–80 %. Další základní suroviny jsou horniny sedimentárního původu s obsahem jílových minerálů, jedná se o hlíny, jíly, slíny, jílovce a jílovité břidlice.

Vedlejší suroviny jsou zpravidla takové látky, které upravují obsah některého hydraulického oxidu, jedná se např. o bauxit, křemičitý písek, křemelinu. Vzhledem ke snaze o co nejnižší cenu výrobku je patrná snaha o použití levných odpadních látek.

Jako pomocné suroviny slouží takové látky, které i při malém procentním obsahu pomáhají upravovat některé vlastnosti směsi za syrova nebo v průběhu výpalu, jedná se o intenzifikátory výpalu, intenzifikátory mletí slinku, mineralizátory (ovlivní tvorbu slínkových minerálů), ztekucovadla (pro mokré způsob výroby), regulátory tuhnutí (sádrovec). Pro výrobu směsných cementů se navíc používají jako přísady slinku latentně hydraulické látky (vysokopecní struska) nebo pucolány (popílký, metakaolín, křemičité úlety). [11]

2.1.1.2 Hlavní technologické kroky výroby cementu

A) Těžba surovin

Vápenaté suroviny se těží v lomech pomocí clonových odstřelů. Následně je surovina odebírána a dopravována do drtiče. Vápenec nemusí obsahovat křemičité složky nutné pro výsledné složení, proto je nutné tyto složky dodat ve formě vhodných jíílů či hlín, těžených povrchově v hliništích. Jako ideální cementářská surovina se jeví slínovec s obsahem uhličitanu vápenatého a příměsí jílových minerálů. Při těžbě je nutné provádět pravidelné analýzy složení těžené suroviny s cílem navrhnout a připravit optimální směs pro výrobu surovinové moučky.

B) Drcení surovin

Drcení surovin pro výrobu cementu může být jednostupňové, zpravidla však bývá dvoustupňové. Konkrétní podoba a počet stupňů drcení vychází z charakteru a vlastností zdobňované suroviny a z následné technologie výroby. Jednostupňové drcení se používá u „měkkých“ (málo zpevněných) surovin. Zde se využívají zejména kladivové drtiče nebo, v případě lepivých surovin, kladivové drtiče s válci. Tvrdší a abrazivnější materiály se drtí ve dvoustupňových linkách:

- první stupeň drcení – zpravidla čelistové nebo kuželové drtiče,
- druhý stupeň drcení – čelistové, kuželové, kladivové nebo odrazové drtiče.

V soustavě drtičů bývají vloženy třídiče k vracení nadsítných zbytků. Surovinové drti se uskladňují v zásobnících nebo na předhomogenizačních skládkách. [11]

C) Předhomogenizace surovinové směsi

Základním předpokladem pro dosažení stálé a vysoké kvality cementářského slínku a cementu je vysoký stupeň homogenity vstupní surovinové směsi. Protože kvalita a složení vstupních surovin (zejména vápence) jsou při těžbě často značně proměnlivé a surovinová směs se míchá z několika složek, používá se zpravidla v cementárnách několik stupňů homogenizace surovin.

Prvním stupněm homogenizace bývá předhomogenizační skládka, která zároveň zajišťuje dostatečnou zásobu suroviny. Na skládku je ukládána podrcená surovina, jež je pak následně dávkována do surovinového mlýna. Požadovaná homogenita vápence, ukládaného na předhomogenizační skládce, je zajišťována systémem zakládání a odebírání vápence. Tento proces bývá řízen laboratoří, tj. skládku doplňují vzorkovací stanice a celý provoz skládky je plně automatizován. [11]

D) Mletí surovinové směsi

Mletí patří k nejdůležitějším fázím přípravy vstupních surovin před výpalem a zároveň patří v technologii výroby cementu k technologicky i energeticky nejnáročnějším procesům. Během mletí je podrcená a primárně homogenizovaná surovina mleta na moučku vhodnou pro výpal v peci. Jemnost mletí má rozhodující význam na průběh procesu slinování a rychlost tvorby slínku při výpalu.

Pro mletí cementářské suroviny jsou obecně (při dnes zcela převládajícím suchém způsobu výroby cementu) používány nejčastěji jednostupňové mlýnice s mechanickým oběhem (a uzavřeným mlecím okruhem) a současným sušením meliva. Pracovní režim tohoto typu mlýnice je charakterizován tím, že částečně rozemleté melivo prochází třídičem, který prášek požadované zrnitosti odloučí jako hotový produkt, zatímco hrubší částice (tzv. krupici) vrací zpět do mlýna. Oběh meliva uvnitř mlecího okruhu obstarává soustava mechanických dopravních zařízení. Mlýnice jsou dnes plně automatizovány a řízeny dálkově z řídicího počítače nebo centra. Namletá surovina se následně uloží do homogenizačního sila. [11]

E) Výpal slinku

Výpal slinku je nejdůležitější úsek technologického postupu při výrobě cementu. Slinek se vypaluje v cementářských pecích, které mohou být rotační, šachtové či jiného druhu. Při výrobě v rotační peci prochází slinek několika pásmy:

- pásmo sušení realizováno pomocí výměníku tepla, v němž se surovina suší pomocí horkých spalin, teplota se pohybuje okolo 200 °C,
- pásmo přehřívací – teplota se pohybuje v rozmezí 200–750 °C; v tomto pásmu postupně dochází k uvolnění volné a následně chemicky vázané vody, vzniká metakaolín a směs volných amorfních oxidů,
- kalcinační pásmo – teplota se pohybuje v rozmezí od 750–1 200 °C; v těchto teplotách dochází k rozkladu vápence a případného magnezitu, vznikají také první slinkové minerály,
- pásmo suchého slinování v rozmezí teplot 1 200–1 300 °C – již naplno probíhá tvorba slinkových minerálů bohatých na vápno (alit, belit a brownmillerit); toto pásmo je také označováno za exotermické – dochází k uvolňování tepla,
- pásmo taveninového slinování – rozmezí teplot 1 300–1 450 °C; při 1 300 °C začíná vznikat tavenina, nejprve ji vytváří C_4AF , C_3A , CaO a MgO , později i C_2S ; v tavenině reaguje CaO s C_2S za vzniku C_3S , který se vylučuje ve formě malých a nestabilních krystalků,
- chladicí pásmo – cílem chlazení je zachování vzniklých minerálů, proto musí být rychlé a intenzivní, zejména se jedná o uchování C_3S . [5]

Po vychlazení se slinek uloží do zásobníků, kde se odleží, dojde ke konečnému ochlazení a případný volný CaO se vzdušnou vlhkostí vyhasí.

Tabulka 1) hlavní složky slinku [10]

Název	Vzorec	Slovní označení	Obsah [%]	Hydratační teplo [kJ/kg]	Rychlost hydratace
Trikalciumsilikát	C ₃ S	alit	35–75	500	rychlá
Dikaliumsilikát	C ₂ S	belit	5–40	250	střední
Tetrakalciumaluminátferit	C ₄ AF	brown-millerit	9–14	420	rychlá
Trikalciumaluminát	C ₃ A	amorfní fáze	3–15	910	velmi rychlá
Oxid vápenatý	CaO	volné vápno	< 4	1 160	pomalá
Oxid horečnatý	MgO	periklas	< 6		pomalá

F) Mletí slinku

Vzhledem k použití cementu je jemnost mletí zásadní operací. Jemně namletý cement rychle hydratuje, má větší počáteční i konečné pevnosti, vyvíjí větší hydratační teplo a při zpracování je plastičtější.

Minimální jemnost mletí portlandského cementu je 225 m².kg⁻¹.

Mletí slinku může být jednostupňové nebo dvoustupňové, skládající se z krátkého mlýna na hrubé mletí a většího mlýna na jemné mletí.

Přísady používané při mletí portlandského slinku:

- hlavní (regulátory tuhnutí): sádrovec, dnes v podobě energo- nebo chemosádrovce,
- vedlejší (upravují směsnost, jde o přísady s hydraulickými vlastnostmi): vysokopecní granulovaná struska, přírodní nebo umělé pucolány,
- speciální (upravují průběh mletí nebo vlastnosti cementu – provzdušňovací, plastifikační, hydrofobizační). [11]

2.1.2 Vlastnosti cementu

Požadavky na složení, značení, třídy a vlastnosti cementů jsou specifikovány v normě ČSN EN 197-1.

Mezi základní zkoušky určující fyzikální a mechanické vlastnosti patří:

Stanovení měrné hmotnosti cementu pyknometricky

- Závisí nejen na způsobu výroby, ale i na množství a měrné hmotnosti příměsí. Měrná hmotnost cementu je definována jako hmotnost 1 cm^3 suchého cementu bez póru a dutin vyjádřená v g.cm^{-3} .

Stanovení normální konzistence, počátku a doby tuhnutí

- Cementová kaše normální konzistence projevuje určitý odpor proti vnikání normalizovaného penetračního válečku. Množství vody, potřebné pro takovou kaši, se stanovuje pokusným vnikáním penetračního válečku do kaší s různým obsahem vody.
- Tuhnutí se sleduje vnikáním jehly do cementové kaše normální konzistence. Měří se časový interval od smíchání směsi po dobu, kdy vzdálenost mezi jehlou a podložní destičkou je $6 \pm 3 \text{ mm}$ – počátek tuhnutí cementu.
- Pro dobu tuhnutí se měří časový interval od počátku tuhnutí až po moment, kdy jehla vnikla pouze 0,5 mm pod povrch zkušebního tělesa.

Stanovení objemové stálosti cementu

- Objemová stálost se stanoví podle změny objemu cementové kaše normální konzistence. Je dána relativní změnou vzdálenosti mezi hroty dvou tyčinek – Le Chatelierovy objímky.

Stanovení jemnosti mletí cementu – Permeabilní metoda dle Blaina

- Jemnost mletí cementu se vyjadřuje jako měrný povrch vypočtený z času, který je potřebný pro průtok určitého množství vzduchu zhutněným cementovým lůžkem dané velikosti a porozity.

Stanovení pevnosti cementu

- Měří se pevnost v tahu za ohybu na trámečcích 40 x 40 x 160 mm a pevnost v tlaku na zlomcích po 28 dnech.

Dále se také provádí chemický rozbor, zahrnující určení ztráty žíháním, obsah síranů, chloridů, alkálií a obsah kyselinou nerozložitelných podílů.

3. Plnivo

Plnivo lze definovat jako látky organického či anorganického původu, které vytvářejí výplň v matrici kompozitního materiálu nebo mohou také plnit funkci nosné kostry. Svými vlastnostmi ovlivňují mechanické i fyzikální vlastnosti finálního produktu.

3.1 Dřevo

3.1.1 Historie

Dřevo neztratilo od počátku lidského pokolení na svém významu. První nástroje vznikaly pouze z neopracovaných kamenů, později ze štípaných. V mladší době kamenné se objevují první hlazené nástroje s dřevěným topůrkem. Tehdy bylo odstartováno vědomé obrábění dřeva, které vedlo až k vynálezu hoblíku. Dá se tedy říci, že kovy člověku umožnily dřevo dokonaleji opracovat a využít. Ze dřeva se stavěly obydlí, lodě, mosty, nábytek, saně, čluny. Vynález kola vyráběného ze dřeva umožnil stavbu vozů a tím se značně vývoj lidstva urychlil. Ruchadlo, které usnadnilo lidem obdělávat půdu, bylo původně celé ze dřeva, stejně jako jednoduché mlýnské stroje, větrné kolo a hrnčířský kruh. Za další mezník můžeme považovat začátek 18. století, kdy nastal celkový rozvoj techniky, jenž vedl ke zdokonalení obráběcích strojů, které byly do té doby poháněny šlapáním nebo klikou. [12]

3.1.2 Zdroj dřeva

Hlavní materiálovou základnou dřeva je les. Dřeviny jsou pro technické materiály pěstovány v takzvaném hospodářském lese, v němž člověk vědomě ovlivňuje druhovou skladbu tak, aby získal co největší množství kvalitní suroviny. Můžeme tedy říci, že jde o cílevědomé pěstování lesů jako zdroje jakostního dřeva v souvislosti se zaměřením na produkci dřevin, obzvláště smrku, borovice, jedle, modřínu, buku, dubu, javoru, jilmu, habru, topolu, lípy.

3.1.3 Těžba dřeva

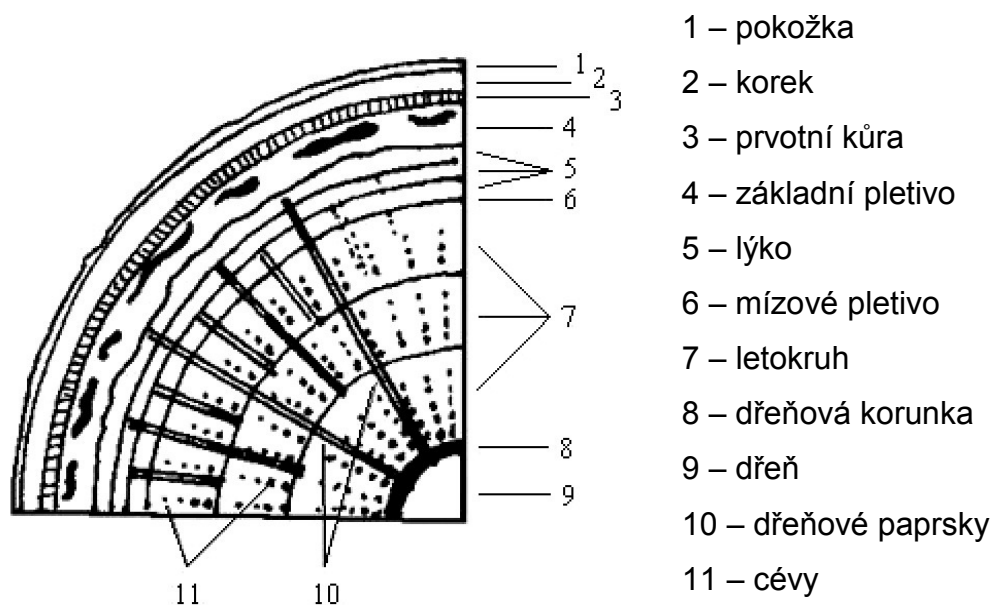
Těžba dřeva se dělí na úmyslnou a nahodilou. Úmyslná těžba může být rozdělena do tří kategorií – řádná mytná pro porosty nad 80 let, předmytná pro porosty od stáří 21 let a mimořádná, která se provádí pouze na zvláštní povolení. Nahodilá těžba spočívá v odstranění polomů a vývrátů.

Těžba jako taková má 4 pracovní fáze:

- vyznačení těžby
- kácení stromů
- odvětvování
- měření vytěžené hmoty

Natěžená hmota pak prochází tříděním a sortimentací (dřevo pro nábytkářství, papírenství, stavitelství...).

3.1.4 Skladba dřeva



Obr. 7) Příčný řez kmenem stromu [5]

Dřevo vzniká činností kambia, což jsou vrstvičky živých buněk, které jsou uloženy mezi dřevem a kůrou. V procesu růstu se kambiární buňky dělí a vytvářejí na vnitřní straně kambia buňky dřeva, na vnější straně kambia vytvářejí kůru. Ve směru dřeva se dělí buňky mnohem rychleji, a proto přirůstá dřevo mnohem rychleji než kůra.

Nárůst vrstvy dřeva za rok je vyznačen charakteristickými letokruhy, které jsou z části světlejší a z části tmavší, jedná se o přírůstek dřeva jarního a letního. Jarní dřevo slouží hlavně k vedení vody a letní dřevo má funkci mechanickou.

Stavba dřeva se hodnotí podle znaků, které jsou pozorovatelné pouhým okem nebo lupou, a znaků mikroskopických.

Dřevo je anizotropní materiál – má různé vlastnosti v různých směrech, proto se pro popis stavby zkoumá dřevo ve třech rovinách a směrech. Jedná se o tři základní řezy dřevem:

- příčný – vedený kolmo na podélnou osu kmene
- radiální – vedený podélnou osou kmene
- tangenciální – vedený rovnoběžně s podélnou osou kmene, ale osou neprochází

Hlavní znaky makroskopické stavby dřeva jsou letokruhy, jádro, běl, vyzrálé dřevo, suky, dřeňové paprsky, pryskyřičné kanálky. Hodnotí se také textura, barva a lesk.

Mikroskopická stavba dřeva se zaměřuje na uspořádání, složení a rozměry buněk.

3.1.5 Složení dřevní hmoty

Dřevo je složeno ze třech základních složek, a to celulózy ($\pm 50 \%$), hemicelulózy ($\pm 22 \%$) a ligninu ($\pm 22 \%$). Tyto tři komponenty tvoří buněčné stěny. Další látky vytvářejí vnitřek buňky, jedná se o pryskyřice, tuky, vosky, třísloviny, barviva, alkaloidy a minerální látky o celkovém množství asi 6 %.

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 (asi 0,7 %) tvoří látky minerální obsahující draslík, sodík, vápník, fosfor, hořčík a některé další. [5]

3.1.6 Druhy dřevin

Z botanického hlediska se dřeviny dělí na jehličnaté a listnaté, obě tyto skupiny se dále rozlišují na měkké a tvrdé.

3.1.6.1 Jehličnaté dřeviny

Jehličnaté dřeviny rostou rychleji, proto jsou měkčí, levnější a vykazují horší hodnoty trvanlivosti. Pro stavební účely se používá nejčastěji smrk, jedle, borovice a modřín, který je určen spíše pro dekorační účely.

Smrk ztepilý (*Picea abies*) – dosahuje výšky až 50 metrů a stárí až 500 let. Původem pochází z Evropy a aktuálně se vyskytuje asi na 53 % ploch. Jehlice narůstají do délky 16–27 mm. Dřevo je bez jádra, barvy světle nažloutlé až světle žlutavě hnědé (světlejší než dřevo jedlové), letokruhy jsou ostře ohraničené s barevně odlišnými jarními přírůstky od letních, výrazná kresba. Dřeňové paprsky jsou okem nezřetelné – patrné s použitím lupy. Rovněž pryskyřičné kanálky tvoří rozesté póry na rozhraní jarního a letního dřeva. Smrkové dřevo je lehké, měkké, pružné, pevné a snadno se opracovává. [12]

Jedle bělokora (*Abies alba* Mill) – dosahuje výšky až 65 metrů, ve vhodných podmínkách se dožívá až 500 let. Ve střední Evropě roste v horských a podhorských lesích. Jehlice jsou dlouhé 2–3 cm. Dřevo je bez jádra, zbarveno do žlutobíla, někdy i s mírným růžovým odstínem. Málo sesychá, má dobrou rozměrovou a tvarovou stálost, ve vodě je vysoce trvanlivé. Jedlové dřevo je stejně jako smrkové měkké, lehké, pružné a pevné. [13]

3.2 Alternativní nebo obnovitelné suroviny

3.2.1 Juta

Jutové vlákno se získává z různých druhů jutovníku, který jako jednoletá nebo víceletá rostlina roste jen ve vlhkých tropických podmínkách v Číně, Indii, Bangladéši, Thajsku a ve Vietnamu. Roční produkce obnáší více než 3 miliony tun (po bavlně druhé největší množství přírodních vláken na světě). Juta je nejlevnější přírodní textilní surovina.

Technické vlákno je 1,5 až 4 metry dlouhé, elementární části mají délku 1 až 5 mm. Výborně odolává mikroorganismům a snadno se barví. Nevýhodou zůstává fakt, že při uvolňování drobných vláken se práší.

Juta má mnoho různých využití. Vyrábí se z ní hrubé tkaniny používané jako pytlovina na obaly, podkladové tkaniny na vsívané koberce a také jako dekorační tkaniny. Jutové tkaniny mohou také sloužit jako armovací materiál do hliněných omítkových vrstev. Velmi často se z juty vyrábějí geotextilie, které jsou levné, snadno se pokládají, zároveň jsou zdravotně nezávadné, a co je velmi důležité, po určitém čase závislém na plošné hmotnosti výrobku jsou v přírodě biologicky rozložitelné. [14]



Obr. 8) Vlákna juty

3.2.2 Sláma

Sláma je jako stavební materiál používaná v českých zemích již od dob vlády Karla IV. Tento snadno dostupný a ve správných podmínkách kvalitní materiál dokáže svou funkci plnit po několik staletí, aniž by stébla ztratila svou barevnost či jiné vlastnosti. S příchodem průmyslové revoluce a možnosti stébla stlačit a svázat se objevila alternativa užívat jako stavební materiál celé balíky slámy.

Stébla jsou žluté až zlatisté barvy s voskovitým povrchem a vodu odpuzující vrstvou, neobsahují pyly ani jiné alergen. Stébla je ovšem nutné chránit před vlhkostí, krátkodobě nesmí být vystaveny vlhkosti nad 20 %. Při nedodržení této podmínky dochází ke zvýšení tepelné vodivosti a k postupnému vývoji plísní. Tepelná vodivost se nedá stanovit jednoznačně, odvíjí se od objemové hmotnosti, obsahu vlhkosti a také uspořádání stébel společně s kvalitou slisování. Pokud tedy budou všechny prvky zastoupeny v optimální míře, lze dosáhnout až hodnoty $\lambda = 0,044 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Velmi dobré jsou také zvukově izolační vlastnosti. Jsou zde ovšem i nevýhody. Slaměné balíky jsou řazeny do třídy E (hořlavá hmota v kontaktu s plamenem) tabulky reakce na oheň, s hořlavostí B2, tedy normálně hořlavé. Avšak samostatná vlákna hoří snadno. Dále to jsou statické vlastnosti, napadnutelnost škůdci a celkově náročnější požadavky pro přípravu a realizaci objektu, oproti moderním materiálům.



Obr. 9) Stébla slámy

3.2.3 Konopí

Technické konopí patří mezi velmi perspektivní rostliny pro 21. století. Konopí bylo používáno již ve staré Babylónii a postupem času se zařadilo mezi nejpěstovanější rostliny své doby. V posledních letech se však význam této rostliny opět zvyšuje.

Pazdeří z konopí je lehčí než podobné materiály z přírodních zdrojů. Obecně lze vlastnosti definovat jako nadprůměrné, konopí disponuje nízkým součinitelem tepelné vodivosti, vysokou hodnotou měrné tepelné kapacity a také patří mezi materiály s výbornými zvukově izolačními vlastnostmi. Pazdeří je porézní a dokáže absorbovat vodu až ve čtyřnásobku své vlastní hmotnosti. S tím také souvisí schopnost tak zvané redistribuce vlhkosti, což je schopnost předávat vlhkost do okolí celým povrchem a stabilizovat tak míru vlhkosti ve velkém objemu. Tato nahromaděná vlhkost pak lze snadno odvětrat, jelikož faktor difúzního odporu se pohybuje v rozmezí 1–2. Z hlediska nevýhod zde stejně jako u slámy hraje roli hořlavost, konopí je zařazeno do třídy E. Přídavkem vhodných sloučenin a systémem vhodných opatření však lze tuto nevýhodu téměř anulovat.

Pro výrobu desek bylo použito konopí z Českého konopářského svazu.



Obr. 10) Konopné pazdeří

3.2.4 Prach a pazdeří

Proces výroby kvalitního vlákna ze stonků konopí je provázen prašností. Tento vzniklý vedlejší produkt obsahuje z podstatné části jemné částice a krátké odřezky pazdeří.



Obr. 11) Prach a pazdeří

3.2.5 Pěnové sklo

Technologie výroby pěnového skla je známá již od 30. let 20. století. Při výrobě i recyklaci skla vznikají vždy malé střípky, které lze rozemlít na zrna o velikosti až desítek mikrometrů. Tato skleněná moučka se následně smísí s jemně namletým uhlíkovým prachem. Směs se důkladně zhomogenizuje a zahřívá až na 900 °C. Při těchto vysokých teplotách dochází k natavení skleněného prášku a k oxidaci uhlíkových částic na CO₂. Plynné CO₂ pak v nataveném materiálu vytváří mikroskopické bublinky a naexpanduje tak až do dvacetinásobku původního objemu. Následně se hmota řízeně chladí a dochází k vytvrzení.

Pěnové sklo je tepelně izolační materiál se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,04 - 0,08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a téměř nulovou nasákavostí. Norma EN 1367-1 udává materiál jako mrazuvzdorný. Mezi kladné vlastnosti také patří fakt, že je odolný vůči stárnutí, bakteriím, kyselinám i zásadám, je nehořlavý a v případě požáru neuvolňuje žádné

škodlivé plyny nebo páry. Samozřejmě je materiál sám o sobě i zdravotně nezávadný. Štěrka lze použít jako nosnou vrstvu podzákladí, což svědčí o jeho únosných vlastnostech. Díky nízké nasákavosti tak zabraňuje i vztlínání vlhkosti. Otázkou zůstává, zda-li má také nevýhody. Patrně za největší a možná jedinou nevýhodu byla považována cena výrobku vycházející z dovozu z okolních zemí. Nyní nalezneme několik dodavatelů nabízejících pěnové sklo v rozumné cenové relaci i v České republice.



Obr. 12) Pěnové sklo

3.2.6 Separát z pneumatik

Při recyklaci pneumatik vzniká druhotná textilní složka. Ta se využívá nejčastěji ve směsi s křemičitým pískem jako vhodný povrch pro koňské výběhy a doskočiště.

Vlastní surovina pochází z textilního kordu pneumatik osobních automobilů a je zpracována na malém zařízení pro úpravu vzorků. Tato úprava spočívala v nasekání vláken na délku 20 mm.



Obr. 13) Separát z pneumatik

3.2.7 Odpad z výroby minerální vlny

Proces výroby minerální vlny začíná roztavením primární suroviny. Tavenina se buď nechá vytékat na rotující válec, který odráží taveninové kapky, jež se vlivem odstředivé síly natahují do vláken, a nebo se nechá tavenina vytékat přímo na rozvláknovací stroje. Následuje přidavek organických pojiv nebo impregnačních prostředků, jež zajistí vyšší stabilitu a odolnost proti vodě.

Vlastnosti těchto vláken jsou v mnoha směrech velmi kladné. A to ať už se jedná o tepelné vlastnosti, zvukově izolační vlastnosti nebo difúzní vlastnosti. Vlna je rozměrově stabilní, odolná vůči škůdcům, hlodavcům i hmyzu a je také nehořlavá.



Obr. 14) Minerální vlna

3.2.8 Syntetická vlákna

Syntetická vlákna jsou produktem textilního průmyslu. Tvoří je jemná na krátko nasekaná vlákna.



Obr. 15) Syntetická vlákna

C. Cíl práce

Cíl práce spočívá v ověření možnosti využití alternativních plniv na bázi organické i anorganické v silikátové matici. Byly vyhledány různá alternativní plniva z nichž se dle požadovaných vlastností vybraly nejvhodnější. V rámci práce byly z vybraných plniv postupně vyrobeny zkušební desky se 100 % a 50 % náhradou za třísky. Výjimku tvoří desky vyrobené z vláken minerální vlny, které jsou pro firmu CE-TRIS nejperspektivnější z hlediska ekonomického i z hlediska dostupnosti. Pro tyto desky byly vypočteny receptury počítající se 75 % a 25 % náhradou.

Postupně byly provedeny zkoušky na vstupních surovinách, následovány návrhem receptur a výrobou zkušebních desek. Z těchto desek byly po vytvrdnutí naformátovány zkušební tělesa na kterých se po 28 dnech uložení v laboratorním prostředí zkoušely jejich mechanické vlastnosti.

Pro každou recepturu se zvlášť vyhodnotily naměřená data, která se v konečné fázi porovnávaly s hodnotami referenčními. Vyrobené desky by měly splňovat požadavky kladené na cementotřískové desky dané normou ČSN EN 634-2.

D. Praktická část

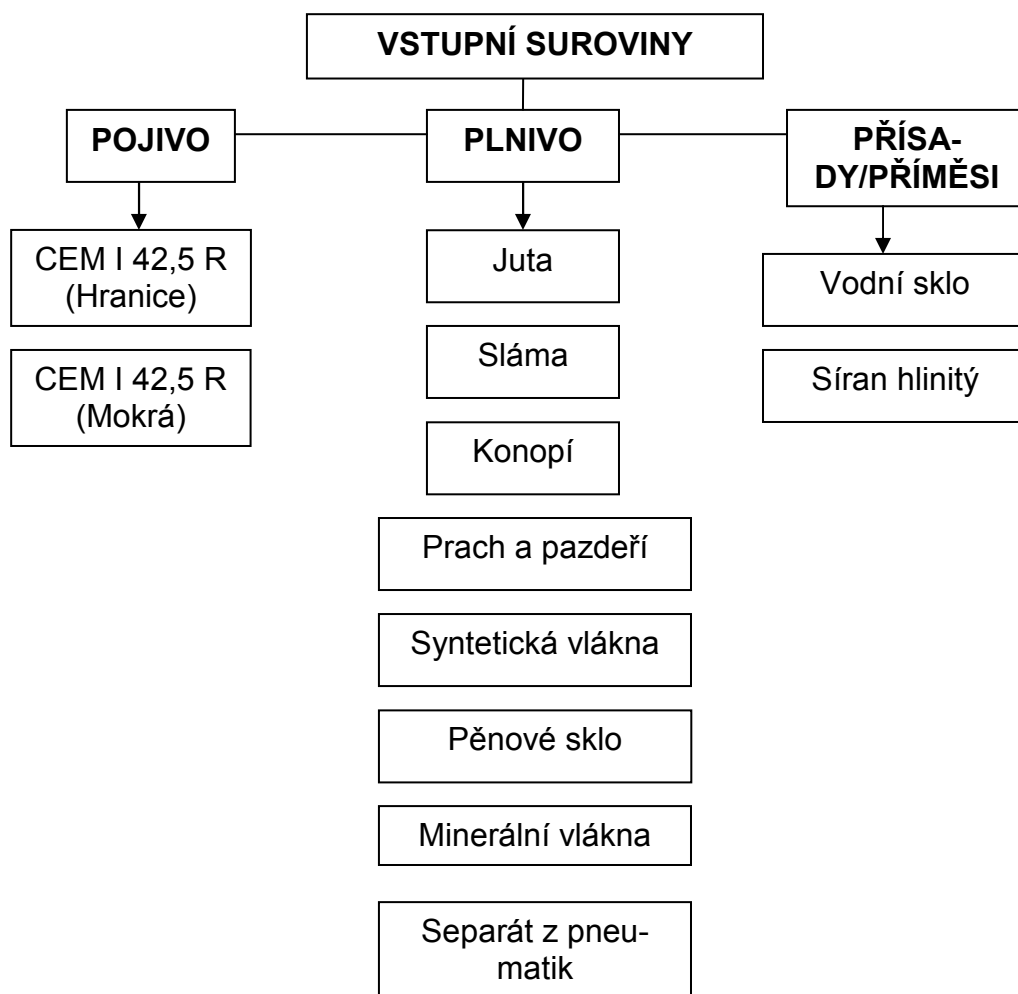
4. Metodika

Metodika práce byla rozvržena do tří etap a následného zpracování a vyhodnocení naměřených dat.

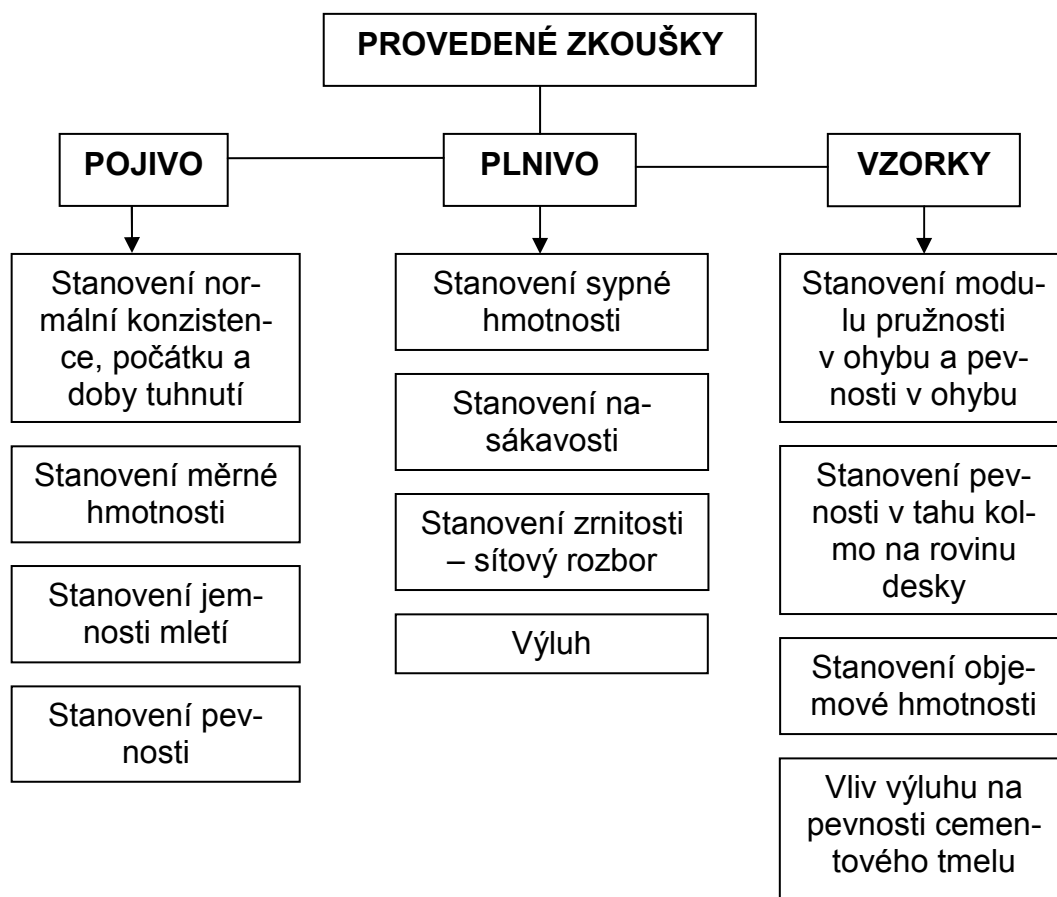
V etapě I. byly provedeny zkoušky na surovinách, jmenovitě se jednalo o stanovení sypané hmotnosti a stanovení nasákavosti vláken. Každý materiál se nechal louhovat ve vodě po dobu 24 hodin, z těchto výluhu byly vyrobeny normové cementové trámečky na kterých se zjišťoval vliv výluhu na pevnosti. Byly také provedeny základní zkoušky na cementech, jedná se o stanovení normální konzistence, počátku a doby tuhnutí, stanovení měrné hmotnosti cementu, stanovení jemnosti mletí a stanovení pevnosti cementu.

Ve II. etapě byly vyrobeny zkušební desky, které se za stanovených podmínek nechaly zrát po dobu 28 dní. Pro správné posouzení vlivu použitého druhu cementu, byla vyrobena referenční deska s cementem používaným ve firmě CETRIS (dodavatel – Cement Hranice) a deska s cementem používaným studenty a zaměstnanci FAST (dodavatel – Českomoravský cement, závod Mokrý).

III. etapa se zabývá zkouškami na naformátovaných zkušebních tělesech.



Obr. 16) Schéma užitých surovin



Obr. 17) Schéma provedených zkoušek

4.1 I. Etapa – zkoušení vlastností vstupních surovin

4.1.1 Stanovení sypné hmotnosti

Sypná hmotnost je hmotnost vzorku v definované objemové jednotce, jedná se o charakteristickou veličinu. Lze ji stanovit ve dvou stavech, a to ve stavu volně sypaném nebo ve stavu setřeseném.

Pro stanovení volné sypné hmotnosti se připraví a zváží suchá nádoba, do ní se z výšky 50 mm volně sype měřený materiál. Povrch se zarovná a nádoba se opět zváží. Rozdíl hmotností podělíme objemem nádoby a výsledná hodnota je námi stanovená sypná hmotnost.

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V} \quad [\text{kg.m}^{-3}]$$

m_1 – hmotnost nádoby [kg]

m_2 – hmotnost nádoby se vzorkem [kg]

V – objem nádoby [m^3]

ρ – sypaná hmotnost [$kg \cdot m^{-3}$]

4.1.2 Stanovení nasákavosti

Nasákavost je schopnost materiálu přijímat vodu. Nasákavost vyjadřujeme v procentech hmotnosti jako poměr přijatého hmotnostního množství kapaliny k hmotnosti vysušeného vzorku.

Vzhledem k povaze materiálů byly zvoleny tři různé experimentální metody. Jedná se o stanovení nasákavosti v kávovém filtru, stanovení nasákavosti pomocí jemného sítko, stanovení nasákavosti v kádince. Pracovní postup je vždy totožný. Zvážíme hmotnost suchého vzorku, vzorek následně necháme nasáknout po dobu 2 hodin a nakonec zvážíme hmotnost nasáklého vzorku.

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

m_1 – hmotnost suchého vzorku [g]

m_2 – hmotnost nasáklého vzorku [g]

n_h – nasákavost [% hmotnosti]

4.1.3 Stanovení normální konzistence, počátku a doby tuhnutí (ČSN EN 196-3)

Cementová kaše normální konzistence projevuje určitý odpor proti vnikání normalizovaného penetračního válečku. Množství vody, potřebné pro takovou kaši, se stanovuje pokusným vnikáním penetračního válečku do kaší s různým obsahem vody. Kaši normální konzistence máme v momentě, kdy se penetrační váleček po 30ti sekundách zastaví 4–7 mm nad podložkou.

Pro stanovení dob tuhnutí se používá kaše normální hustoty a Vicatův přístroj s jehlou místo hustoměrného válečku. Počátkem tuhnutí se rozumí doba, která uplyne od vysypání cementu do vody až do okamžiku, kdy vzdálenost mezi jehlou a skleněnou podložkou činí 6 ± 3 mm. Konec tuhnutí je definován jako doba, která uplyne od smíchání cementu s vodou po okamžik, kdy jehla pronikla do zatvrdlé cementové kaše jen do hloubky 0,5 mm. [16] [17]

4.1.4 Stanovení měrné hmotnosti cementu pyknometricky (ČSN 72 2113)

Stanoví se hmotnosti suchých pyknometrů. Váží se vždy se zátkami. Nasypeme do nich 2–4 g cementu a zvážíme. Nalijeme líh tak, aby se hladina nacházela asi 5 mm nad cementem, a otáčením nakloněného pyknometru dosáhneme dokonalého smočení a vytěsnění vzduchu. Pyknometry doplníme lihem a zvážíme. Pyknometry vypláchneme lihem a naplníme je jím. Zvážíme a vypláchneme vodou. Nakonec je naplníme vodou a opět zvážíme.

$$\rho = \frac{m}{m - (m_4 - m_3)} \times \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \quad [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$$

m – hmotnost navážky [g]

m_1 – hmotnost suchého pyknometru [g]

m_2 – hmotnost pyknometru s vodou [g]

m_3 – hmotnost pyknometru s kapalinou [g]

m_4 – hmotnost pyknometru s kapalinou a cementem [g]

[16] [18]

4.1.5 Stanovení jemnosti mletí (ČSN EN 196-6)

Vzorek cementu se po dobu 2 minut protřepává v uzavřené nádobě, z důvodu rozptýlení shluků částic, a opatrně se promíchá. Pyknometricky stanovíme měrnou hmotnost s přesností na 0,01 g/cm³. Množství cementu potřebného k přípravě ce-

mentového lůžka s porozitou $e = 0,500$ se vypočte ze vzorce: $m_1 = 0,500 \cdot \rho \cdot V$, kde V je objem průtočné komory a ρ měrná hmotnost.

Pro přípravu cementového lůžka potřebujeme děrovanou destičku. Ta se uloží na opěrný kroužek vnitřní strany komory a přikryje se filtračním papírkem, aby zcela pokryl děrovaný kotouček. Odvážené množství cementu se bez střešení vsype do komory. Na urovnaný cement se uloží filtrační papírek. Vloží se píst až se dotkne filtračního papírku, pak se opatrně stlačí dolů až se spodní strana pístu dotkne tělesa komory. Píst se o 5 mm vysune, pootočí o 90° a znovu pevně dotlačí na cementové lůžko až se píst dotkne tělesa komory. Cementové lůžko je zpevněno a připraveno ke zkoušení. Píst se vytáhne. Průtočnou komoru osadíme do zábrusu manometru. Od-sajeme vzduch z ramene, zavřeme ventil a měříme čas poklesu kapaliny ze značky M2 na značku M3.

$$S = \frac{524,2 \cdot K \cdot \sqrt{t}}{\rho} \quad [\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}]$$

S – měrný povrch cementu $[\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}]$

K – konstanta přístroje

t – doba poklesu kapaliny [s]

[19]

4.1.6 Stanovení pevnosti cementu (ČSN EN 196-1)

Složení malty pro zkoušení pevnosti cementového tmele:

Tabulka 2) Složení normové malty

Složka malty	Hmotnost [g]
CEM I 42,5 R	450
Normový písek CEN	1 350
voda	225

Do nádoby míchačky se vnese voda a cement tak, aby nedošlo ke ztrátám. Ihned po styku vody s cementem se spustí míchání nízkou rychlostí. Po 30 sekun-

dách se po dobu dalších 30 sekund přidává písek. Poté se míchání přepne na vysokou rychlost a v míchání se pokračuje dalších 30 sekund. Míchání se zastaví na 90 sekund. Během prvních 30 sekund se pomocí stěrky setře malta, která ulpí na stěnách a spodní části nádoby a umístí se do jejich středu. V míchání se pokračuje dalších 60 sekund vysokou rychlostí.

Ihned po ukončení fáze míchání se plní předpřipravené formy a to ve dvou vrstvách. Po uložení první vrstvy se forma usadí na hutnicí stůl a zhutní se 60 rázy. Poté se uloží druhá vrstva a nechá se opět zhutnit. Odstraní se přebytečné množství malty a povrch se zarovná hladítkem. Druhý den lze zkušební tělesa odformovat a uložit do vody o teplotě $20 \pm 1^\circ\text{C}$, kde zůstanou 28 dní.

Tělesa se po 28 dnech osuší, zváží a změří se jejich rozměry. Z těchto hodnot se vypočte objemová hmotnost. Následně se na tělesech provede zkouška pevnosti v tahu za ohybu a na zlomcích pevnost v tlaku.

$$R_f = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$$

R_f – pevnost v tahu za ohybu $[\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$

b, h – rozměry zkušebního tělesa $[\text{mm}]$

F – zatížení působící ve středu podpor $[\text{N}]$

l – vzdálenost mezi podporami $[\text{mm}]$

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad [\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$$

R_c – pevnost v tlaku $[\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$

F_c – působící síla $[\text{N}]$

A – zatěžovací plocha $[\text{mm}^2]$

[16] [20]

4.1.7 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor (ČSN EN 933-1)

Připraví se navážka zkoušeného kameniva a sada normových sít. Zkontroluje se, zda jsou síta ve správném pořadí, a ty se pak osadí na střešací přístroj. Vsypeme navážku, vrchní síto přiklopíme, následně se celá sada pořádně upevní a poté se spustí prosévací přístroj. Kamenivo necháme prosévat po dobu asi 10 minut. Zrna, která uvízla v oku síta, by se neměla protlačit násilím. Postupně se zváží zbytek na každém síti a zkontroluje se, zda se součet všech dílčích zbytků neliší od původní navážky o více než 1 %. [21]

4.2 II. etapa – Vlastní výroba zkušebních těles

4.2.1 Receptury pro výrobu zkušebních těles

Jednotlivé receptury byly odvozeny ze sypaných hmotností vstupních materiálů. Pro každý materiál byly vytvořeny 2 receptury, přičemž první receptura počítá se 100 % náhradou za třísky a druhá pouze s 50 % náhradou. Výjimku tvoří vlákna z odpadu výroby minerální vlny, pro která byly dodatečně navrženy receptury počítající se 75 % a 25 % náhradou.

Tabulka 3) Původní receptura CETRIS

Suroviny	Hmotnost [kg]
CEM I 42,5 R	770
Voda	461
Síran hlinitý	11,6
Vodní sklo	27
Třísky	280

Tabulka 4) Dávkování surovin pro výrobu jedné desky

Suroviny	Hmotnost [kg]
CEM I 42,5 R	1,9096
Voda	1,1433
Síran hlinitý	0,0288
Vodní sklo	0,0670

Tabulka 5) Dávkování alternativních materiálů

Suroviny	100 % [kg]	50 % [kg]	75 % [kg]	25 % [kg]
Třísky	0,694	0,347		
Juta	0,237	0,119		
Sláma	0,247	0,124		
Konopí	0,620	0,310		
Prach + pazdeří	0,520	0,260		
Syntetická vlákna	0,171	0,086		
Pěnové sklo	1,027	0,513		
Minerální vlna	0,501	0,251	0,377	0,125
Separát z pneumatik	0,632	0,316		

4.2.2 Postup míchání a ošetřování zkušebních těles – desky

Míchání probíhalo v plastovém kbelíku za pomoci ručního elektrického míchadla. Postup byl vždy totožný. Do nádoby bylo vloženo odvážené množství plniva, následně zalité dávkou vody s rozpuštěným síranem hlinitým a roztokem vodního skla. Směs byla zamíchána a na chvíli se nechala odstát z důvodu nasáknutí plniva vodou. Poté byla přidána navážka cementu a směs opět promíchána.

Sláma, konopí a prach s pazdeřím byly před mícháním vzhledem ke svému přírodnímu původu mineralizovány roztokem vodního skla po dobu pěti hodin.

Směs pro výrobu zkušebních těles se ručně nanášela na předem připravené a odformovacím přípravkem ošetřené ocelové pláty. Snahou bylo vytvořit konstantní tloušťku (25 mm) a stejnoměrně rozptýlit pracovní směs v rámci celé desky. Na rozptýlenou směs byl následně přiložen ocelový plát, směs se pomocí šroubů a matic slisovala na tloušťku 9 mm. Jakmile byla nalisována třetí deska, celá forma se navezla do propařovacího zařízení. Toto zařízení má možnost navolení teplotních poměrů v komoře. Proteplení probíhá ve dvou fázích při definovaných teplotách a empiricky odvozeným časovým intervalem firmou CETRIS.



Obr. 18) Forma pro výrobu cementotřískových desek

4.3 III. etapa – zkoušení vlastností zkušebních těles

4.3.1 Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu (ČSN EN 310)

Modul pružnosti v ohybu a pevnost v ohybu se stanoví zatížením zkušebního tělesa v jeho středu, uloženého na dvou podpěrách. Modul pružnosti se vypočítá z lineární části zatěžovací křivky.

Změříme šířku a tloušťku zkušebního tělesa. Nastavíme vzdálenost podpěr s přesností 1 mm na 20tinásobek tloušťky desky. Osadíme zkušební tělesa a začneme je zatěžovat. Zatížení se provádí konstantní rychlostí. [15]

Modul pružnosti E_m [N.mm⁻²] se vypočte dle vzorce:

$$E_m = \frac{l_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)} \text{ [N.mm}^{-2}\text{]}$$

l_1 – vzdálenost mezi středy podpěr [mm]

b – šířka zkušební tělesa [mm]

t – tloušťka zkušební tělesa [mm]

$F_2 - F_1$ – přírůstek zatížení v přímkové části zatěžovací křivky; F_1 musí být přibližně 10 % a F_2 přibližně 40 % z maximálního zatížení [N]

$a_2 - a_1$ – přírůstek průhybu ve středu délky zkušební tělesa (odpovídající $F_2 - F_1$) [mm]

Pevnost v ohybu f_m [N.mm⁻²] je pro každé těleso vyjádřena vzorcem:

$$f_m = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot l_1}{2 \cdot b \cdot t^2} \text{ [N.mm}^{-2}\text{]}$$

$F_{\max}$ – maximální dosažené zatížení [N]

l_1 – vzdálenost mezi středy podpěr [mm]

b – šířka zkušební tělesa [mm]

t – tloušťka zkušební tělesa [mm]

4.3.2 Stanovení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky (ČSN EN 319)

Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky se stanoví při zatížení působícím na zkušební těleso do jeho porušení ve směru kolmém na rovinu desky. Pevnost se určí z maximální síly působící na povrch zkušební tělesa.

Na zkušební tělesa se nalepí pomocí dvousložkového lepidla ocelové terčíky se závitem pro ukotvení ocelových přípravků do čelistí zkušebního zařízení. Po zatuhnutí lepidla se jednotlivá zkušební tělesa ukotví do čelistí zkušebního zařízení a zatěžují se až do porušení. Zatížení se provádí konstantní rychlostí.

Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky se vypočítá dle vzorce:

$$f_{\perp} = \frac{F_{\max}}{a \cdot b} [\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$$

$F_{\max}$ – zatížení působící na zkušební těleso v okamžiku porušení [N]

a, b – délka a šířka zkušebního tělesa [mm]

4.3.3 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost se stanoví jako poměr hmotnosti zkušebního tělesa k jeho objemu.

Zkušební těleso se zváží a následně se změří jeho rozměry. Objemová hmotnost se určí dle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{b \cdot l \cdot t} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

m – hmotnost zkušebního tělesa [kg]

b – šířka zkušebního tělesa [m]

l – délka zkušebního tělesa [m]

t – tloušťka zkušebního tělesa [m]

5. Zpracování a vyhodnocení naměřených dat

5.1 Vyhodnocení výsledků I. etapy

5.1.1 Výsledky zkoušek na alternativních plnivech

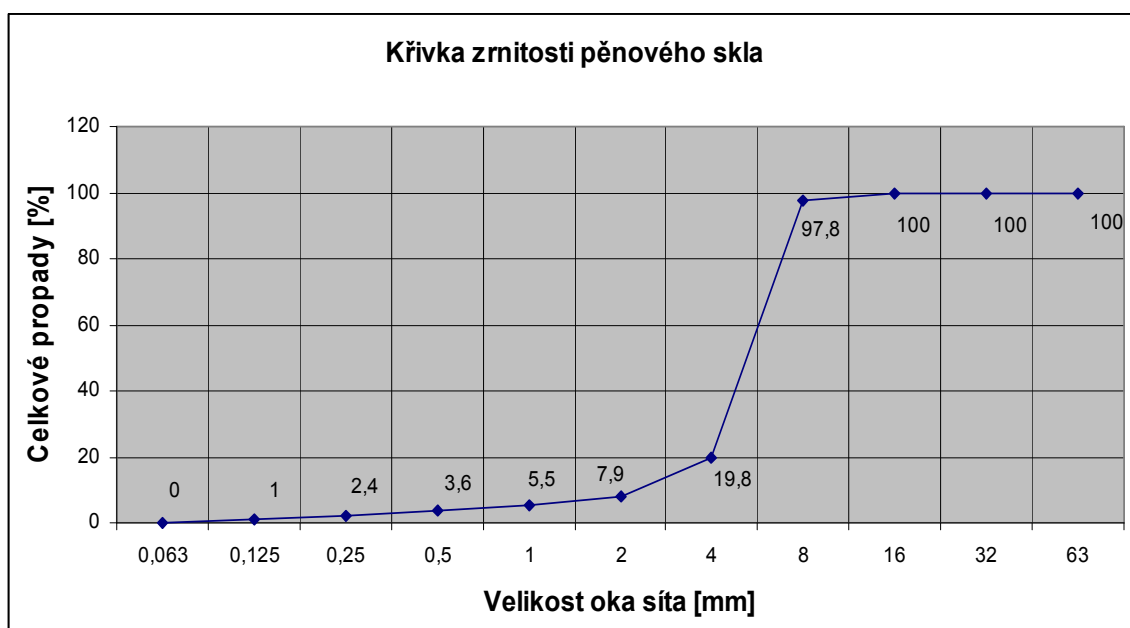
Tabulka 6) Výsledky zkoušek na alternativních plnivech

Alternativní materiál	Sypná hmotnost [kg.m ⁻³]	Nasákavost - sítka [% hm.]	Nasákavost - filtry [% hm.]	Nasákavost - kádinka [% hm.]	Délka vlákna [mm]
Třísky	93,33	177	332		5-13
Sláma	33,14	271	327	483	20-45
Juta	31,86	699	1042	1185	20-45
Syntetická vlákna, předfiltr	22,98	1869	1907	2008	5-13
Prach+pazdeří	69,88	618	893	778	1-7
konopné pazdeří	91,57	248	397		7-18
Min. vlna	67,42	459	554	568	1-10
Pěnové sklo	138	57	118		-
Pneu	85	219	214	169	5-15

Zkouška zrnitosti na normové sadě sít byla prováděná s navážkou 37 g pěnového skla. Charakter ostatních plniv síťový rozbor neumožňuje.

Tabulka 7) Síťový rozbor pěnového skla

Velikost síta	Dílčí zbytky		Celkové zbytky [%]	Celkové propady [%]
	[g]	[%]		
63	0,00	0,0	0,0	100
32	0,00	0,0	0,0	100
16	0,00	0,0	0,0	100
8	0,83	2,2	2,2	97,8
4	28,78	78,0	80,2	19,8
2	4,39	11,9	92,1	7,9
1	0,88	2,4	94,5	5,5
0,5	0,68	1,8	96,4	3,6
0,25	0,44	1,2	97,6	2,4
0,125	0,52	1,4	99,0	1
0,063	0,38	1,0	100,0	0,0
0	0	0	100,0	0,0
Celkem	36,9	100		



Graf 1 – Křivka zrnitosti pěnového skla

5.1.2 Výsledky zkoušek cementu

Tabulka 8) Fyzikální vlastnosti cementu

Druh cementu	Měrný povrch	Počátek tuhnutí	Konec tuhnutí	Normální konzistence	Měrná hmotnost
	[m ² .kg ⁻¹]	[minuty]	[minuty]	[%]	[g.cm ⁻³]
Cement Hranice	365	202	367	28,6	2,98
Cement Mokrý	378	195	360	28,4	2,95

Pro stanovení pevnosti cementu byla vyrobena zkušební tělesa, u nichž byla nahrazena voda výluhem jednotlivých alternativních plniv.

Tabulka 9) Mechanické vlastnosti cementu – vliv výluhu

Druh výluhu	Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	Pevnost v tahu za ohybu [N.mm ⁻²]	Pevnost v tlaku [N.mm ⁻²]
Referenční – voda	2 210	8,06	50
Separát z pneumatik	2 200	7,66	51,41
Syntetická vlákna	2 180	7,24	50,26
Konopí	2 190	7,85	53,02
Sláma	2 180	7,38	52,24
Pěnové sklo	2 200	6,83	54,27
Vlákna minerální vlny	2 200	7,55	52,5
Juta	2 200	7,22	46,04
Prach + pazdeří	2 220	8,19	55,68

Z naměřených hodnot pevnostních charakteristik lze vyčíst, že většina výluhu alternativních plniv vykazuje nižší pevnosti v tahu za ohybu, výjimku tvoří výluh prach + pazdeří, u něhož byla naměřena větší pevnost v tahu za ohybu než u vzorku referenčního. Naopak, co se týče pevnosti v tlaku, tak s výjimkou výluhu juty všechny vykazují vyšší pevnosti než vzorek referenční. Normová hodnota pevnosti v tlaku je 42,5 N.mm⁻² a to všechny vzorky splňují. Celkově lze vyčíst, že nejhorší vlastnosti vykazuje výluh juty a nejlepší výluh prach + pazdeří.

5.2 Vyhodnocení II. etapy

V rámci druhé etapy byly vyráběny zkušební desky. Většina alternativních materiálů se chovala při míchání podobně. Při míchání záměsi s jutou se mi nepodařilo cementem rovnoměrně obalit jednotlivá vlákna. Důvodem bylo nedostatečné rozdužení jednotlivých svazků vláken juty. Obdobný problém se vyskytl u záměsi z vláken minerální vlny a syntetických vláken, které tvořily malé shluky, do nichž se nedostal cementový tmel. Tento jev byl mírně zkorigován po přidání třísek, jež při míchání

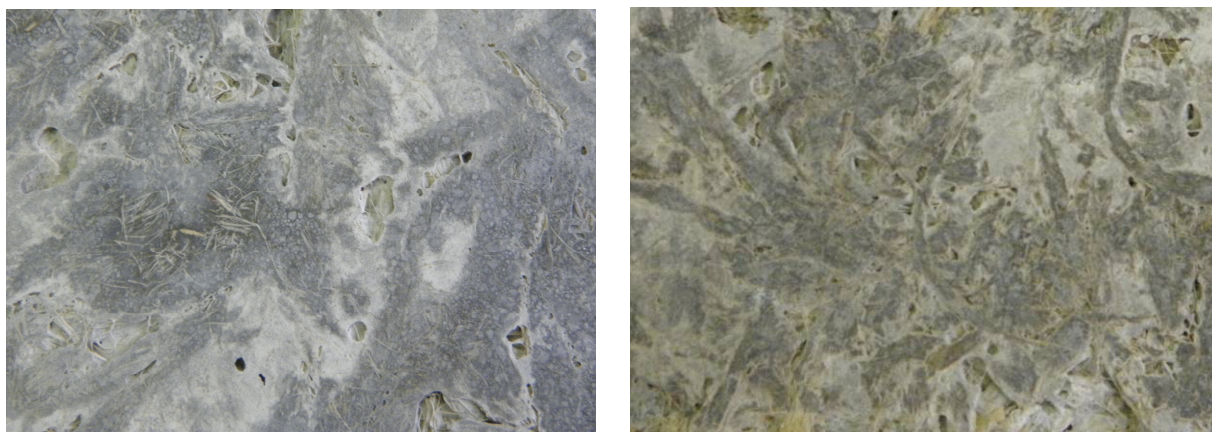
pomohly rozdružit větší shluky. U ostatních materiálů se podařilo všechny částice poměrně rovnoměrně obalit cementovým tmelem.

5.3 Vyhodnocení výsledků III. etapy

Pro III. etapu byly vylisované desky naformátovány na zkušební tělesa o rozměrech 290 x 50 mm pro zkoušení ohybových pevností a 50 x 50 mm pro stanovení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky.

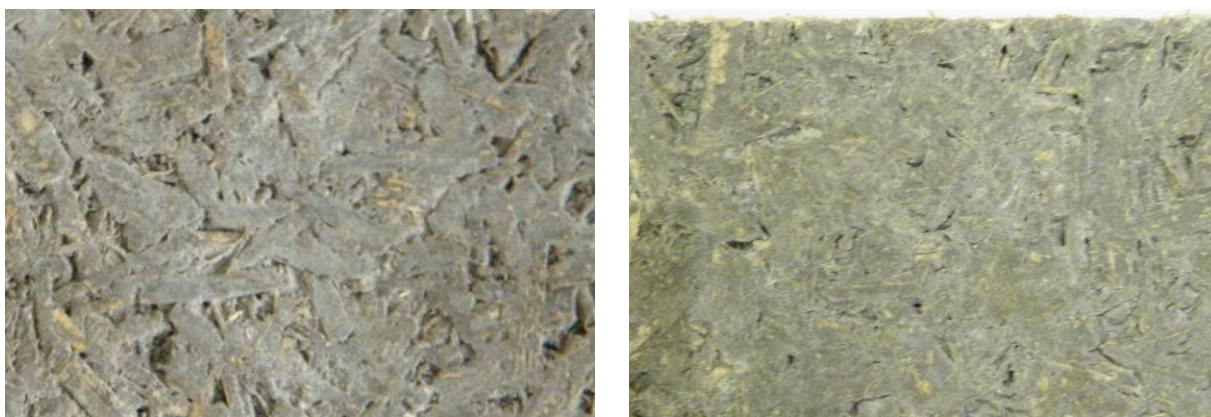
5.3.1 Povrch a struktura zkušebních těles

Povrch desek vyrobených z vláken juty je poměrně celistvý s lokálními defekty a viditelnými svazky vláken.



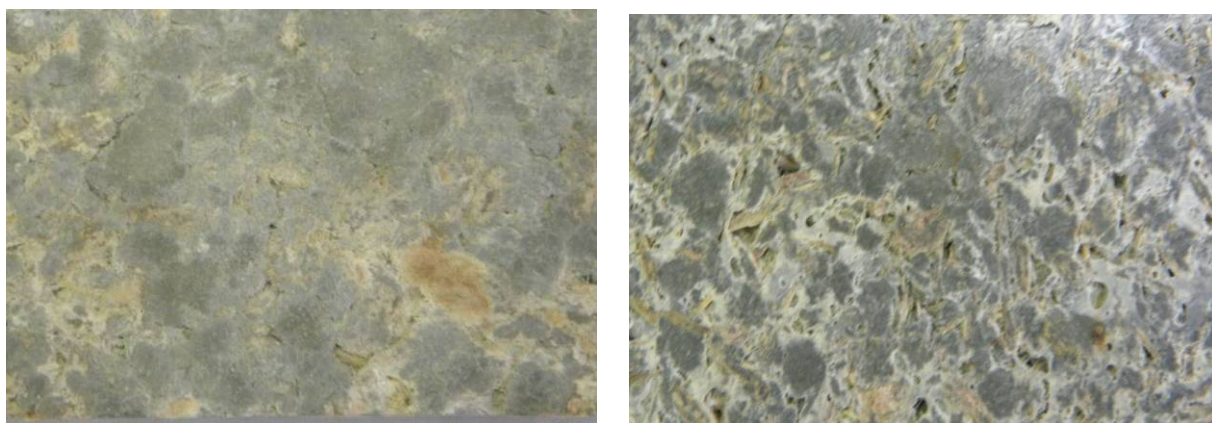
Obr. 19) 20) Povrch desek se 100 % a 50 % jutových vláken

Konopné desky mají viditelnou strukturu tvořenou pazdeřím s mnoha nerovnostmi povrchu. Tyto nerovnosti se povedlo z velké části eliminovat v receptuře s 50 % konopí.

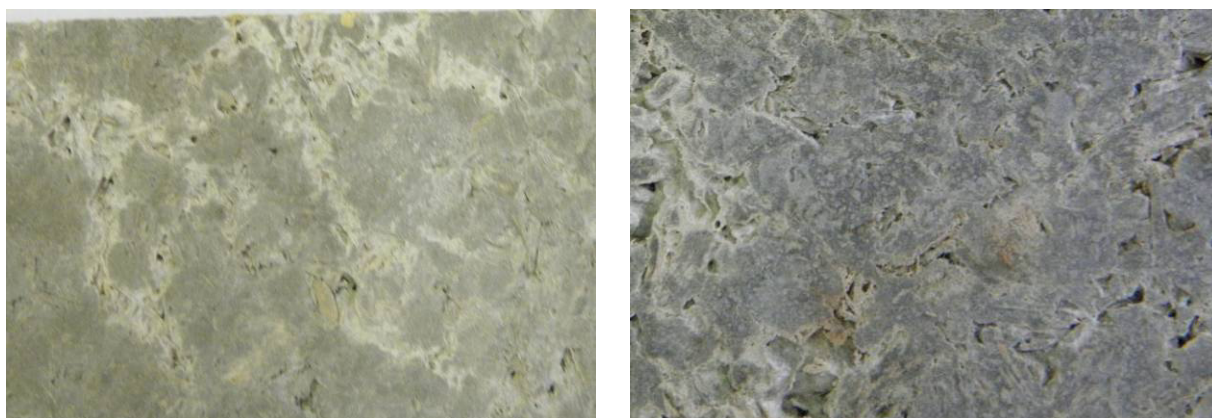


Obr. 21) 22) Povrch desek se 100 % a 50 % konopného pazdeří

Desky vyrobené z vláken minerální vlny mají s měnícím se objemem vláken různé struktury povrchu. Receptura se 100 % náhradou má hladký a celistvý povrch s občasnými viditelnými malými shluky minerálních vláken. Se snižujícím se objemem vláken se stává povrch členitější.

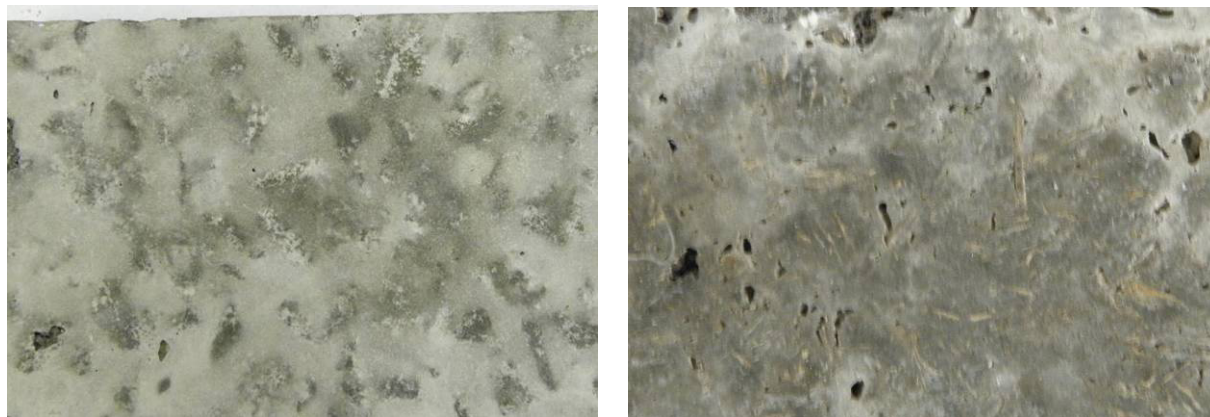


Obr. 23) 24) Povrch desky se 100 % a 75 % minerálních vláken



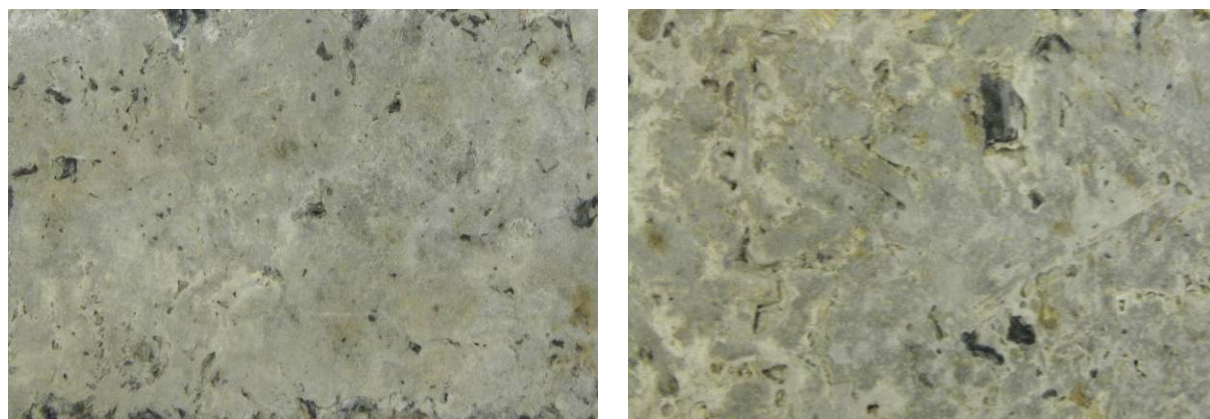
Obr. 25) 26) Povrch desky s 50 % a 25 % minerálních vláken

Desky vyrobené z pěnového skla mají hladký povrch na dotek voskovitý s prosvítajícími zrny pěnového skla.



Obr. 27) 28) Povrch desek se 100 % a 50 % pěnového skla

Desky vyrobené ze separátu pneumatik mají hladký a celistvý povrch téměř bez kazů struktury.



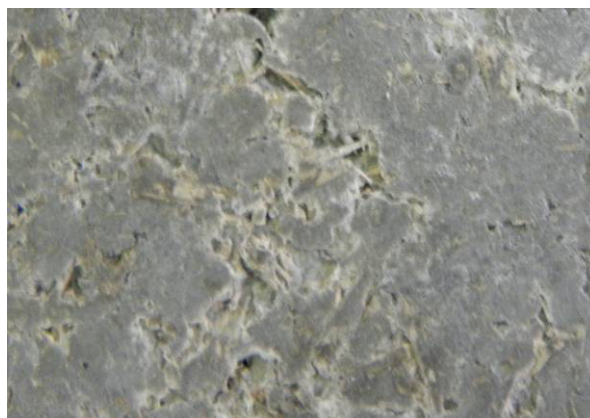
Obr. 29) 30) Povrch desek se 100 % a 50 % separátu

Slaměné desky jsou sice povrchově hladké a poměrně celistvé, avšak nevzhledné, jelikož stébla vláken jsou okem viditelná.



Obr. 31) Povrch desky ze slámy

Desky ze syntetických vláken mají pouze občasné nerovnoměrnosti ve struktuře.

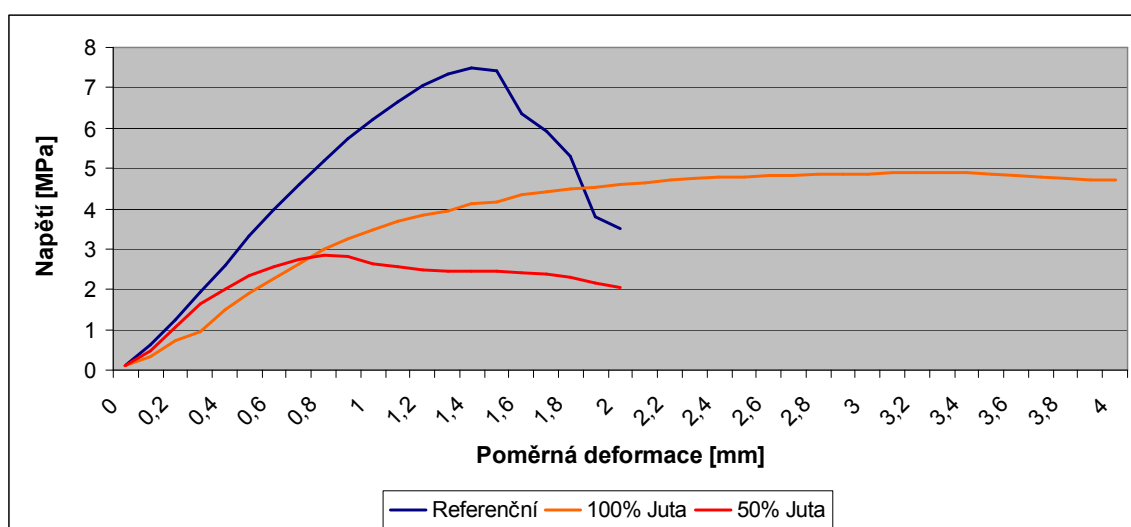


Obr. 32) 33) Povrch desky se 100 % a 50 % syntetických vláken

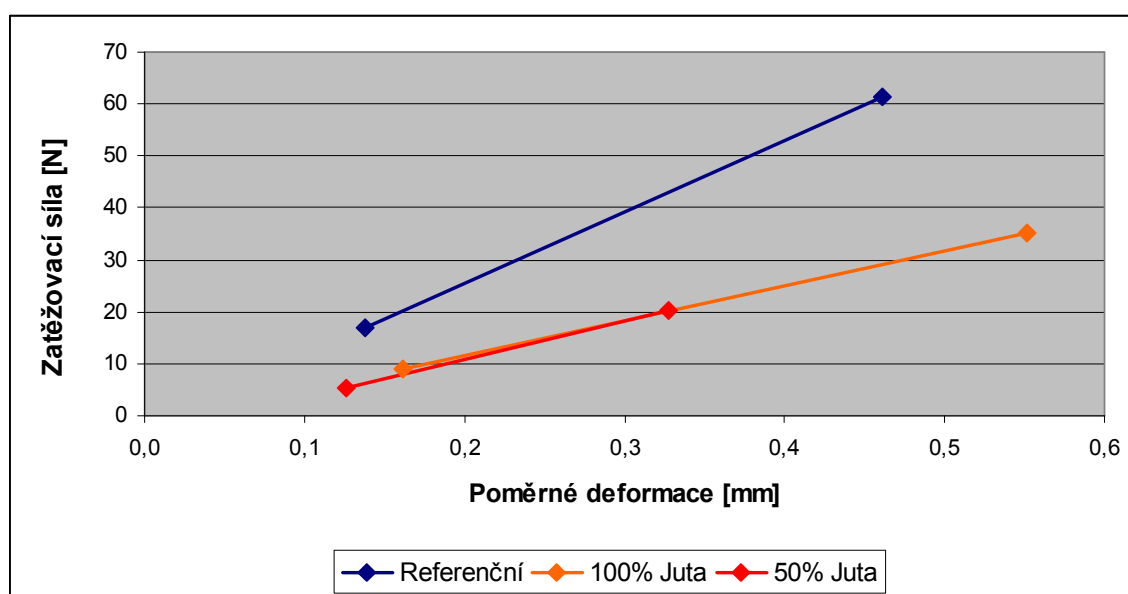
5.3.2 Mechanické vlastnosti zkušebních těles

Vyřezaná zkušební tělesa byla zkoušena na přístroji s rychlostí zatížení danou normou. Ani po 28 denním uložení v laboratoři nebyla některá zkušební tělesa vhodná pro měření pevnostních charakteristik. Jmenovitě se jedná o zkušební tělesa vyrobená z receptur počítajících se 100% plniva prach + pazdeří a ze slámy. Tyto desky se lámaly samovolně bez většího zatížení.

- výsledky receptur s jutou

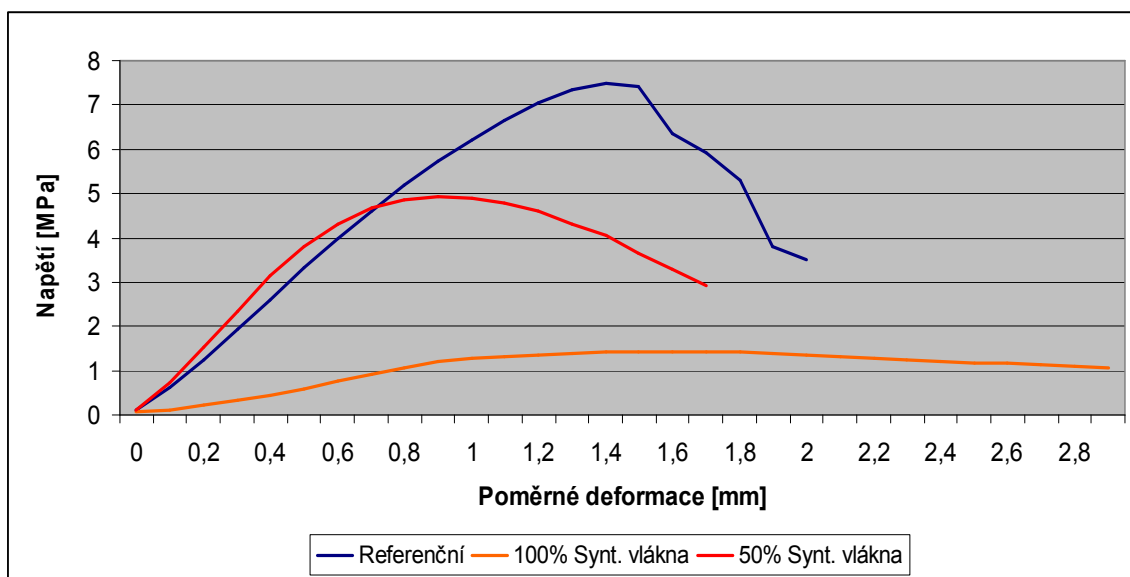


Graf 2 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu

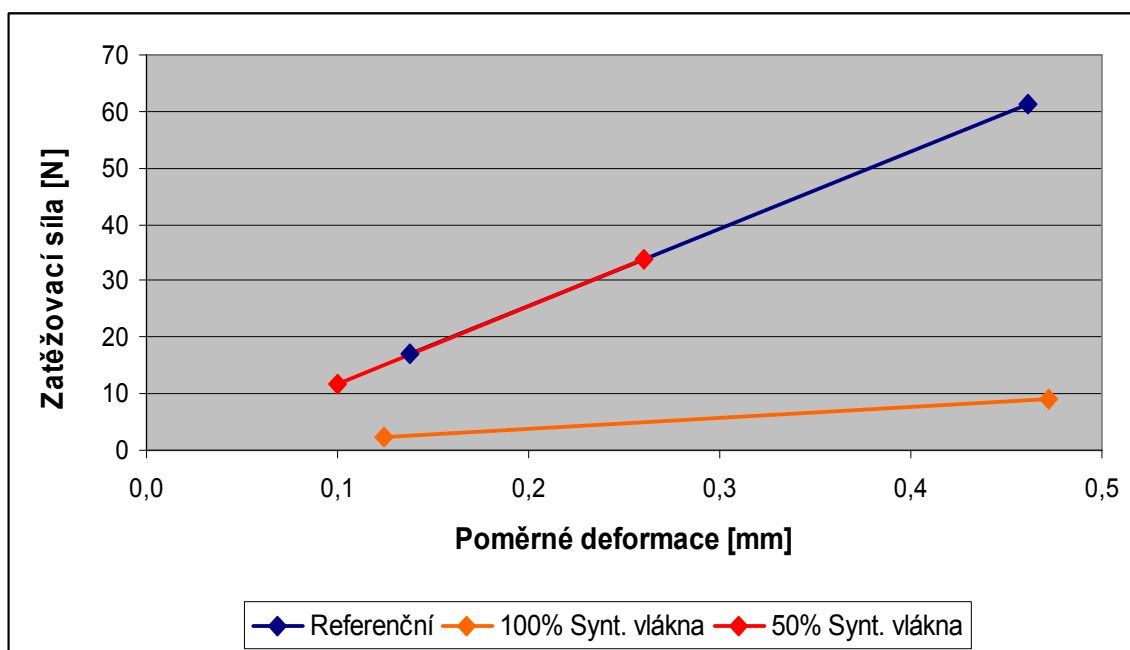


Graf 3 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace

- výsledky receptur se syntetickými vlákny

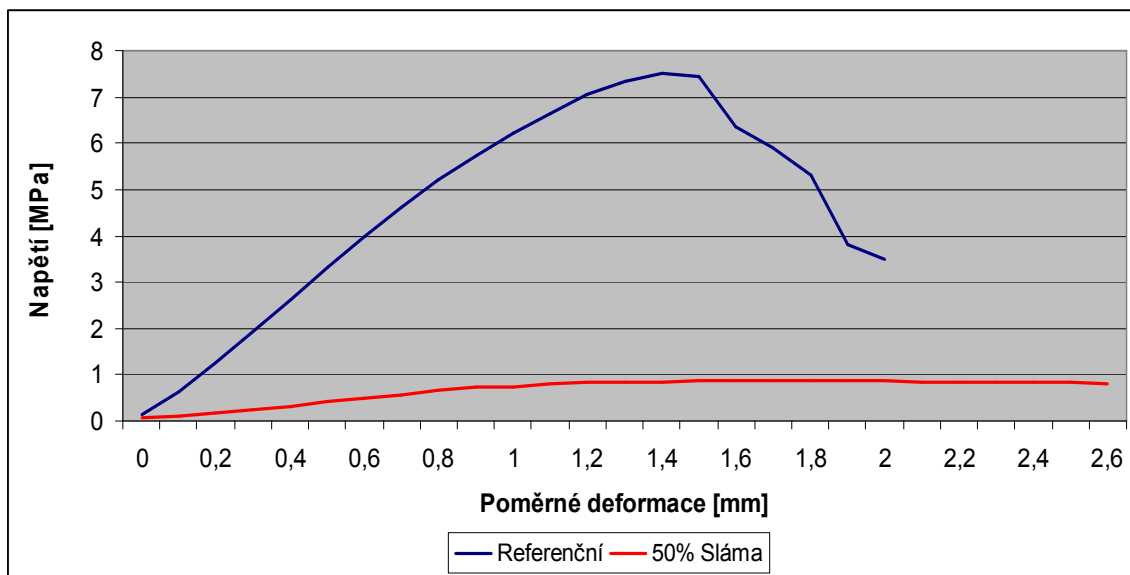


Graf 4 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu

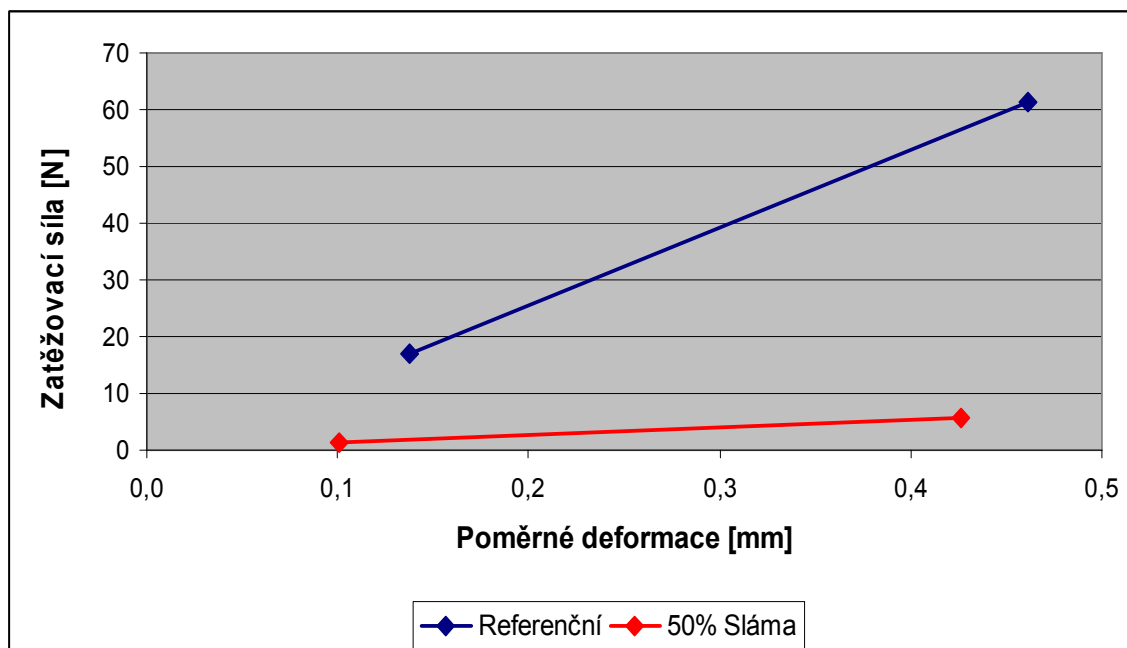


Graf 5 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace

- výsledky receptury sláma – tříška

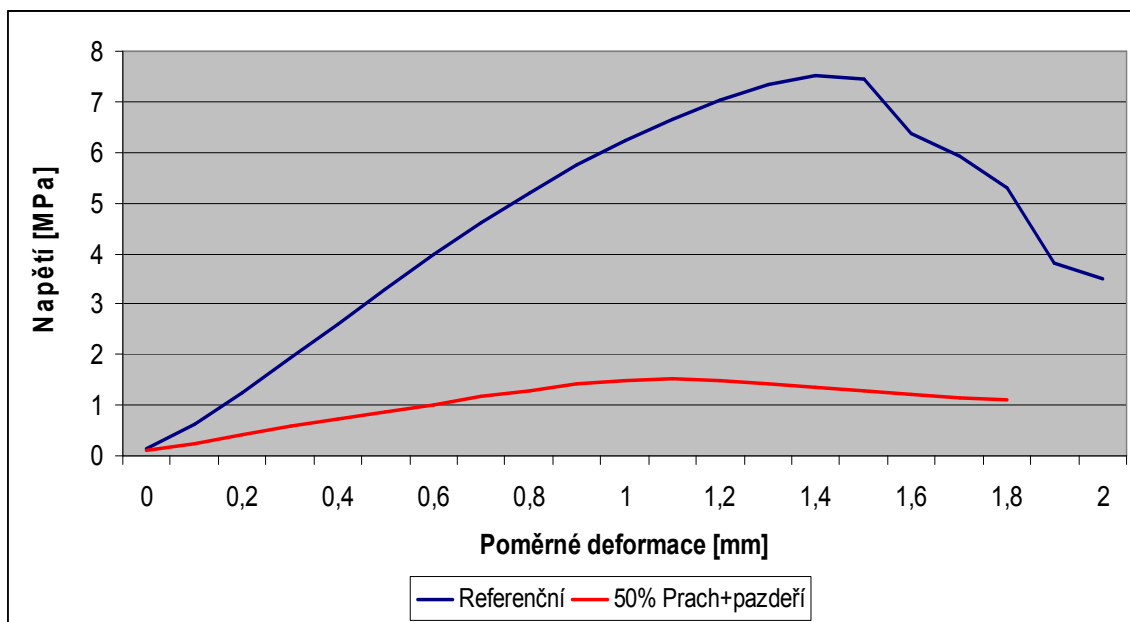


Graf 6 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu

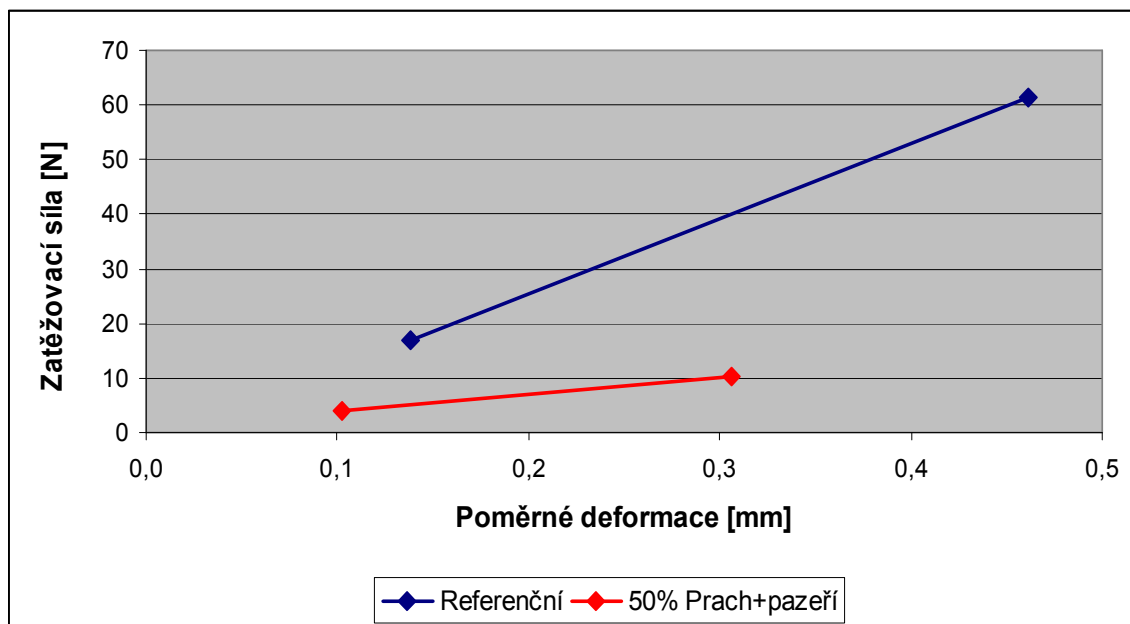


Graf 7 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace

- výsledky receptury prach+pazdeří – třísky

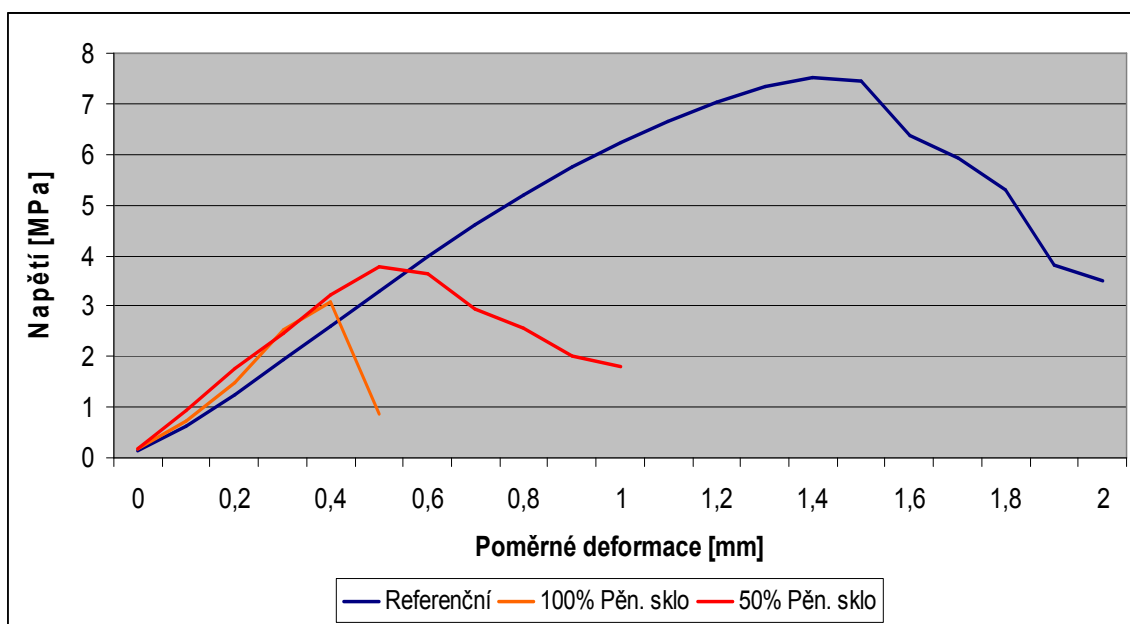


Graf 8 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu

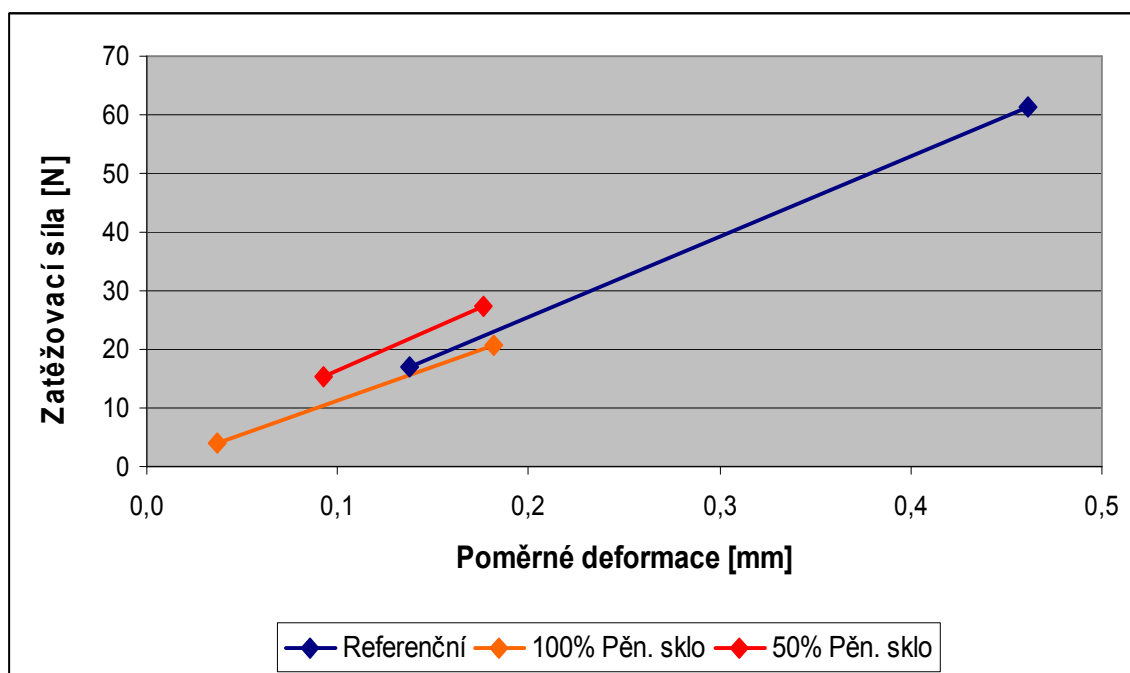


Graf 9 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace

- výsledky receptury s pěnovým sklem

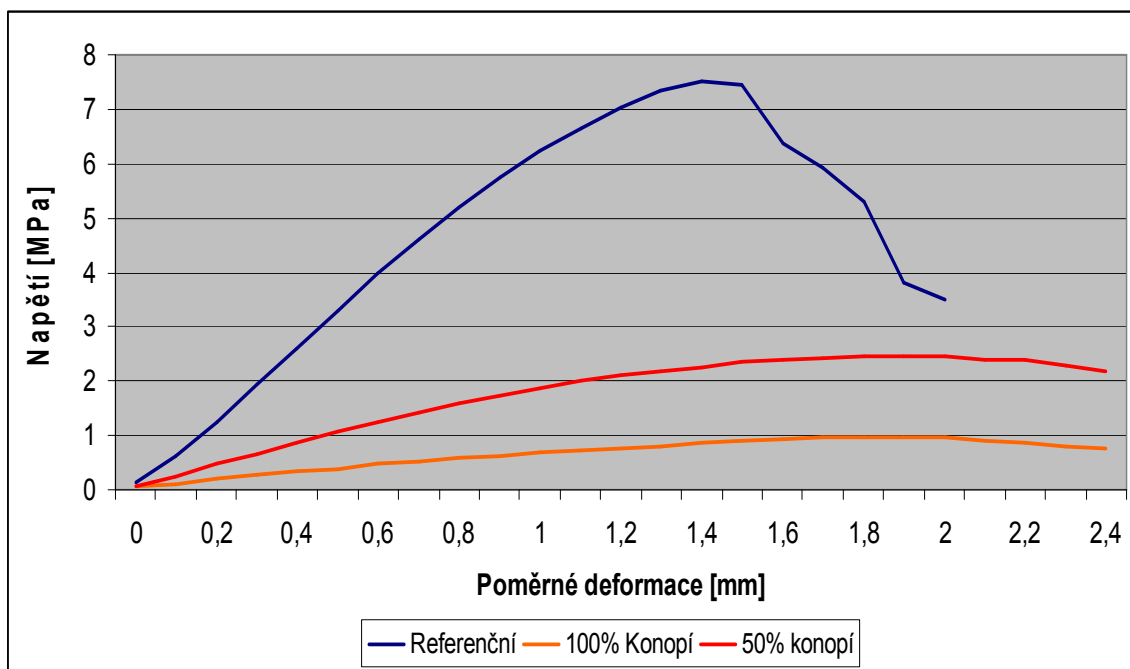


Graf 10 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu

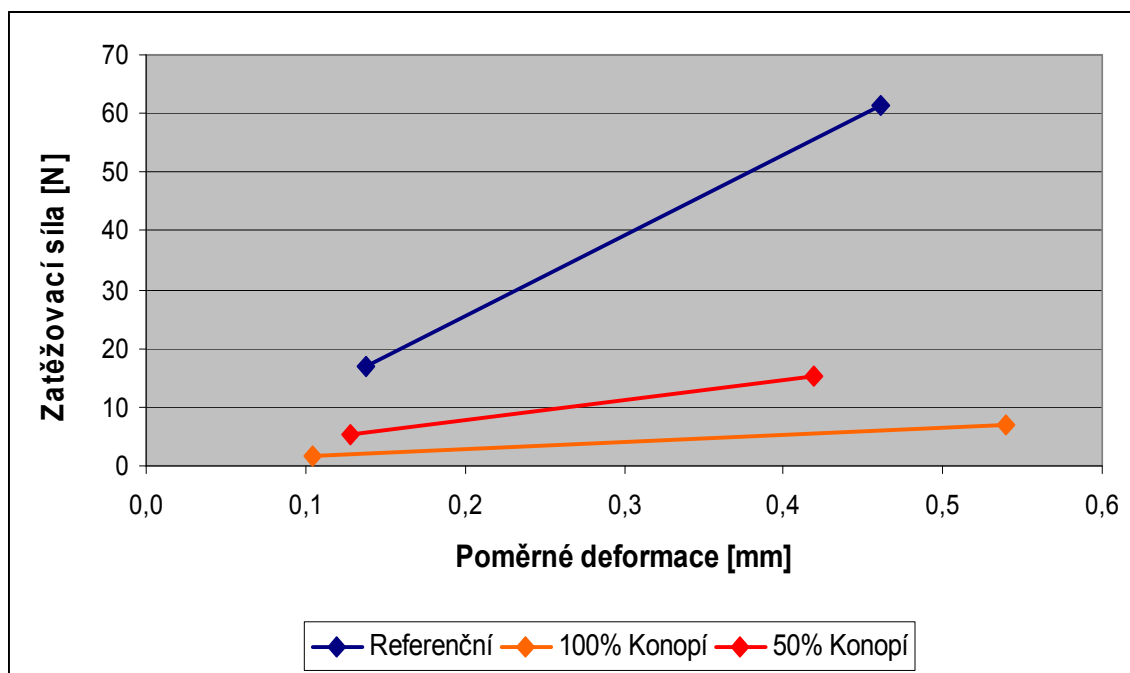


Graf 11 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace

- výsledky receptury s konopím

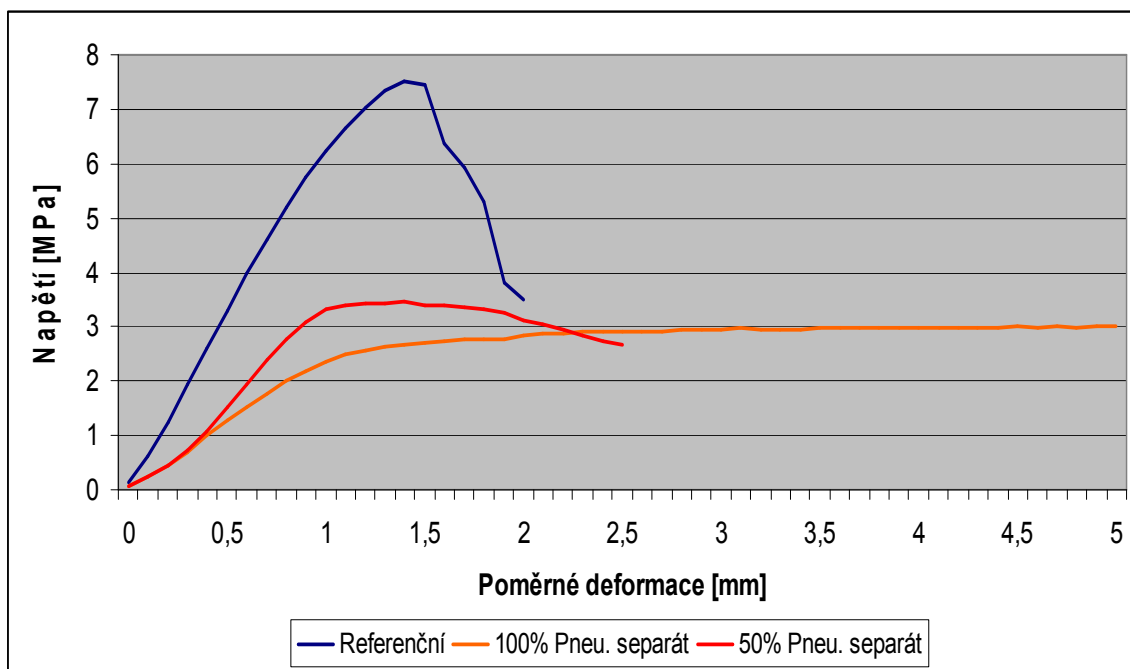


Graf 12 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu

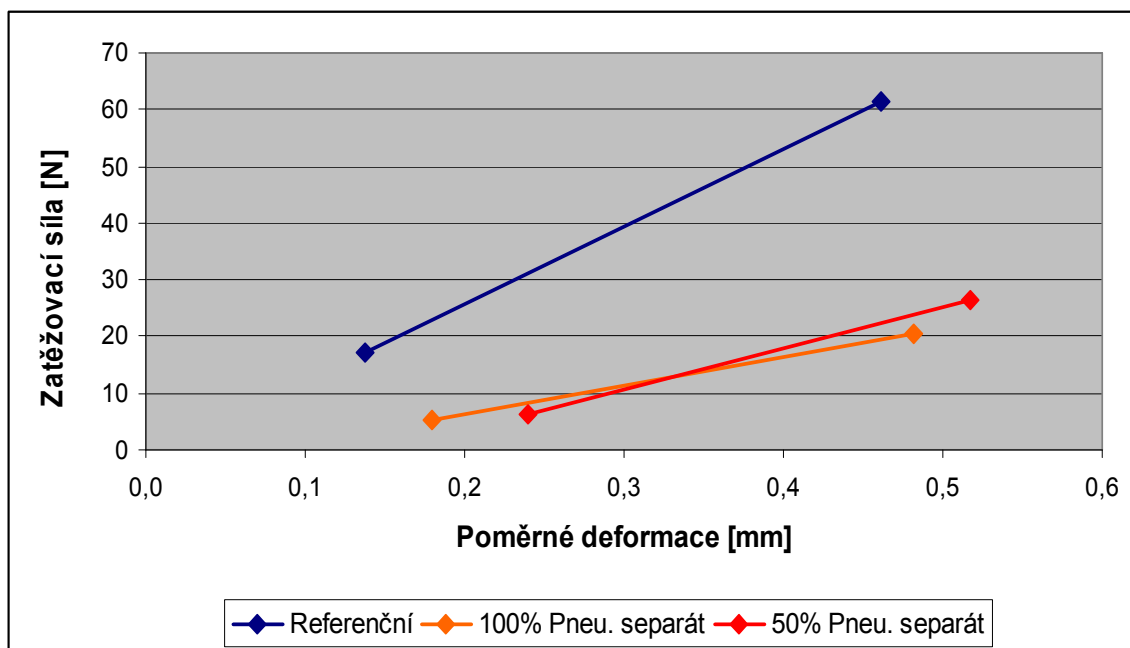


Graf 13 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace

- výsledky receptur se separátem z pneumatik

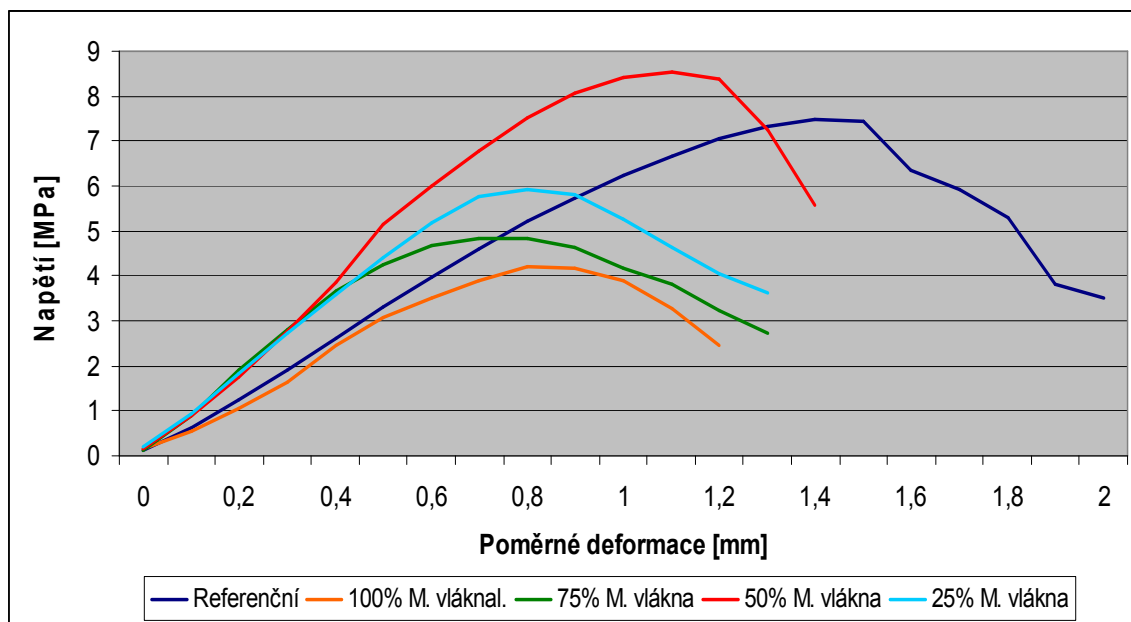


Graf 14 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu

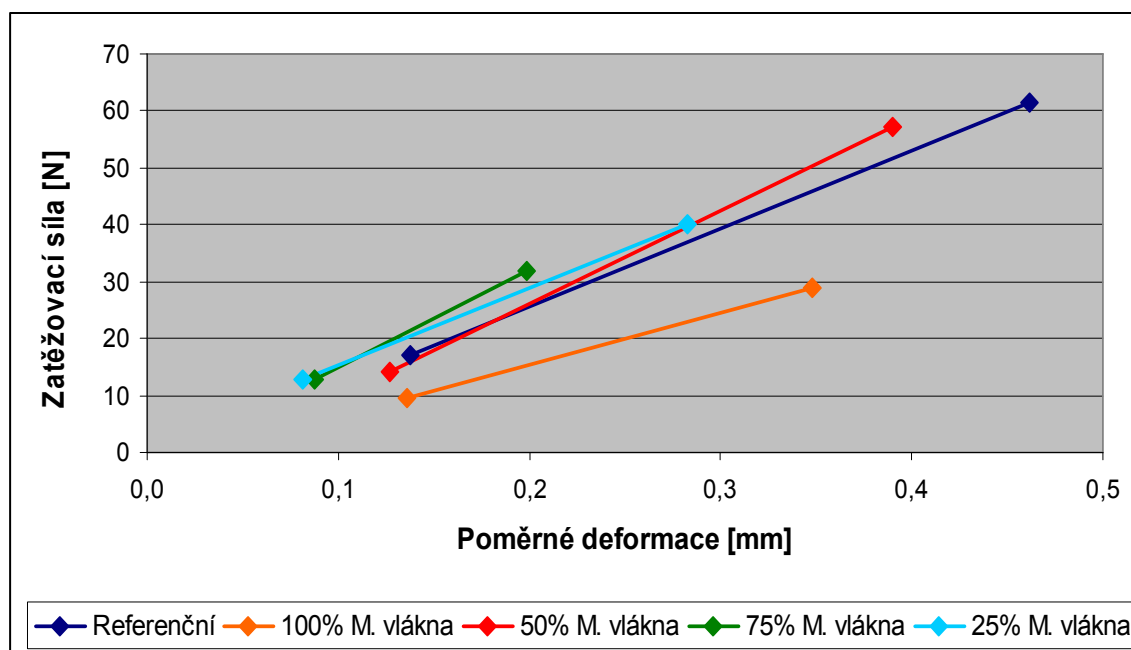


Graf 15 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace

- výsledky receptur z vláken minerální vlny



Graf 16 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu



Graf 17 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace

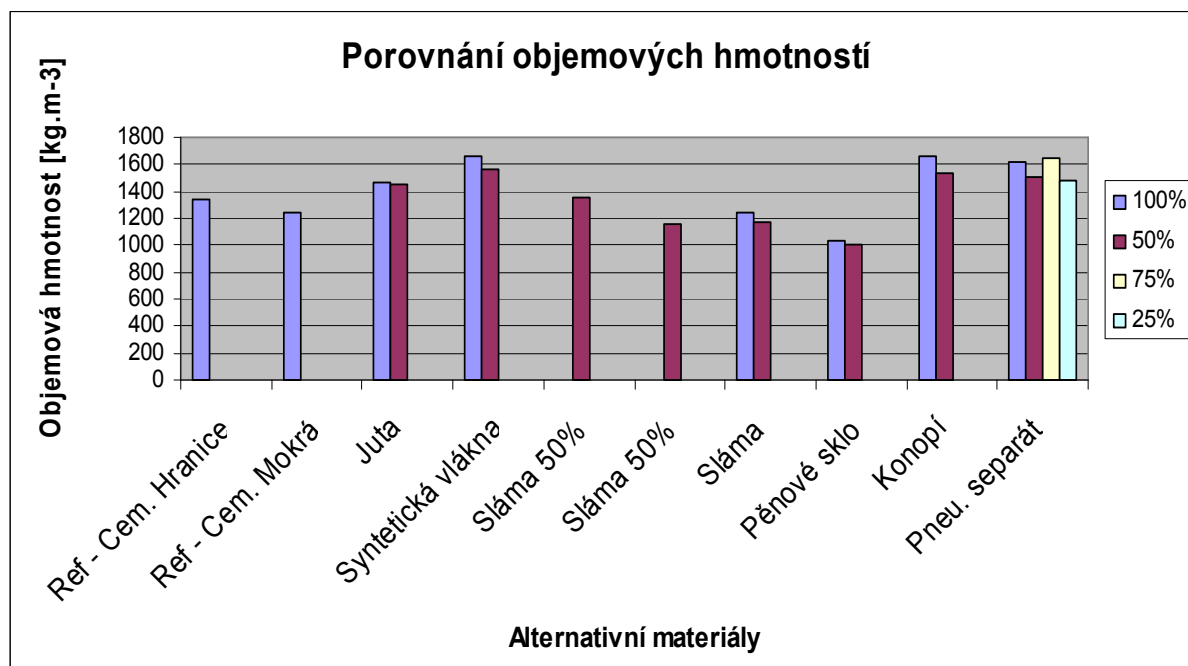
5.3.3 Souhrn výsledků

Tabulka 10) Fyzikálně mechanické vlastnosti zkušebních receptur

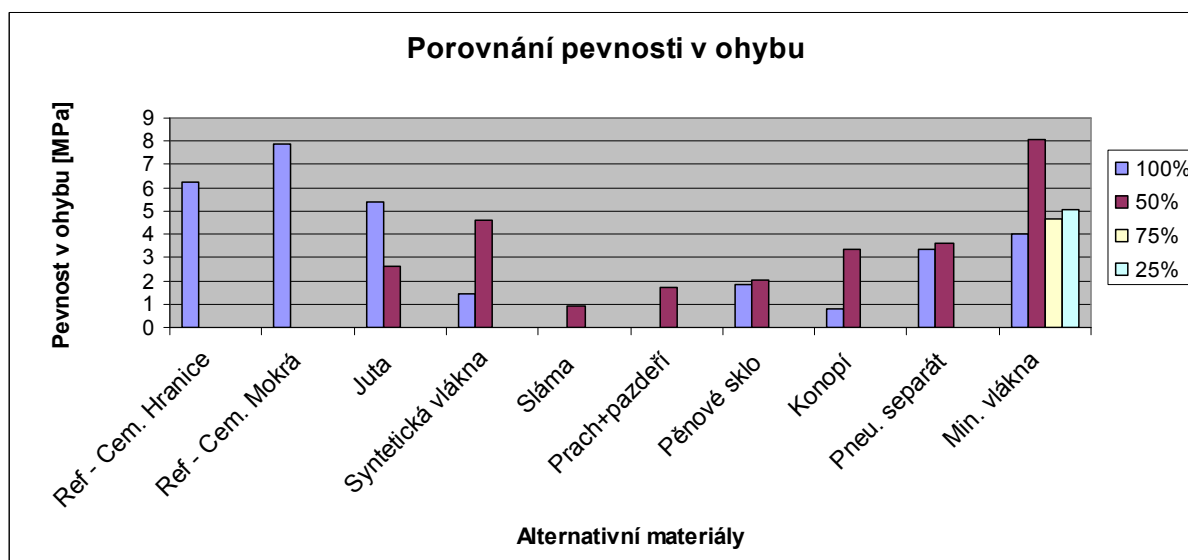
Receptura	Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	Pevnost v tahu za ohybu [N.mm ⁻²]	Modul pružnosti [N.mm ⁻²]	Pevnost v tahu kolmo na rovinu desky [N.mm ⁻²]
Ref - Cem. Hranice	1 337	6,21	4 550	1,55
Ref - Cem. Mokrá	1 240	7,88	5 740	1,51
Juta	1 466	5,39	2 850	0,75
Juta 50 %	1 448	2,61	2 440	0,94
Syntetická vlákna	1 667	1,47	774	1,22
Synt. vlákna 50 %	1 561	4,6	4 870	1,31
Sláma 50 %	1 358	0,95	1 360	0,12
Prach + pazdeří 50 %	1 160	1,72	1 600	0,46
Pěnové sklo	1 240	1,83	2 340	0,72
Pěnové sklo 50 %	1 166	2,04	3 090	0,86
Konopí	1 029	0,78	415	0,11
Konopí 50 %	1 000	3,33	2 160	0,81
Pneu. separát	1 666	3,35	2 660	1,05
Pneu. separát 50 %	1 531	3,59	3 010	0,89
Min. vlákna	1 620	4,02	3 493	1,37
Min. vlákna 75 %	1 650	4,65	6 750	1,42
Min. vlákna 50 %	1 510	8,1	6 710	1,44
Min. vlákna 25 %	1 478	5,09	4 190	1,35

Norma udává hodnotu objemové hmotnosti minimálně 1000 kg.m⁻³, pevnost v tahu 9 N.mm⁻² a modul pružnosti v ohybu: 5 000 N.mm⁻² pro třídu 1 a 4 000 N.mm⁻² pro třídu 2.

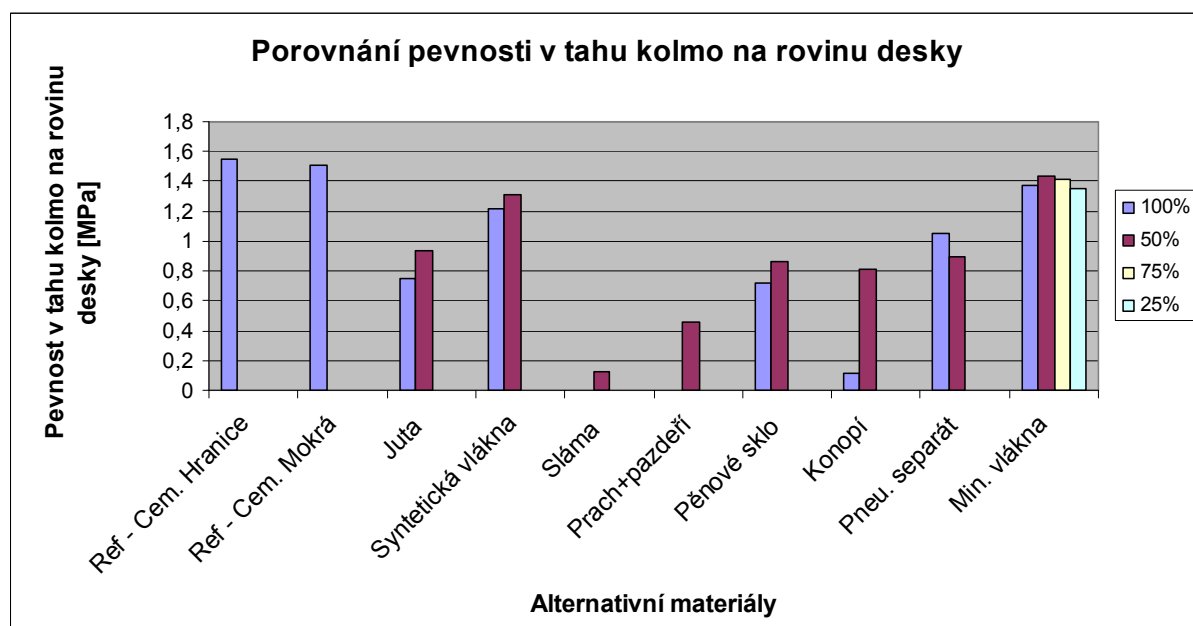
- Grafické vyobrazení



Graf 18 – Porovnání objemových hmotností



Graf 19 – Porovnání pevností v ohybu zkušebních těles



Graf 20 – Porovnání pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky

5.4 Fotodokumentace



Obr. 34) Lom tělesa z juty



Obr. 35) Lom tělesa z juty a třísek



Obr. 36) Lom tělesa ze syntetických vláken



Obr. 37) Lom tělesa s 50 % syntetických vláken



Obr. 38) Lom tělesa ze slámy



Obr. 39) Lom tělesa s prachem s pazdeřím



Obr. 40) Lom tělesa z pěnového skla



Obr. 41) Lom tělesa pěnového skla a třísek



Obr. 42) Lom tělesa z konopí



Obr. 43) Lom tělesa z konopí a třísek



Obr. 44) Lom tělesa se 100 % vláken minerální vlny



Obr. 45) Lom tělesa se 75 % vláken minerální vlny



Obr. 46) Lom tělesa s 50 % vláken minerální vlny



Obr. 47) Lom tělesa s 25 % vláken minerální vlny



Obr. 48) Struktura podélného lomu tělesa z juty



Obr. 49) Struktura podélného lomu tělesa z juty a třísk



Obr. 50) Struktura podélného lomu tělesa se syntetickými vlákny



Obr. 51) Struktura podélného lomu tělesa ze slámy



Obr. 52) Struktura podélného lomu tělesa s 50 % prachu a pazdeří



Obr. 53) Struktura podélného lomu tělesa z pěnového skla



Obr. 54) Struktura podélného lomu tělesa z pěnového skla a třísek



Obr. 55) Struktura podélného lomu tělesa z konopí



Obr. 56) Struktura podélného lomu tělesa se 100 % minerálních vláken



Obr. 57) Struktura podélného lomu tělesa se 75 % minerálních vláken



Obr. 58) Struktura podélného lomu tělesa s 50 % minerálních vláken



Obr. 59) Struktura podélného lomu tělesa se 25 % minerálních vláken

E. Závěr

Alternativní materiály jsou stále používanější v moderním stavitelství. Stromy z kterých se vyrábějí třísky mohou být zpracovány až po několika letech a samotné třísky jsou o něco dražší než materiály alternativní či odpadní, to jsou důvody proč se alternativní materiály jeví jako vhodné pro možnou modifikaci plniva cementotřískových desek.

Ve své diplomové práci jsem zkoumal tuto možnost náhrady původního plniva cementotřískových desek. Jelikož při výrobě zkušebních těles nebylo možné dosáhnout stejných výrobních podmínek jako při strojní výrobě, byly vyrobeny vzorky referenční zohledňující i použití cementů různých výrobců. Pro výrobu referenčních vzorků byla převzata výrobní receptura firmy CETRIS. S těmito referenčními vzorky byly následně porovnávány receptury s alternativními plnivy.

Pro každé plnivo byla navržena receptura vycházející ze sypaných hmotností a z náhrady třísek v celém objemu nebo pouze náhradou 50 % objemu dřevěných třísek. Výjimku tvořily receptury s vlákny minerální vlny, pro něž byla stanovena i receptura s náhradou 75 % a 25 % třísek.

Z naměřených hodnot pevnostních charakteristik lze vyčíst, že s výjimkou receptury počítající s náhradou třísek v 50 % objemu vlákny minerální vlny se žádný jiný zkoušený materiál dostatečně nepřibližuje pevnostem referenčních vzorků. Důvodem je nedostatečné rozdělení shluků vláken některých materiálů a v případě pěnového skla křehký charakter tohoto materiálu.

Jako absolutně nevyhovující plnivo se jeví použití slámy a prachu s pazdeřím.

Syntetická vlákna nahrazující 100 % objemu třísek jsou taktéž nevhodná. Důvodem je nedostatečné rozdělení malých shluků vláken, jež je pro homogenitu desek zásadní. Při náhradě 50 % dochází k trojnásobnému zlepšení pevnosti v ohybu. Také jako jeden z mála materiálů překročily vzorky pro zkoušení pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky hodnotu 1 N.mm^{-2} . Lze tedy usoudit, že při technologii, která rovno-

měrně rozprostře syntetická vlákna a zohlední receptury počítající s částečnou náhradou třísek, může být i tento druh plniva perspektivní.

Vzorky s pěnovým sklem jsou nevhodné z důvodu křehkého charakteru materiálu. Drcení na požadovanou frakci vhodnou pro výrobu lisovaných desek je doprovázeno velkou prašností. Dochází tak ke ztrátě suroviny a vzniká velké množství velmi jemného odpadního materiálu.

Průměrných hodnot pevností dosáhly vzorky vyrobené z konopí a separátu z pneumatik. Z grafu průběhu zkoušky pevnosti v ohybu těles vyrobených ze separátu lze vyčíst vliv zbytků gumy na celkovou pružnost desky.

Vzorky z vláken juty dosáhly v rámci zkoušených materiálů nadprůměrných hodnot pevnosti v ohybu a náhrada celého objemu měla za následek zvýšení pružnosti desky. Ovšem i zde se vyskytl problém s dostatečným rozdělením svazků vláken. Vlákna pro výrobu byla nasekána z motouzů dodaných firmou JUTA a.s., závod Olomouc. Tyto motouzy byly vyrobeny splétáním vláken ve větší svazky. Lze tedy předpokládat, že vlákna juty pro výrobu lisovaných desek je možné zakoupit i ve vhodnějším stavu. Vlákna sama o sobě jsou poměrně houževnatá a fakt, že se jedná o nejlevnější přírodní textilní surovinu, činí z juty materiál hodný pozornosti materiálových technologií.

Vzorky vyrobené z vláken minerální vlny dosahují nadprůměrných hodnot pevností ve všech čtyřech navržených recepturách, avšak pouze receptura s 50 % náhradou měla v konečném souhrnu hodnot ohybových pevností hodnoty vyšší než u referenčních vzorků a také se nejvíce přiblížila hodnotám pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky. Receptury se 75 % a 50 % objemu minerálních vláken přesáhly jako jediné hodnotu modulu pružnosti $6\,000\text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Použitá odpadní vlákna se tak stávají vynikající možností modifikace plniva cementotřískových desek.

Skupina alternativních materiálů tvoří pomalu rostoucí skupinu hmot vhodných pro stavební účely a to ať už se jedná o hmoty přírodního charakteru nebo hmoty vznikající při výrobě jako odpadní materiál. Tyto materiály jsou stále více využívány a postupně jsou mapovány možnosti jejich využití ve stavebnictví. Pro cementotřískové

desky se osvědčila 50 % náhrada třísek vláknů minerální vlny. Tato modifikace zlepšuje pevnostní charakteristiky a vzhledem k prvotnímu využití minerální vlny je pravděpodobné, že také zlepšuje tepelně izolační vlastnosti desek. Při strojní výrobě takto modifikovaných desek lze očekávat ještě lepší vlastnosti vycházející z komplexnější technologie výrobního procesu.

F. Seznamy

6. Seznam zdrojů a použité literatury

- [1] BODNÁROVÁ, Lenka. *Kompozitní materiály ve stavebnictví*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002, 122 s. ISBN 80-214-2266-1.
- [2] LENERT, Jiří. *Mechanika kompozitních materiálů*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2002, 80 s. ISBN 80-248-0026-8.
- [3] AGARWAL, Bhagwan D. a BROUTMAN, J. Lawrence . *Vláknové kompozity: celost. vysokošk. příručka pro vys. školy techn.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 294 s.
- [4] BÖHM, Martin, REISNER, Jan a BOMBA, Jan. *Materiály na bázi dřeva*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z: <http://drevene-materialy.fld.czu.cz>.
- [5] LANGER, Martin. *Vývoj cementokonopných deskových materiálů*. Brno, 2008. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
- [6] CETRIS: *Cementotřísková deska pro stavebnictví - cementotřískové desky*. [online]. [cit. 2012-10-08]. Dostupné z: <http://www.cetris.cz/o-nas/>.
- [7] CETRIS: *Cementotřísková deska pro stavebnictví - cementotřískové desky*. In: [online]. [cit. 2012-10-08]. Dostupné z: http://www.cetris.cz/pagedata_cz/download/107_ppp_cz_5-v2_kap1-6.pdf.

- [8] ČSN EN 634 – 2. *Cementotřískové desky – Specifikace – Část2: Požadavky pro třískové desky pojené portlandským cementem pro použití v suchém, vlhkém a venkovním prostředí*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.
- [9] FRIDRICHOVÁ, Marcela, NOVÁK, Jan a DVOŘÁK, Karel. *Maltoviny: Modul M01*. Brno, 2004.
- [10] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga, 2007, 400 s. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [11] Institut geologického inženýrství, VŠB-TU Ostrava. JIRÁSEK, Jakub a VAVRO, Martin. *Nerostné suroviny a jejich využití* [online]. Ostrava, 2007 [cit. 2012-10-23]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/>.
- [12] PECINA, Pavel. *Materiály a technologie-dřevo*: výuková prezentace.
- [13] *Mezi stromy*. [online]. [cit. 2012-12-14]. Dostupné z: <http://www.mezistromy.cz/cz/les/rostliny-v-lese/jehlicnate-stromy/jedle-belokora>.
- [14] CHYBÍK, Josef. *Přírodní stavební materiály*, 1st. ed. Praha, Grada Publishing, a.s., 2009. ISBN 978-80-247-2532-1.
- [15] ČSN EN 310. *Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu: Desky ze dřeva*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1995.
- [16] VŠB, Zkoušení stavebních materiálů a výrobků: Maltoviny. [online]. [cit. 2012-12-13]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty_cement_zk
- [17] ČSN EN 196-3 + A1. *Metody zkoušení cementu – Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008.

- [18] ČSN 72 2113. *Stanovení měrné hmotnosti cementu*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1989.
- [19] ČSN EN 196-6. *Metody zkoušení cementu – Část 6: Stanovení jemnosti mletí*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2010.
- [20] ČSN EN 196-1. *Metody zkoušení cementu – část 1: Stanovení pevnosti*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
- [21] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2012.

7. Seznam obrázků

Obr. 1) Deska z dřevité vlny	str. 13
Obr. 2) Rozdělení kompozitních materiálů	str. 15
Obr. 3) Cementotřísková deska CETRIS	str. 17
Obr. 4) Výroba desek CETRIS	str. 18
Obr. 5) Složení cementotřískové desky	str. 19
Obr. 6) Schéma výroby cementu	str. 24
Obr. 7) Příčný řez kmenem stromu	str. 32
Obr. 8) Vlákna juty	str. 35
Obr. 9) Stébla slámy	str. 36
Obr. 10) Konopné pazdeří	str. 37
Obr. 11) Prach a pazdeří	str. 38
Obr. 12) Pěnové sklo	str. 39
Obr. 13) Separát z pneumatik	str. 40
Obr. 14) Minerální vlna	str. 41
Obr. 15) Syntetická vlákna	str. 42
Obr. 16) Schéma užitých materiálů	str. 44
Obr. 17) Schéma provedených zkoušek	str. 45

Obr. 18) Forma pro výrobu cementotřískových desek	str. 52
Obr. 19) Povrch desek se 100 % jutových vláken	str. 58
Obr. 20) Povrch desek s 50 % jutových vláken	str. 58
Obr. 21) Povrch desek se 100 % konopného pazdeří	str. 59
Obr. 22) Povrch desek s 50 % konopného pazdeří	str. 59
Obr. 23) Povrch desky se 100 % minerálních vláken	str. 59
Obr. 24) Povrch desky se 75 % minerálních vláken	str. 59
Obr. 25) Povrch desky s 50 % minerálních vláken	str. 59
Obr. 26) Povrch desky s 25 % minerálních vláken	str. 59
Obr. 27) Povrch desek se 100 % pěnového skla	str. 60
Obr. 28) Povrch desek z pěnového skla	str. 60
Obr. 29) Povrch desek ze separátu	str. 60
Obr. 30) Povrch desek ze separátu	str. 60
Obr. 31) Povrch desky ze slámy	str. 61
Obr. 32) Povrch desky se 100 % a 50 % syntetických vláken	str. 61
Obr. 33) Povrch desky se 100 % a 50 % syntetických vláken	str. 61
Obr. 34) Lom tělesa z juty	str. 73
Obr. 35) Lom tělesa z juty a třísek	str. 73
Obr. 36) Lom tělesa ze syntetických vláken	str. 73
Obr. 37) Lom tělesa s 50 % syntetických vláken	str. 74
Obr. 38) Lom tělesa ze slámy	str. 74
Obr. 39) Lom tělesa s prachem s pazdeřím	str. 74
Obr. 40) Lom tělesa z pěnového skla	str. 75
Obr. 41) Lom tělesa pěnového skla a třísek	str. 75
Obr. 42) Lom tělesa z konopí	str. 75
Obr. 43) Lom tělesa z konopí a třísek	str. 76
Obr. 44) Lom tělesa se 100 % vláken minerální vlny	str. 76
Obr. 45) Lom tělesa se 75 % vláken minerální vlny	str. 76
Obr. 46) Lom tělesa s 50 % vláken minerální vlny	str. 77
Obr. 47) Lom tělesa s 25 % vláken minerální vlny	str. 77
Obr. 48) Struktura podélného lomu tělesa z juty	str. 77
Obr. 49) Struktura podélného lomu tělesa z juty a třísek	str. 78
Obr. 50) Struktura podélného lomu tělesa se syntetickými vlákny	str. 78
Obr. 51) Struktura podélného lomu tělesa ze slámy	str. 78

Obr. 52) Struktura podélného lomu tělesa s 50 % prachu a pazdeří	str. 79
Obr. 53) Struktura podélného lomu tělesa z pěnového skla	str. 79
Obr. 54) Struktura podélného lomu tělesa z pěnového skla a třísek	str. 79
Obr. 55) Struktura podélného lomu tělesa z konopí	str. 80
Obr. 56) Struktura podélného lomu tělesa se 100 % minerálních vláken	str. 80
Obr. 57) Struktura podélného lomu tělesa se 75 % minerálních vláken	str. 80
Obr. 58) Struktura podélného lomu tělesa s 50 % minerálních vláken	str. 81
Obr. 59) Struktura podélného lomu tělesa se 25 % minerálních vláken	str. 81

8. Seznam tabulek

Tabulka 1) Hlavní složky slínku	str. 28
Tabulka 2) Složení normové malty	str. 48
Tabulka 3) Původní receptura CETRIS	str. 50
Tabulka 4) Dávkování surovin pro výrobu desky	str. 51
Tabulka 5) Dávkování alternativních materiálů	str. 51
Tabulka 6) Výsledky zkoušek na alternativních plnivech	str. 55
Tabulka 7) Sítový rozbor pěnového skla	str. 55
Tabulka 8) Fyzikální vlastnosti cementu	str. 56
Tabulka 9) Mechanické vlastnosti cementu – vliv výluhu	str. 57
Tabulka 10) Fyzikálně mechanické vlastnosti zkušebních receptur	str. 70

9. Seznam grafů

Graf 1 – Křivka zrnitosti pěnového skla	str. 56
Graf 2 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu (juta)	str. 62
Graf 3 – Zatěžovací křivka v oblasti pružné deformace (juta)	str. 62
Graf 4 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu (syntetická vlákna)	str. 63
Graf 5 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace (syntetická vlákna)	str. 63
Graf 6 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu (sláma)	str. 64
Graf 7 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace (sláma)	str. 64
Graf 8 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu (prach+pazdeří)	str. 65
Graf 9 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace (prach+pazdeří)	str. 65

Graf 10 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu (pěnové sklo)	str. 66
Graf 11 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace (pěnové sklo)	str. 66
Graf 12 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu (konopí)	str. 67
Graf 13 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace (konopí)	str. 67
Graf 14 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu (separát)	str. 68
Graf 15 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace (separát)	str. 68
Graf 16 – Průběh zkoušky pevnosti v ohybu (minerální vlna)	str. 69
Graf 17 – Zatěžovací křivky v oblasti pružné deformace (minerální vlna)	str. 69
Graf 18 – Porovnání objemových hmotností	str. 70
Graf 19 – Porovnání pevností v ohybu zkušebních těles	str. 71
Graf 20 – Porovnání pevnosti v tahu kolmo na rovinu desky	str. 71

10. Seznam zkratk a použitých symbolů

λ – součinitel tepelné vodivosti

ρ – objemová hmotnost

V – objem

m – hmotnost

n_h – nasákavost

S – měrný povrch

K – konstanta

t – doba poklesu kapaliny / tloušťka

R_f – pevnost v tahu za ohybu

b, h – rozměry

F – zatížení

l – vzdálenost podpor

R_c – pevnost v tlaku

F_c – působící síla

A – zatěžovací plocha

$F_{\max}$ – maximální zatížení

$f_{1\perp}$ – pevnost v tahu kolmo na rovinu desky