

WPC kompozity na bázi PVC

Bc. Libor Jež

Diplomová práce
2017/2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Libor Jež**
Osobní číslo: **T14326**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Inženýrství polymerů**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **WPC kompozity na bázi PVC**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracování literární rešerše týkající se daného tématu.
2. Příprava vzorků WPC materiálů.
3. Hodnocení a testování WPC kompozitů.
4. Vyhodnocení získaných výsledků.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Anatole A., Klyosov. Wood-Plastic Composites. 2007: John Wiley & Sons, Inc., p.702, ISBN: 978-0-470-14891-4.

2. Jin Kuk Kim, Kaushik Pal. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites. 2010, Springer Science & Business Media, p. 176, ISBN: 3642148778, 9783642148774.

3. Wood-Plastic Composites Conference, Vienna, 2014.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Alena Kalendová, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

16. května 2018

Ve Zlíně dne 1. března 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



doc. Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 17.5.2018

.....


¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Hlavním cílem diplomové práce je připravit a charakterizovat materiál WPC. Pro daný výzkum byla zvolena směs PVC, dřevní hmota a modifikátor. Bylo namícháno 25 vzorků směsi, které se lišily v množství a zrnitosti přidané dřevní hmoty a v množství přidaného modifikátoru. Následně byly tyto směsi zpracovány na dvou rozdílných kompaudačních zařízeních pro výrobu WPC. Dále byla zkoumána odolnost materiálů vyrobených z těchto směsí ve vztahu k vybraným typům plísní.

Klíčová slova: WPC, kompaudace směsí WPC, PVC, dřevní hmota, modifikátor, biodegradace, plísně.

ABSTRACT

The main purpose of the diploma thesis is preparation and characterization WPC materials. The mixture of PVC, wooden mass and modifier were selected for the research. There were twenty five samples of the mixture mixed. The mixtures differed in the quantity, grain and the quantity of the added modifier. The mixtures were prepared on the two different compounding devices for WPC production. The endurance of the produced materials in the relationship to the selected mold was the matter of the research as well.

Key words: WPC, WPC mixture compounding, PVC, wooden mass, modifier, biodegradation, mold.

Chtěl bych poděkovat paní Ing. Alena Kalendová, Ph.D., za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Děkuji také Ing. Davidu Hausnerovi za pomoc a rady při výzkumu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronicky nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I. TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPOZITY DŘEVO-PLAST (WPC)	12
1.1 POLYVINYLCHLORID (PVC).....	13
1.2 DŘEVO	15
1.2.1 Celulóza.....	15
1.2.2 Hemicelulózy	16
1.2.3 Lignin	16
1.2.4 Doprovodné (akcesorické) složky dřeva	17
1.3 PLNIVA A ADITIVA PRO WPC	18
1.3.1 Minerální plniva pro WPC	18
1.3.2 Aditiva a stabilizátory pro PVC (WPC).....	18
1.3.2.1 Kompaktibilizátory	18
1.3.2.2 Termooxidační stabilizátory	19
1.3.2.3 Modifikátory toku	19
1.3.2.4 Modifikátory rázové houževnatosti	20
2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI WPC	21
2.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI WPC VE SROVNÁNÍ SE DŘEVEM (SMRK).....	21
2.2 NASÁKAVOST	24
2.2.1 Mechanické vlastnosti WPC v závislosti na procentuální vlhkosti materiálu.....	25
2.2.2 Kondicionování	27
3 BIODEGRADACE	28
3.1 VLÁKNITÉ MIKROSKOPICKÉ HOUBY (PLÍSNĚ)	29
3.1.1 Morfologie plísní.....	29
3.1.2 Vybrané typy mikroskopických vláknitých plísní	29
3.1.2.1 Aspergillus niger, Aspergillus oryzae.....	29
3.1.2.2 Paecilomyces variotii	30
3.1.2.3 Penicillium funiculosum	31
3.1.2.4 Gliocladium virens.....	32
4 ZPRACOVÁNÍ DŘEVO – PLASTOVÉHO KOMPOZITU	33
4.1 DVOUŠNEKOVÝ EXTRUDER	33
4.2 PLANETÁRNÍ EXTRUDER	34
II. PRAKTICKÁ ČÁST	36
5 PŘÍPRAVA VZORKŮ	37
5.1 POUŽITÝ MATERIÁL.....	37
5.2 SLOŽENÍ SMĚSÍ	39
5.3 PŘÍPRAVA SMĚSÍ.....	41
5.3.1 Kompaudace v planetárním extruderu	42
5.3.2 Kompaudace v dvoušnekovém extruderu	43
5.3.3 Výroba zkušebních tělísek	44

6	METODY HODNOCENÍ WPC SMĚSÍ	45
6.1	TAHOVÉ ZKOUŠKY	45
6.2	STANOVENÍ RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI METODOU CHARPY	46
6.3	STANOVENÍ NASÁKAVOSTI	48
6.4	STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI PLÍSNÍM	48
6.5	SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE	49
7	VÝSLEDKY A DISKUZE	50
7.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	50
7.2	RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST (CHARPY)	56
7.3	NASÁKAVOST WPC	59
7.4	POSOUZENÍ ODOLNOSTI WPC PROTI PLÍSNÍM	62
7.5	SEM WPC MATERIÁLŮ	66
	ZÁVĚR	69

ÚVOD

Je neoddiskutovatelným faktem, že moderní život je těžké si představit bez plastů. Již v roce 1950 se vyrobilo a spotřebovalo 1,5 milionů tun plastů. Tato spotřeba rok od roku stoupá. Současná celosvětová spotřeba plastů je 300 milionů tun za rok. Z tohoto množství je 20 % plastů spotřebováno ve stavebnictví, kde jsou používány jako fólie, desky, trubky a různé profily a postupně nahrazují méně odolné materiály.

Současná společnost klade vysoké nároky na vlastnosti těchto plastů. Mezi tyto vlastnosti patří především ekologičnost, což je v případě WPC splněno volbou přírodního plniva, dobré mechanické vlastnosti, odolnost proti vnějším vlivům, zdravotní nezávadnost a další.

Novou aplikační sférou v oblasti výroby a použití plastů jsou kompozity s přídavkem dřevní složky (WPC). Jedná se v podstatě o kompromisní řešení, kdy nežádoucí vlastnosti dřeva jsou zmírněny a zároveň se snižuje cena a ekologická zátěž, kterou s sebou nesou některé plastové materiály.

Tento moderní kompozitní materiál složený z dřevní hmoty, polymeru a přidaných látek umožňuje využití odpadních dřevních surovin bez ohledu na jejich kvalitu. Zároveň vykazuje výrazně lepší parametry v oblasti biodegradace, tvarové stálosti, zdravotní nezávadnosti a v mechanických či estetických vlastnostech. Nezanedbatelný je také jejich přínos v oblasti ochrany životního prostředí. Jedná se o částečně přírodně obnovitelný materiál.

Cílem předložení diplomové práce bylo připravit a charakterizovat kompozit PVC/dřevní hmota. Dalším testovaným aditivem byl modifikátor rázové houževnatosti. Takto připravené materiály byly testovány z hlediska mechanických vlastností a také byla hodnocena odolnost vůči vybraným typům plísní.

I. TEORETICKÁ ČÁST

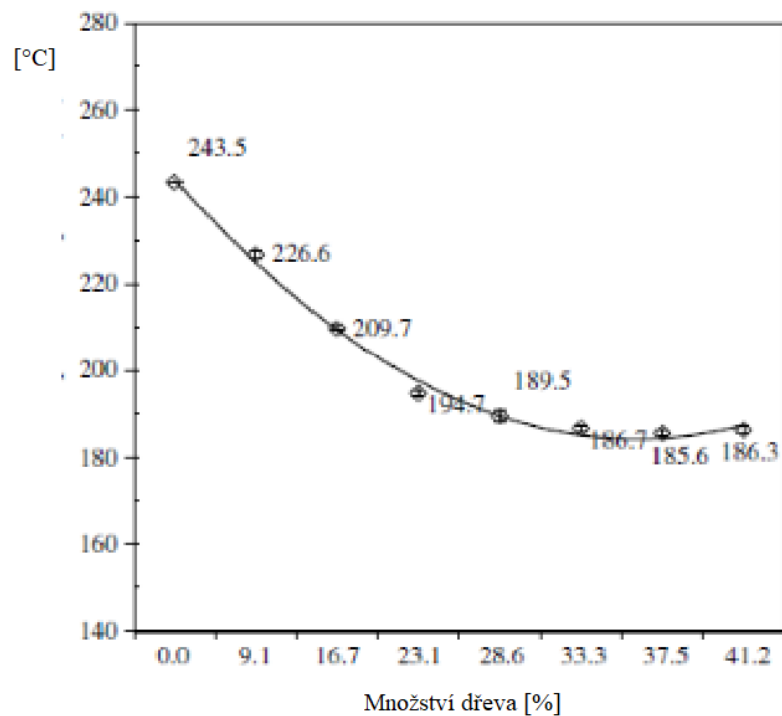
1 KOMPOZITY DŘEVO-PLAST (WPC)

Dřevo-plastový kompozit, označovaný také zkratkou WPC je materiál skládající se ze dvou a více složek. Základní složkou je polymer, kterým může být termoset (po vytvrzení nemůže být znovu roztaven) nebo termoplast (může být roztaven a zpracován opakovaně). Druhou složkou jsou různé formy dřeva. Dalšími složkami pak mohou být plniva, která dále modifikují vlastnosti dle požadavků výrobce. Jejich úkolem je zlepšit proces zpracování a vlastnosti koncového produktu. Patří mezi ně minerály, modifikátory, maziva, tepelné stabilizátory, UV stabilizátory, barviva, retardéry hoření a biocidy.

Dřevní složka požívaná ve WPC směsích může být v různých formách (dřevěná moučka, krátká a dlouhá vlákna nebo celulózová vlákna), a jejich volba má přímý vliv na vlastnosti WPC. Např. používáním dřevní moučky získáme poměrně vysokou objemovou hustotu na úkor mechanických vlastností. Je relativně levná, dostupná, směs se snadno zpracovává, proto je také lákavá pro výrobce. Použitím dřevěných vláken místo moučky získáme lepší mechanické vlastnosti směsi (pevnost, protažení a odolnost proti nárazu), musí se ale brát v úvahu, že směs WPC se obtížněji zpracovává při kompaudaci z důvodů nízké objemové hustoty.

Největším omezením při zpracování WPC je samotná teplota zpracování, protože tepelná stabilita dřeva je omezená. Obecně platí, že WPC směsi lze zpracovávat při teplotách do 220°C, přičemž platí, že tato teplota klesá s vyšším obsahem dřevěné složky. Viz. Graf 1. Jako nejběžnější termoplast se proto při výrobě WPC používá polyvinylchlorid (PVC), dále pak také polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS) a kopolymer akrylonitril-butadien-styren (ABS).

[1]

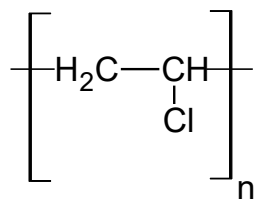


Graf 1 Teplota rozkladu WPC materiálu. [2]

Jednou z hlavních nevýhod polymerů plněných rostlinnými vlákny je špatná kompatibilita mezi polymerní maticí a vlákny, což vede k nerovnoměrné disperzi, a tudíž ke špatným mechanickým vlastnostem WPC. Polymery a dřevo se chovají jako olej a voda (nechtějí se míchat). Je to dáno polaritou. Většina polymerů, zejména termoplastů, jsou hydrofobní (vodu odpuzující) látky, které nejsou kompatibilní s hydrofilními (vodu absorbujícími) dřevěnými vlákny. Tím vzniká špatná přilnavost mezi polymerem a vlákny ve WPC. [3]

1.1 POLYVINYLCHLORID (PVC)

Polyvinylchlorid patří k nejpoužívanějším termoplastickým polymerům. Jeho výroba začala v roce 1935, vyrábí se polymerací vinylchlorid monomeru. (viz. Obr. 1). Jeho struktura je mírně větvená, amorfní, s malým podílem krystality. Bod varu má $-13,9^{\circ}\text{C}$. Je karcinogenní. Polymerace je radikálová, iniciátorem je redoxní systém nebo organické peroxidy.



Obrázek 1. Strukturální vzorec PVC [4]

PVC se vyrábí emulzní, suspenzní nebo blokovou polymerací. Emulzní polymerace probíhá v autoklávu s chlazením a výsledný produkt obsahuje nejvíce nečistot. Touto cestou se vyrábí asi 10-15% z celkové produkce. PVC vyrobené procesem suspenzní polymerace obsahuje méně nečistot než PVC vyrobené emulzně. Tímto procesem se vyrábí 75 - 80% produkce. Poslední typ výroby, bloková polymerace, zajistí ve výsledku nejčistší polymer. Touto cestou je vyrobeno asi 10% celkové produkce.

Na základě mechanických a chemických vlastností pak rozlišujeme dva základní typy PVC. První - Tvrdý typ s K hodnotou od 55 do 65 má velmi dobrou chemickou odolnost, nízkou propustnost materiálu a dobré elektroizolační vlastnosti. Při hoření je samozhášivý. Je však tepelně málo stabilní. Mechanické vlastnosti vyjadřují hodnoty $h = 1,36$, $E = 2.500 \text{ MPa}$, $\sigma_p = 35 \text{ MPa}$, $\varepsilon_p \sim 20$. Při zpracování probíhá v prvním kroku vždy plastikace (likvidace primárních struktur ohřevem a mechanickým smykem). Plastikace probíhá buď válčováním při $160 - 175 \text{ }^\circ\text{C}$, nebo vytlačováním při $180 - 205 \text{ }^\circ\text{C}$. V dalším kroku se vzniklé fólie lisují na desky při $160 - 180 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $3,5 - 6 \text{ MPa}$. Z takto připraveného polotovaru se následně různými procesy vyrábějí finální výrobky (tvarování folií a desek nad $85 \text{ }^\circ\text{C}$, svařování při $200 - 280 \text{ }^\circ\text{C}$, vyfukování lahví, ojediněle přetlačování). [4]

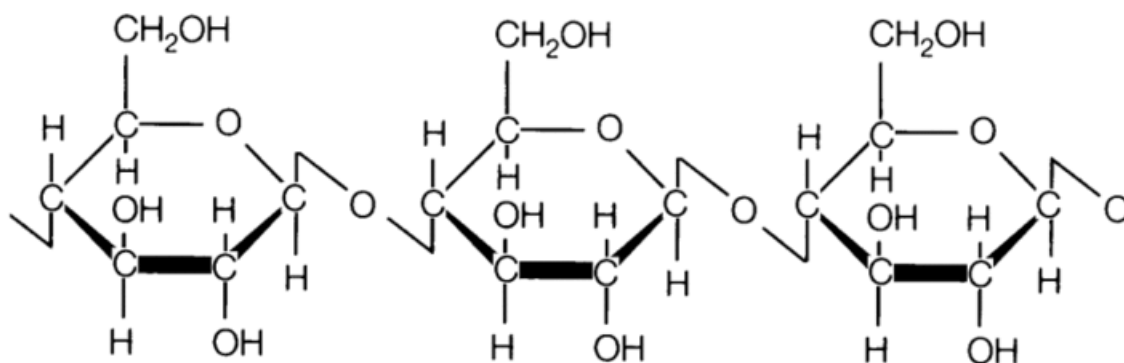
Druhý - Měkčený typ s hodnotou K od 65 do 80, má mechanické vlastnosti závislé na stupni měkčení. Může obsahovat 30 až 70 hmotnostních dílů změkčovačů na 100 dílů PVC. Měkčení se provádí v závislosti na dalším použití PVC. U měkčeného typu při zpracování probíhá v prvním kroku želatinace za teplot 160 až $180 \text{ }^\circ\text{C}$, kdy polymer homogenizuje se změkčovadlem = přechod sol - gel (s likvidací primárních struktur). Vznikne emulzní pasta PVC, která se dále zpracovává máčením, odléváním a natíráním. [4] [5]

1.2 Dřevo

Dřevo je velmi složitý komplex různých látek, z nichž základ tvoří přírodní polymery celulóza, hemicelulóza a lignin. Tyto látky jsou zastoupeny v dřevním komplexu 90-97 %. Základní sacharidická část (celulóza, hemicelulóza) tvoří asi 70 %, dalších 20-27% je lignin. Zbýlých 3-10 % doplňují doprovodné (akcesorické) složky dřeva. [6]

1.2.1 Celulóza

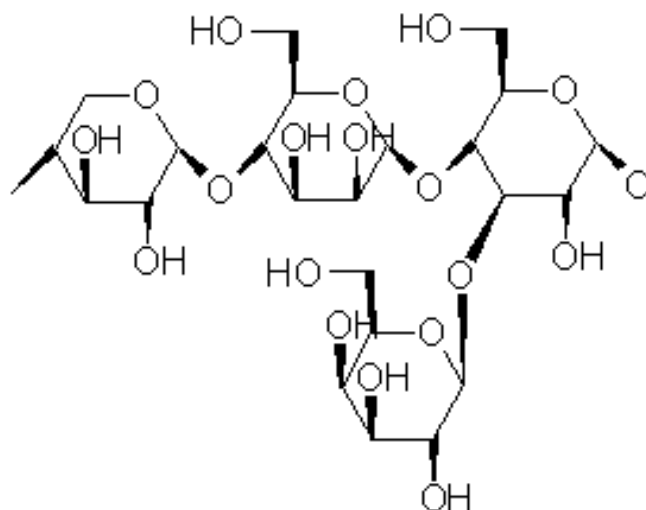
Obsah celulózy ve dřevě jehličnanů se pohybuje mezi 48-56 %, ve dřevní hmotě listnatých stromů mezi 45-48 %. Čistá celulóza tvoří vláknité makromolekuly, které vznikají spojením zbytku D-glukózy glykosidickými vazbami. Délka řetězců značně kolísá, může se pohybovat od stupně polymerizace 500 až do stupně 15 000. Nadmolekulová struktura celulózy je příčná anizotropie. Ta způsobuje anizotropii fyzikálních a mechanických vlastností dřeva jako celku a podstatnou měrou ovlivňuje absorpci vody do dřeva. Voda vnikající do buněčných stěn anatomických elementů dřeva se absorbuje především na volné OH⁻ skupiny v amorfních oblastech celulózy a na povrchu jejích krystalů. Podíl krystalické a amorfni části celulózy určuje mj. míru bobtnání a pružnost, případně ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. [6]



Obrázek 2. Strukturální vzorec Celulózy [7]

1.2.2 Hemicelulózy

Kromě celulózy se ve dřevě vyskytuje řada dalších polysacharidů, které se souborně nazývají hemicelulózy. Dřevo jich obsahuje v průměru asi 15-35 %, přičemž vyšší zastoupení mají ve dřevě listnatých stromů. Hemicelulózy se liší od celulózy zejména svým složením (kromě D-glukózy obsahují jako stavební jednotky různé monosacharidy např. D-xylózu, D-galattózu, L-arabinózu, uronové kyseliny), nižším stupněm polymerizace, která způsobuje nižší relativní molekulovou hmotnost, a nízkým podílem krystalických částí. Hemicelulózy jsou tedy v podstatě lineární polysacharidy s polymerizačním stupněm 100-200 a s krátkými postranními řetězci. Tvoří tmelící vrstvu mezi makromolekulami celulóзовých řetězců. Chemicky je hemicelulóza méně stálá než celulóza. [6]



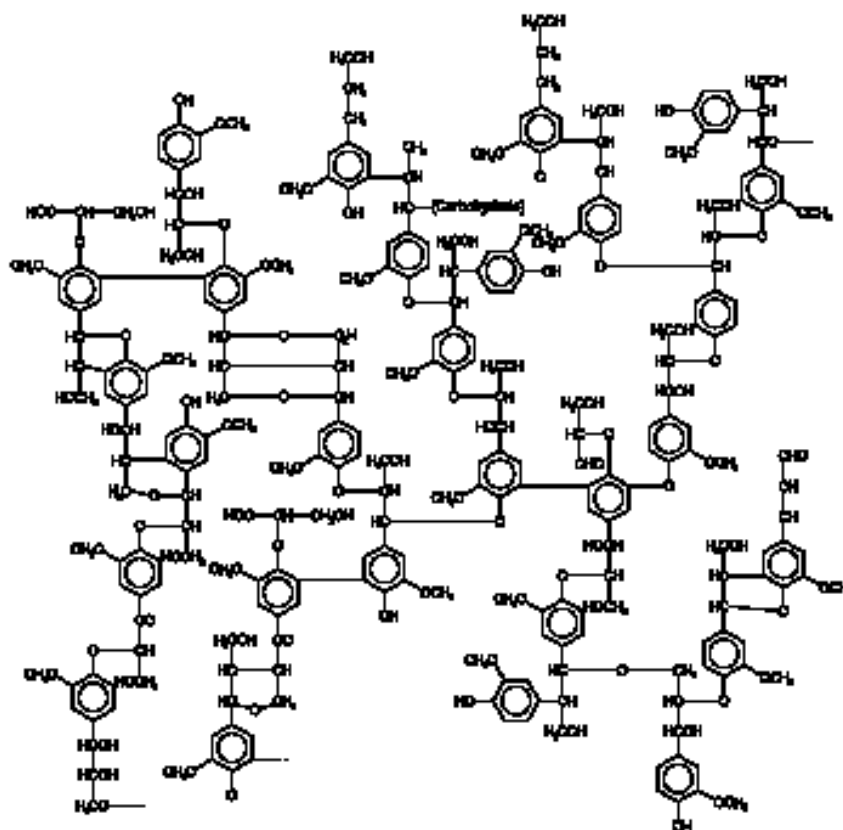
Obrázek 3. Strukturální vzorce Hemicelulózy

(Xylosa - β(1,4) manosa - β(1,4) glukosa - α (1,3) galaktosa [8])

1.2.3 Lignin

Lignin je vedle celulózy nejdůležitějším polymerem dřeva. Jehličnany ho obsahují 25-30 %, u listnatých stromů je to 15-30 %. Je dokázáno, že struktura ligninu se liší nejen v závislosti na druhu stromu, ale jeho obsah kolísá také v různých částech kmene a větví, přičemž větší zastoupení je v kůře než ve dřevě samotném. Lignin dodává dřevu pevnost, protože obaluje polysacharidy buněčnou stěnou, se kterou je do určité míry spojen chemickými vazbami a tvoří s ní

lignopolysacharidové komplexy. Po stránce chemické nebyl doposud přesně definován. Jde o makromolekulární látku aromatické povahy. Některými autory je označován jako statistický polymer hydroxyfenylpropanových jednotek, různě substituovaných, spojených éterovými vazbami. [9]



Obrázek 4. Strukturální vzorec Ligninu [9]

1.2.4 Doprovodné (akcesorické) složky dřeva

Doprovodné složky ve dřevě tvoří 3-10 %. Jedná se o anorganické minerální sloučeniny a organické monomery a polymery. Akcesorické složky se v rostlinách vyskytují v malém množství, zato ve velkém počtu (min. 50 různých druhů). Na rozdíl od hlavních složek jsou většinou rozpustné v rozpouštědlech a extrakcí je možno poměrně snadno je oddělit. Nejčastěji se jedná o sacharidy, fenolické látky, terpeny a terpenoidy, acyklické kyseliny, alkoholy a bílkoviny. [10]

1.3 Plniva a aditiva pro WPC

1.3.1 Minerální plniva pro WPC

Minerální látky jsou často používanou surovinou v plastikářském průmyslu. Téměř 15 % všech vyrobených plastů obsahuje plnidla, která nahrazují polymer a tím snižují cenu receptury, zvyšují tuhost a nehořlavost konečných výrobků. Tato plnidla mohou být organického, anorganického původu, nebo jsou složena z více druhů látek.

Asi 65 % celkové spotřeby minerálních plniv do plastů tvoří CaCO_3 (ročně asi 6 mil. tun). Pro svou variabilitu a cenu se používá jako plnivo v plastech pro různá použití. Tyto jeho vlastnosti se projeví následně např. snížením ceny výrobku, zvýšením hmotnosti, zlepšením odolnosti proti opotřebení a v kvalitě vybarvení výrobku. [11]

V diplomové práci je použit jako minerální plnivo CaCO_3 právě pro své výše uvedené vlastnosti (snížení ceny výrobku, zvýšení hmotnosti, zlepšení odolnosti proti opotřebení). Uhličitan vápenatý se ve WPC používá také pro snížení koeficientu tečení, zvýšení ohybového modulu, kdy se při plnění 12-32 % CaCO_3 sníží odolnost proti nárazu přibližně o 25 %, a energii potřebnou ke zlomení zvyšuje o 30 %. [12]

1.3.2 Aditiva a stabilizátory pro PVC (WPC)

Jedná se o činidla, která např. zvyšují přilnavost mezi vlákny celulózy a polymerem, zvyšují termo-oxidační stabilitu směsi při zpracování, zlepšují užité vlastnosti konečného produktu z pohledu jeho stálosti, životnosti atd.

1.3.2.1 *Kompaktibilizátory*

Kompaktibilizátory představují speciální aditiva, jejichž funkce spočívá ve zlepšení adheze na mezifázovém rozhraní polymer-plnivo. Vytvářejí chemické spojení s vlákny celulózy a zvyšují tím přilnavost polymeru k plnivu. V tomto případě ke dřevní hmotě. Ideální kompaktibilizátor by měl obsahovat dvě části. První by měla být schopná reagovat s polymerem a má hydrofobní povahu blízkou použitému polymeru. Druhá by měla být přitahována k hydrofilnímu plnivu. [4]

Pomocí takového modifikátoru (kompatibilizátoru) lze pak propojit dva zdánlivě nemísitelné systémy a snížit mezifázové napětí mezi plnivem a polymerem.

Pro zvýšení kompatibility systému WPC na bázi PVC polymerní matrice se nejčastěji používá jako kompatibilizátor tolluendiisokyanatan, který se sloučí s PVC a vzniklé aktivní isokyanátové skupiny zřejmě reagují s hydroxylovými skupinami obsaženými ve vláknu celulózy, což způsobuje vyšší přilnavost pro vlákna celulózy. [12]

1.3.2.2 Termooxidační stabilizátory

Úkolem tepelných stabilizátorů je zpomalit degradační procesy a zlepšit odolnost polymerů vůči zvýšeným teplotám, které se používají při jejich zpracování. Tepelné stabilizátory lze rozdělit do dvou základních tříd:

1. Stabilizátory založená na solích anorganických a organických kyselin obsahující kationty Pb, Sr, Zn, Mg, Li, Ca, Na a velká skupina tzv. organocínicích stabilizátorů.
2. Stabilizátory organické kam patří např. epoxidové sloučeniny, organické fosfity, stabilizátory na základě močoviny a jejich derivátů a esterů kyseliny β -aminokrotonové.

Jako termo-oxidační stabilizátory v PVC se v současné době používají již jen typy netoxické – tedy na bázi Ca-Zn nebo typy organické. Při nahrazování původní olovnatých stabilizátorů docházelo k technickým obtížím ve výrobě, ale tento problém je dnes už téměř vyřešen díky vývoji nových stabilizátorů s komplikovanější strukturou. Nevýhodou je však vyšší cena.

1.3.2.3 Modifikátory toku

V principu je účinek modifikátorů toku pro PVC založen na tom, že maziva zabraňují lepení zpracovávané směsi na kovové součásti zpracovatelského zařízení vytvořením mazivové mezivrstvy. Současně pomáhají snižovat viskozitu taveniny, a tím (hlavně u WPC směsí) nadměrnou frikci, přehřívání a následnou případnou degradaci. V neposlední řadě také vyhlazují a zcelistvují povrch vytlačovaných produktů. Většinou se jedná o mikronizované, emulgované a dispergované vosky a jejich směsi.

1.3.2.4 Modifikátory rázové houževnatosti

Tyto modifikátory jsou téměř nedílnou součástí formulací pro tvrdé typy PVC, tedy i pro směsi WPC určené k extruzi. V současné době se používají modifikátory akrylátové nebo modifikátory na bázi chlorovaného polyetyleny (CPE). V praktické části DP byla použita kombinace obou těchto účinných látek. [13]

2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI WPC

Dřevo se jako materiál pro další použití vyznačuje vysokou biodegradací a ztrátou svých mechanických vlastností. Pokud dřevo není dále ošetřeno, projevuje se u něj náchylnost k hnilobě a plísním, ke změnám barevnosti, sesychání a kroucení. Mimo jiné i z těchto zmíněných důvodů se hledala plnohodnotná náhrada tohoto přírodního materiálu. Mezi dnes používané náhrady patří v dnešní době i WPC.

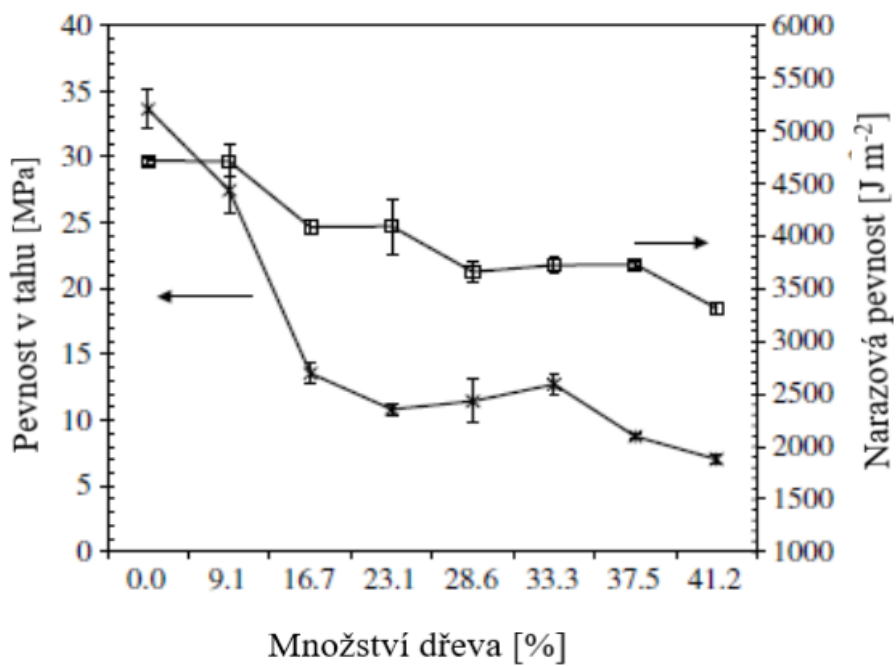
WPC je recyklovatelný materiál, který má dlouhou životnost s minimálními požadavky na údržbu. Tento materiál vzniká spojením termoplastu a dřevní hmoty; jak bylo už řečeno výše; čímž dochází k eliminaci negativních vlastností dřeva.

Mechanické a fyzikální vlastnosti WPC závisí na různých faktorech, jako je poměr objemu a velikosti vláken (zvyšující se množství dřevní složky má vliv na tepelné, mechanické a dielektrické vlastnosti), orientace vláken, velikost disperze, adheze polymerů a vláken, doba míchání a teplota zpracování. [2]

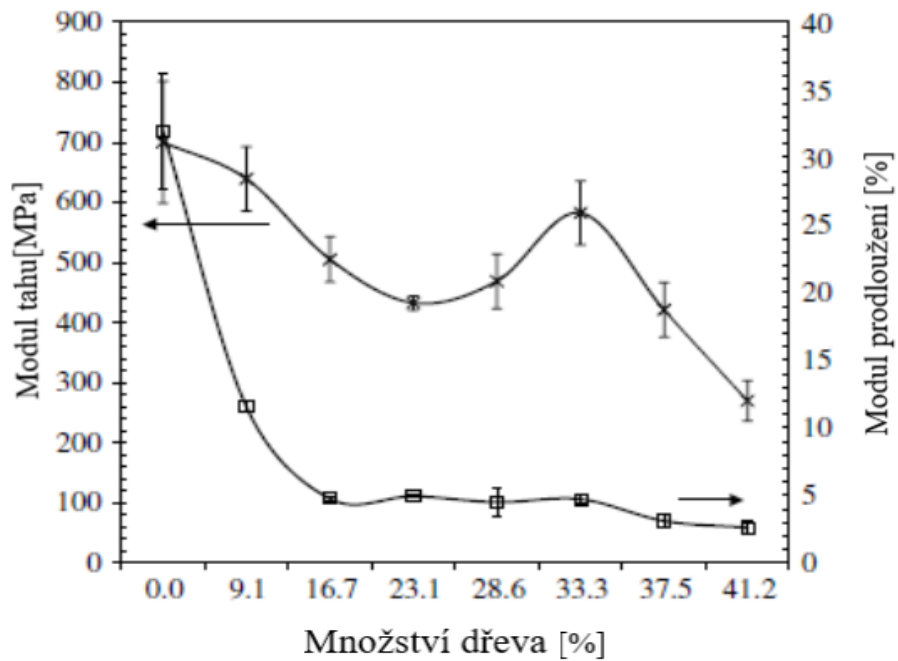
Samotný kompozit je také z velké části stále ovlivňován vlastnostmi termoplastické matrice, která rovněž podléhá degradujícím atmosférickým vlivům. Částečnou nevýhodou WPC jsou změny v barevnosti, kdy po několika týdnech se však na rozdíl od dřeva barva stabilizuje, a vyšší pořizovací náklady. Vzhledem k ceně údržby dřeva se však ve finále investice do WPC vrátí. [14]

2.1 Mechanické vlastnosti WPC ve srovnání se dřevem (smrk)

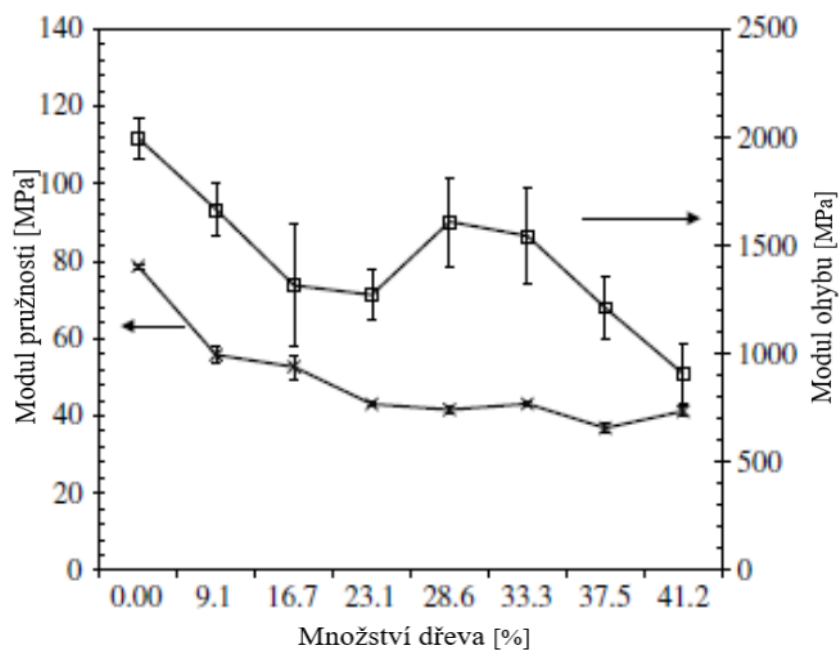
Z grafů č. (2,3,4,5) a tabulky (1) je zřejmé, že kompozit má vždy horší vlastnosti, pokud je dřevo namáháno ve směru vláken. Naopak lepší vlastnosti má v některých případech, kdy bylo dřevo namáháno kolmo na směr vláken. Výsledky namáhání dřeva v ohybu jsou vždy lepší než u kompozitu. [15]



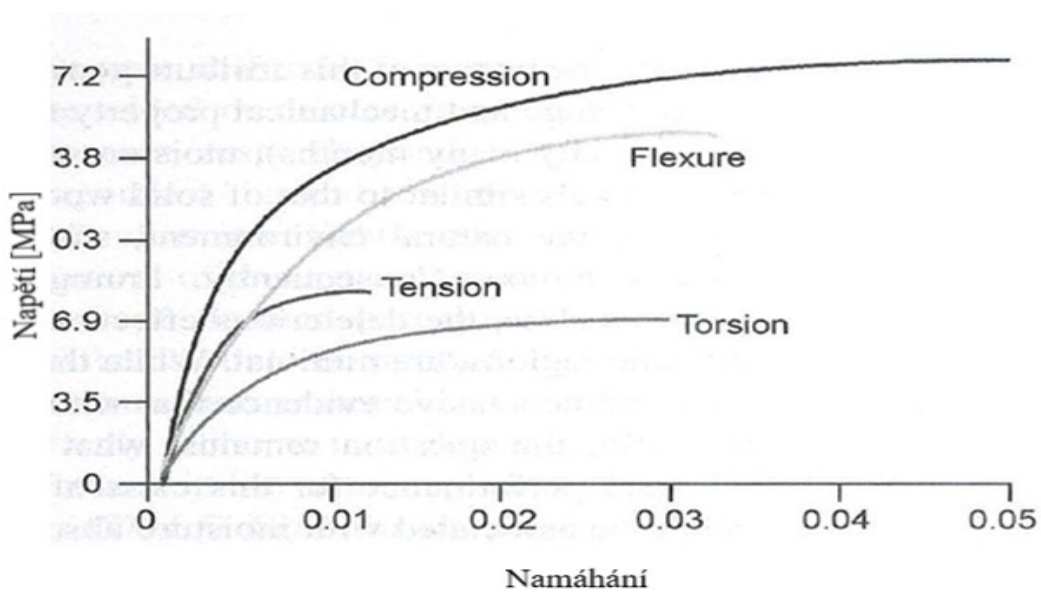
Graf. 2 Vliv obsahu dřevěných pilin na pevnost v tahu a nárazu [2]



Graf. 3 Vliv obsahu dřevěných pilin u modulu tahu a prodloužení [2]



Graf. 4 Vliv obsahu dřevěných pilin u modulu pružnosti a modulu ohybu [2]



Graf. 5 Mechanické vlastnosti WPC – závislost deformace na napětí: Compression – tlak, Flexure – ohyb, Tension – tah, Torsion – kroucení [14]

Tabulka 1. Mechanické vlastnosti dřeva smrk o vlhkosti 12 % [16]

Materiál	Namáhání	Pevnosti v tahu (MPa) ve směru vláken	Pevnosti v tahu (MPa) kolmo na vlákna
Smrk – vlhkost 12 %	Tlak	34,1	3,4
	Tah	74,4	2,2
	Ohyb	70,4	72

2.2 Nasákavost

Role nasákavosti WPC materiálu hraje důležitou roli v udržení jeho vlastností. Absorpce vody totiž může negativně tyto vlastnosti ovlivnit. Jedná se například o změny rozměrů (zvětšování) a prohnutí, protože materiály nasycené vodou snižují ohybový modul, a tím při vyšším zatížení zvyšují deformaci. Nasákavost také ovlivňuje vytvoření prostředí pro šíření plísní. Voda je totiž nezbytnou součástí pro mikrobiální život. Materiály, které mají vlhkost 19 % a nižší, nepodporují růst plísní. V neposlední řadě tato schopnost vede k rychlejší oxidaci (voda je katalyzátor oxidace).

Anorganická plniva (skleněná vlákna, kaolin, křemičitá moučka) ve většině případů nasákavost snižují, naopak organická plniva (celulosa) ji zvyšují.

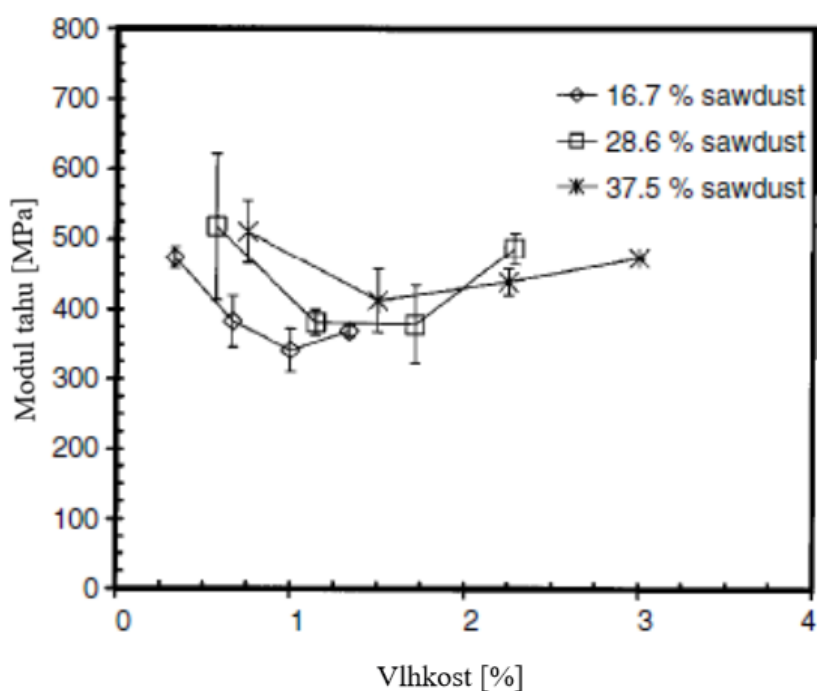
Jedním z důvodů absorpce vody je poréznost WPC materiálu. WPC směsi obsahují celulózu, která obsahuje vlhkost. Při zpracování směsí při vysokých teplotách dochází k přeměně vody v páru. Pára v tavenině vytvoří mikrobubliny, materiál tím napění a sníží svou hustotu na 0,91-0,95 g/cm³. Tato hustota ukazuje, že poréznost materiálu je mezi 16-21 %. WPC materiál ponořený do vody na 24 hodin absorbuje 0,7 - 3 hm. % vody. U dřeva je to až 24 hm. %. WPC materiál, který je ponořený do vody na mnohem delší dobu je schopen nasáknout 20-30 hm. % vody. Dřevo za stejnou dobu nasákne až 100 hm. %. Už při ponoření na 24 hodin je zřejmé, že nasákavost u WPC materiálů je výrazně nižší než u dřeva. [13] [17]

Dalším faktorem ovlivňujícím nasákavost WPC materiálů je míra odolnosti polymeru proti vodě jako fyzikálně aktivnímu prostředí. Polární polymery s hydrofilními skupinami

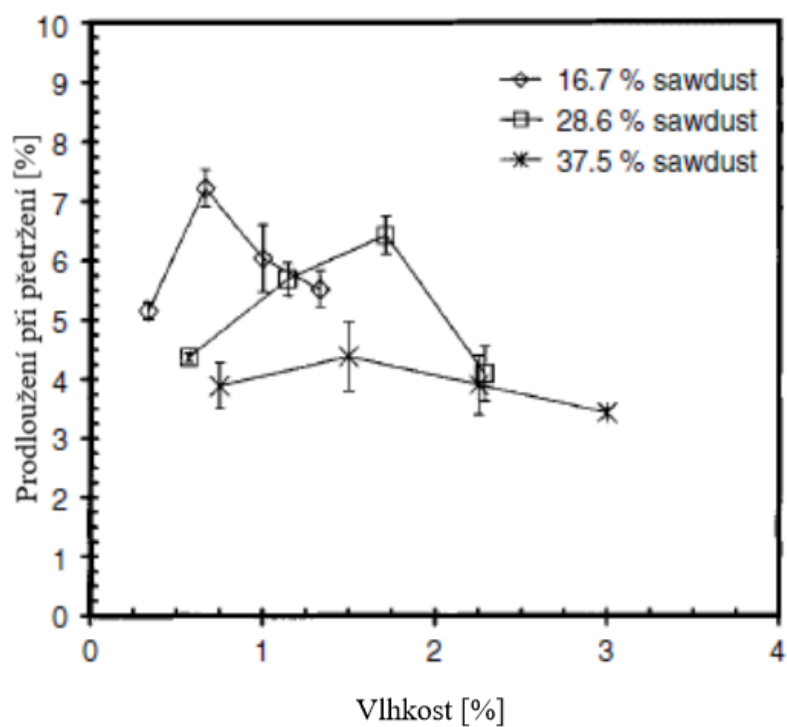
(-NH-CO-) (např. PA, PU) mají velkou sorpci vody, nepolární polymery (např. PE, PP, PS, PTFE, PVC) mají sorpci vody velmi nízkou. [17] [18]

2.2.1 Mechanické vlastnosti WPC v závislosti na procentuální vlhkosti materiálu

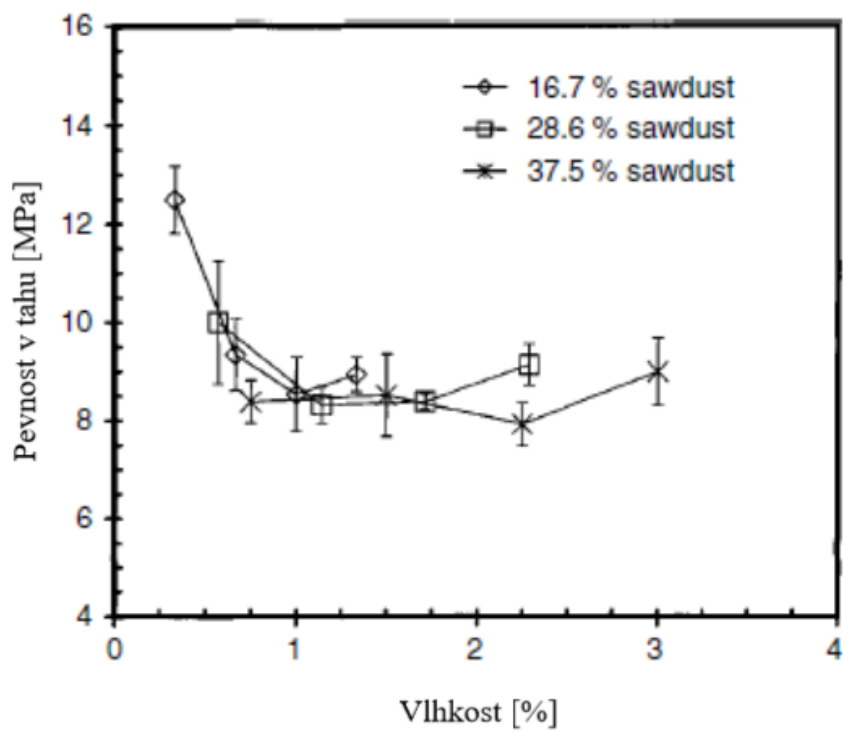
Mechanické vlastnosti dřeva i kompozitu jsou závislé na stupni vlhkosti. Voda ve WPC materiálech způsobuje vznik vodíkových vazeb mezi vodou a dřevěnými pilinami, snížení dipolových interakcí mezi polymerem a dřevěnými vlákny, a tím prokluz řetězců, zbobtnání dřevěných pilin, a tím vyplnění mezer kompozitu. Z grafu 1 až 4 je vidět, že s růstem vlhkosti mají mechanické vlastnosti klesavou tendenci. Mírný růst modulu pružnosti a pevnosti v tahu při vyšších vlhkostech je dán zbobtnáním vláken. Růst prodloužení a rázové pevnost při nižší vlhkosti je dán snížením dipolových interakcí mezi polymerem a dřevěnými vlákny. [19]



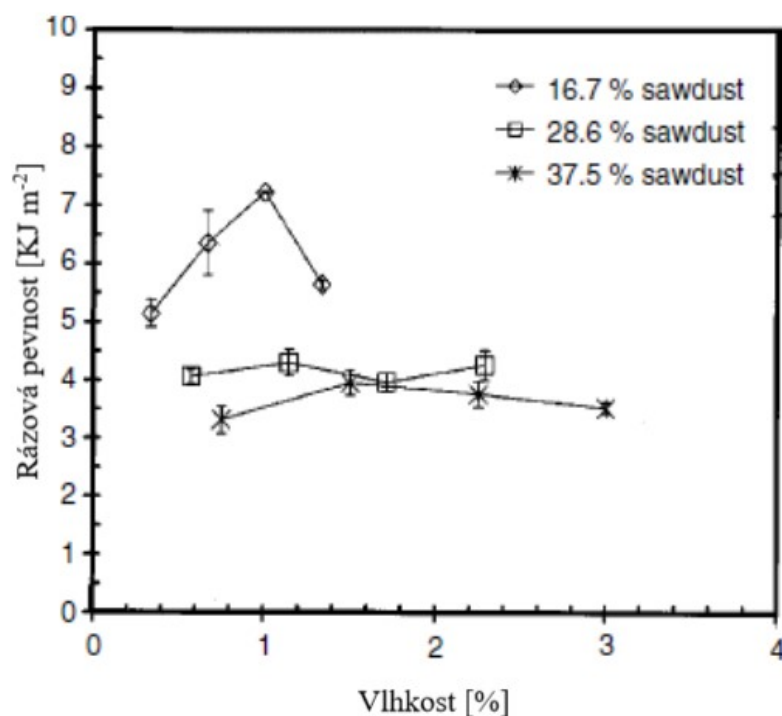
Graf. 6 Vliv vlhkosti na modul pružnosti v tahu Kompozity PVC / piliny [19]



Graf. 7 Vliv vlhkosti na prodloužení při přetržení Kompozity PVC / piliny [19]



Graf. 8 Vliv obsahu vlhkosti na pevnost v tahu kompozity PVC / piliny [19]



Graf. 9 Vliv vlhkosti na rázovou pevnost kompozity PVC / piliny [19]

2.2.2 Kondicionování

Sorpce vody probíhá do určitého rovnovážného stavu. Čím tenčí stěna, tím rychleji se rovnováha ustálí. Sorpce vody je vratný děj. Z plastového dílce s obsahem vody v suchém prostředí voda ubývá, opět až do dosažení rovnovážného stavu. Přijímáním vody se rozměry plastové součásti zvětšují zhruba o objem absorbované vody, ubýváním vody se rozměry opět zmenšují. Obsah vody ovlivňuje nejen rozměry, ale také mechanické vlastnosti. Sorpcí vody se snižuje pevnost, modul pružnosti, tvrdost a elektroizolační vlastnosti. Zvyšuje se tažnost a houževnatost. V některých případech může dojít k vyplavování změkčovadel nebo nízkomolekulárních podílů, pak ovšem nastávají nevratné změny. Protože výrobky z plastů mají po vylisování nulový obsah vody, je nutno provést jejich kondicionaci do rovnovážného stavu. Jinak jsou takové výrobky křehké a tvrdé. Pro urychlení kondicionace se proto někdy výrobky po vylisování ukládají krátkodobě do vody. [18] [20]

3 BIODEGRADACE

Biologický rozklad je speciálním případem degradace, kdy dochází k rozkladu působením biologických činitelů. Biodegradace je nechtěná změna vlastností materiálů zapříčiněná činností živých organismů.

Biodegradace u dřeva je velmi vysoká, což je jednou z příčin, proč jsou hledány náhradní materiály s vlastnostmi podobnými dřevu, u kterých jsou eliminovány negativní materiálové vlastnosti této suroviny.

U WPC jako jednoho z těchto náhradních materiálů se však také projevují některé z negativních vlastností dřeva. Jedná se hlavně o nežádoucí změnu barvy, což zapříčiňují především houby (plísňe) a mechanických vlastností, na čemž se podílejí kromě vlhkosti také houby (plísňe), hmyz a hlodavci. [21]

Houby (plísňe) jsou z hlediska četnosti výskytu jednou z nejčastějších příčin biodegradace WPC. Vedle biodegradace musíme jako negativní vlastnost hub (plísni) zařadit i to, že spóry plísni způsobují zdravotní riziko v prostředí, kde je WPC použito, i když nedochází k poškození samotného použitého materiálu. [22]



Obrázek 5. Porovnání výsledků přirozeného stárnutí WPC profilů bez/s aditivou – tedy vliv UV, tepla, vlhkosti a přirozeného prostředí včetně působení hub a plísni

3.1 Vlákňité mikroskopické houby (plísňě)

Vlákňité mikroskopické houby (mikromycety, plísňě) jsou vícebuněčné mikroorganismy, které jsou zařazeny do samostatné říše hub. [23]

3.1.1 Morfologie plísňí

Základní stavební jednotkou plísňí je stélka (thallus), kterou tvoří vlákna (hyfy). Ta mohou být jednobuněčná, nebo jsou rozdělena přepážkami (septy). Soubor hyf bývá označován jako podhoubí (mycelium), které může být dvojího typu. Vegetativní, které ukotvuje plísňě v substrátu, a generativní, které nese pohlavní struktury plísňí. Hyfy mohou vytvářet sklerocium, což je tvrdý polokulovitý útvar, většinou tmavé barvy, odolný vůči nepříznivým podmínkám. [24]

3.1.2 Vybrané typy mikroskopických vlákňitých plísňí

Nejčastěji napadají dřevo zástupci plísňí ze třídy Fungi imperfecti, především rody *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Paecilomyces* a další.

3.1.2.1 *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*

Tyto plísňě se vyskytují velmi hojně na celém světě. Nejčastěji v teplejších oblastech, a to na potravinách rostlinného nebo živočišného původu. Některé kmeny jsou toxinogenní. Vytváří rychle rostoucí kolonie. Tyto již po 7 dnech při 25 °C dosahují velikosti 40-60 mm v průměru. Jsou hrubě zrnité, hnědočerné a až černé (viz Obrázek 6) u druhu *Aspergillus niger*, bílé až světle hnědé (viz Obrázek 7) u druhu *Aspergillus oryzae*. Spodní strana kolonií je světle hnědá. Ideální teplota pro růst je 35-37 °C. Při teplotách pod 6-8 °C a nad 45-47 °C se růst zastavuje. [25] [26]



Obrázek 6. *Aspergillus niger* [27]



Obrázek 7. *Aspergillus oryzae* [28]

3.1.2.2 *Paecilomyces variotii*

Tento druh plísně se vyskytuje se velmi hojně na celé planetě jako kontaminanta potravin. Může obsahovat mykotoxin parulin, díky kterému se stává původcem mykóz u člověka. Vytváří rychle rostoucí kolonie, které již po 7 dnech při 25 °C dosahují cca 30-50 mm v průměru. Jsou sametové až jemně flokozní, okrové až olivově hnědé Obrázek 8, spodní strana kolonii je světle hnědá. Ideální teplota pro růst je 35-40 °C. Při teplotách pod 5 °C a nad 48 °C se růst zastavuje. [29]



Obrázek 8. Paecilomyces variotii [30]

3.1.2.3 *Penicillium funiculosum*

Tato plíseň se vyskytuje v mírném až tropickém prostředí. Nejčastěji se vyskytuje v půdě a vodě. Může obsahovat toxiny parulin a gibberelin. Vytváří rychle rostoucí kolonie. Tyto již po 7 dnech při 26 °C dosahují velikosti 30-40 mm. Kolonie jsou bílé až do světle růžové Obrázek 9, mají typickou vůni. Ideální teplotní podmínky pro růst se pohybují mezi 25-28 °C. Při teplotách pod 8 °C a nad 42 °C se růst zastavuje. [31]



Obrázek 9. Penicillium funiculosum [31]

3.1.2.4 *Gliocladium virens*

Nedávno přenesen do třídy Trichoderma. Tato plíseň se vyskytuje celosvětově hojně hlavně v půdě. Nejčastěji napadá dřevo, obiloviny a zeleninu. Produkuje mykotoxin trichodermin. Vytváří rychle rostoucí kolonie, které již po 7 dnech při 25 °C pokrývají celou Petriho misku řídkým bělavým myceliem, později tmavozeleně sporulujícím Obrázek 10. Sporulaci kolonií podporuje denní světlo. Spodní strana je nezabarvená. Ideální teplota pro růst je 20-28 °C. Při teplotách kolem 0 °C a nad 30 °C se růst zastavuje. [32] [33]



Obrázek 10. *Gliocladium virens* [32]

4 ZPRACOVÁNÍ DŘEVO – PLASTOVÉHO KOMPOZITU

Dřevo má ve srovnání s anorganickými plnivými nízkou tvrdost. Z tohoto pohledu lze přidávat dřevní hmotu do polymeru ve větším množství. Jednou z výhod tohoto materiálu je, že minimalizuje oděr zařízení pro zpracování WPC. Nevýhodou je již zmiňovaná adheze dřeva, která dává kompozitu špatné mechanické vlastnosti. Pro zvýšení adheze dřeva k polymeru byly vyvinuty modifikátory, které tento problém řeší, viz kapitola 1.3 kompatibilizátory.

Vlastnosti WPC mohou být i nadále neuspokojivé, pokud se modifikátor setkává s příliš vysokými teplotami při zpracování. Samotné PVC je obvykle tepelně nestabilní, zejména za zvýšené teploty, přítomnosti kyslíku, vlhkosti a při mechanickém namáhání. Degradace PVC obvykle probíhá za procesu dehydrochlorace, což vede k tvorbě dlouhých konjugovaných dvojných vazeb, nebo polyenové vazby ($-\text{CH} = \text{CH}-$), která způsobuje změnu barvy. Uvolněný chlorek navíc způsobuje korozi zařízení. Dehydrochlorace se stává rychlejší za přítomnosti kyslíku, při které vznikají karbonylové skupiny. [2]

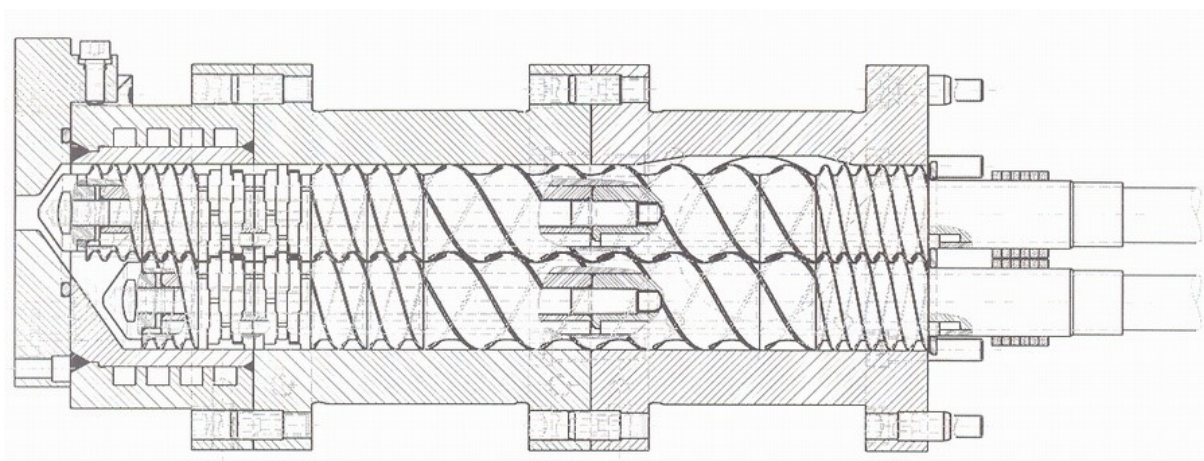
Jednou z hlavních metod zpracování WPC je vytlačování. Vytlačováním se vyrábí široký sortiment polotovarů (obr. 5). Nejčastěji různé typy desek, profily, dráty a trubky s konstantním průřezem (případně trubky různých průměrů), tyče plné nebo duté, profily tvaru L, U i složité několikakomorové profily, např. okenní. Vlastní technologie se provádí na vytlačovacích strojích neboli extrudérech.

4.1 Dvoušnekový extruder

Dvoušnekový výtlačný stroj má dva šneky. Jedná se o velmi obecnou definici, protože u dvoušnekových extruderů je obrovská rozmanitost. Dvoušnekové extrudery mohou mít různý směr otáčení, různý sklon drážek do sebe zapadajících atd. Zařazení dvoušnekových extruderů je popsáno v tabulce č. 2. [34] Dvoušnekový extruder je ve srovnání s jednošnekovým extruderem lepší v dávkování, v tavení, v disperzi, flexibilitě a dobře odplyňuje. [35]

Tabulka 2. Dvoušnekové elementy[34]

Šnekové elementy do sebe zasahují	- Souběžné šnekové elementy	- Nízká rychlost extruderu pro vytlačování - Vysoká rychlost extruderu pro míchání
	- Protiběžné šnekové elementy	- Kuželové extrudery pro profily - Paralelní extrudery pro vytlačování - Vysokorychlostní extrudery pro míchání
Šnekové elementy do sebe nezasahují	- Protiběžné šnekové elementy	- Stejná délka šroubů - Nestejná délka šroubů
	- Souběžné šnekové elementy	- nepoužívá se v praxi
	- Koaxiální šnekové elementy	- Transport taveniny vpřed - Transport taveniny zpět - Transport pevných látek dozadu - Transport pastu dozadu

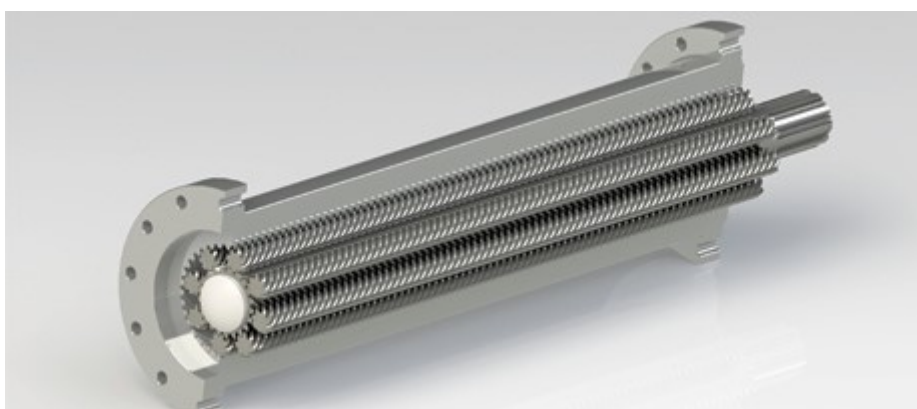


Obrázek 11. Dvoušnekový extruder [36]

4.2 Planetární extruder

Tento extruder se částečně podobá jednošnekovému extruderu. Dávkovací sekce je ve skutečnosti stejná jako u jednošneku. Nicméně míchací sekce už se podstatně liší. Jedná se o princip vícešnekového vytlačovacího stroje s centrálním šnekem. V planetárním válcovém úseku je jeden hlavní šroub nazývaný slunce a kolem něj se točí šest a více menších šneků nazývaných planety. Planetové šrouby se prolínají se sluncem, a tedy všechny šrouby musejí mít stejné drážkování.

V první části se materiál pohybuje dopředu jako u jednošneku. Jakmile se materiál dostane do planetového válce, je intenzivně míchán pomocí valivého působení sil mezi jednotlivými planetovými šrouby, mezi planetovým šroubem a sluncem a mezi planetovým šroubem a stěnou. Malá vzdálenost mezi planetovými šrouby a stěnou umožňuje tenké vrstvy materiálu vystavit velké ploše pro výměnu tepla a odstranění těkavých látek. Spirálová konstrukce slunce a planet poskytuje velkou povrchovou plochu pro míchání. [37] Výhodou těchto strojů je, že materiály velmi citlivé na teplo mohou být zpracovány s minimem degradací. Planetový extruder se nejčastěji používá právě pro PVC [38]



Obrázek 12. Planetární extruder [37]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PŘÍPRAVA VZORKŮ

5.1 Použitý materiál

- PVC-Ongrovil S-5167 Borsodchem

Tabulka 3 parametry PVC [45]

parametry	jednotka	hodnota
K-hodnota	-	66-68
Hustota	kg/m ²	560-620
velikost částic		
nad 0,250 mm	%	5
pod 0,063 mm	%	5
množství nečistot	ks/9dm ²	20
Zbytkový obsah vinylchloridu	mg/kg	1
Teplota skelného přechodu	°C	75-85
Hustota rozdaveného pevného PVC	g/cm ³	1,41
Teplota průtoku	°C	140

- Dřevěná hmota (smrkové piliny) Itálie – hrubá (1mm - 0,63mm)
- Dřevěná hmota (smrkové piliny) Itálie - jemně pomletá (0,5mm – 0,1mm)
- Stabilizátor – Baeropan R9003 P/7

Tabulka 4 Parametry stabilizátoru Baeropan [46]

Baeropan R 9003 WP / 8 Podrobnosti o výrobku	
Typ produktu	Tepelné stabilizátory> Vápník / zinek Lubricants / Waxes
Chemické složení	Komplex vápníku a zinku
Masterbatch	Ne
Fyzická forma	Granule
Stav produktu	doposud nepotvrzeno
Aplikace / Doporučeno pro	PVC> PVC, flexibilní
	Budovy a stavby> Okna (včetně okenních profilů)
	Budovy a stavby> Dřevěné kompozity
	Vytlačování
Bio Based	Ne
Dávkování	0,5 phr

- modifikátor – ARP MOD A

Tabulka 5 parametry modifikátoru

Specifikace	jednotka	CPE	ARP-MOD-A/FF
Vzhled	-	bílý prášek	bílý prášek
sypná hustota	g/cm ³	0,52	0,5 ± 0,1
zesíťovaný zbytek	%	1,2	≤2,0
prchavý obsah	%	1,12	≤1,5
pevnost v tahu	MPa	8,5	≥6,0
prodloužení při přetržení	%	750	1300±100

- vosk Finawax C – FINE ORGANICS

Tabulka 6 parametry vosku Finawax C [47]

Specifikace	Jednotka	hodnota
Vzhled	-	bílý prášek
Ph	-	10
Bod tání	°C	143±5
Použití	Phr	0,2-2,0

- CaCO₃ – HSH CHEIME

Tabulka 7 parametry CaCO₃[48]

Specifikace	Jednotka	hodnota
Jas	-	95,0±1,5
Vlhkost	%	0,2
Magnesium	-	0,9±0,2
specifická hmotnost	-	2,7
absorbce oleje	G/100g	18
plocha Bet	m ² /g	5
hustota prášku	kg/m ³	1340
pH	-	9,4

Tabulka 8 Chemická analýza CaCO₃ [48]

Chemická analýza		
Látka	jednotka	hodnota
CaCO ₃	%	98
MgCO ₃	%	1,8
Fe ₂ O ₃	%	0,01
nerozpustný zbytek	%	0,2

5.2 Složení směsí

Pro studium chování WPC při statickém nebo dynamickém zatěžování bylo použito 25 různých směsí. Směsi označené 1 – 22 byly plněny různým množstvím dřevní hmoty ve dvou různých hrubostech. Směsi 23 -25 představují srovnávací materiály bez dřevní hmoty. Receptury jsou uvedeny v tabulkách č. 9, 10, 11.

Směsi označené 1-8 jsou ty, které se dnes nejčastěji používají při výrobě WPC materiálů. Směsi 9 – 22 se pak od nich lišily jak množstvím přidané dřevní hmoty, tak množstvím přidaného modifikátoru. Vzorky 23 – 25 byly zařazeny pro zjištění vlastností kompozice na bázi PVC bez dřevní hmoty.

Do části směsí byl přidán CaCO_3 v rozmezí do 7 %. Tato složka se do směsí běžně přidává pro usnadnění pohybu materiálu v extruderech, zlepšení kresby a barvy. Jak ukázala následující měření, tato složka má vliv i na další vlastnosti zpracovaných směsí.

Tabulka 9 Receptury zpracovávané na planetárním i dvoušnekovém extruderu

suroviny	1	2	3	4	5	6	7	8
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<i>dřevní hmota Itálie</i>	35%		45%		35%		45%	
<i>dřevní hmota Itálie- jemně pomletá</i>		35%		45%		35%		45%
<i>PVC-Ongrovil</i>	51%	51%	41%	41%	45%	45%	35%	35%
<i>stab.-Baeropan R9003 P/7</i>	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<i>modif.-ARP MOD A</i>	2%	2%	2%	2%	5%	5%	5%	5%
<i>vosk Finawax</i>	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
<i>CaCO₃</i>	4%	4%	4%	4%	7%	7%	7%	7%
celkem	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabulka 10 Receptury planetárního extruderu část 1

suroviny	9	10	11	12	13	14	15	16
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<i>dřevní hmota Itálie</i>	25%	-	25%	-	25%	-	45%	-
<i>dřevní hmota Itálie- jemně pomletá</i>	-	25%	-	25%	-	25%	-	45%
<i>PVC-Ongrovil</i>	55%	55%	60%	60%	67%	67%	38%	38%
<i>stab.-Baeropan R9003 P/7</i>	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<i>modif.-ARP MOD A</i>	5%	5%					2%	2%
<i>vosk Finawax</i>	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
<i>CaCO₃</i>	7%	7%	7%	7%			7%	7%
celkem	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabulka 11 Receptury planetárního extruderu část 2

suroviny	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<i>dřevní hmota Itálie</i>	45%		45%		45%				
<i>dřevní hmota Itálie- jemně pomletá</i>	-	45%		45%		45%	-	-	-
<i>PVC-Ongrovil</i>	30%	30%	25%	25%	40%	40%	80%	92%	86%
<i>stab.-Baeropan R9003 P/7</i>	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
<i>modif.-ARP MOD A</i>	10%	10%	15%	15%			5%		2%
<i>vosk Finawax</i>	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
<i>CaCO₃</i>	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%		4%
celkem	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

5.3 Příprava směsí

Směsi byly naváženy podle receptury a smíchány ruční míchačkou. Míchání se provádělo u všech vzorků stejně, tedy po dobu 2 minut. Takto namíchané směsi byly připraveny pro kompaudaci v planetárním (vzorky 1-25) nebo ve dvoušnekovém extruderu (vzorky 1- 8). Vzorky 19

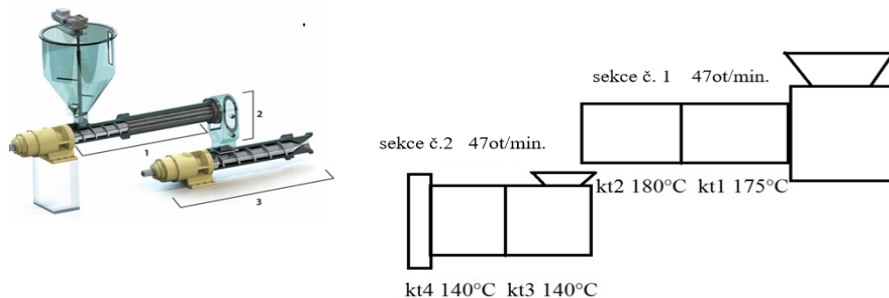
a 20 se ukázaly jako následně nezpracovatelné z důvodu malého procenta obsahu PVC, což způsobilo, že se vzorky nespojily.

5.3.1 Kompaudace v planetárním extruderu

Kompaudace byla prováděna na planetárním extruderu Takimsan PLATEX80 Tabulka 12. Přístroj se skládá ze dvou sekcí. První sekce je tzv. kompauzační a má dva topné úseky. Materiál je zde míchán a dochází zde k plastifikaci. Druhá sekce je tzv. zhutňovací. Materiál se zde ochladí a zkoncentruje, poté je vytlačěn a sekán na granulát. Také tato sekce má dva topné úseky. Viz Obr.14.

Tabulka 12 Takimsan PLATEX 80

Průměr šneků hlavní / vedlejší	40 mm / 10 mm
Délka šneků hlavní / vedlejší	300 mm / 200 mm
Topné/chladicí zóny	4 elektricky vyhřívané/vzduchem chlazené zóny
Pohon	4 kW/4 kW
Rychlost	Až 47 ot/min.
Max. teplota	400°C
Množství vyrobené směsi	Max 100 Kg



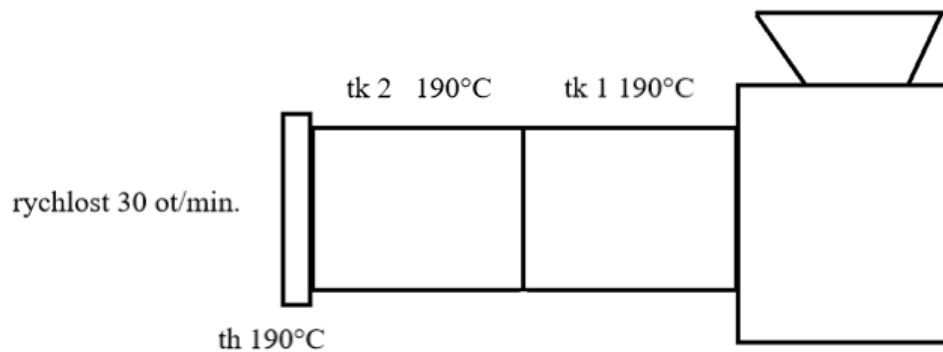
Obrázek 13 Schéma teplot planetárního extruderu

5.3.2 Kompaudace v dvoušnekovém extruderu

Jako dvoušnek byl vybrán Brabender Ohg Duisburg (Tabulka 13). Dvoušnek je složen z násypky, dvoušnekové míchací komory, která má 2 topné úseky (viz Obr. 15) a trysky. Na konci trysek byl granuláční přístroj pro výrobu granulátu.

Tabulka 13 Dvoušnek Brabender

Brabender Ohg Duisburg	
Průměr šneků	2x20 mm
Délka šneků	200 mm
Topné/chladicí zóny	3 elektricky vyhřívané
Pohon	5,5 kW
Teplotní regulátory	2 zóny extruder + 1 zóna hlava
Max. teplota	240°C
Výstup materiálu	0,5-20 kg/h



Obrázek 14 Schéma teplot dvoušnekového extruderu

5.3.3 Výroba zkušebních tělísek

Pro výrobu zkušebních tělísek byl použit ruční lis. Granulovaná směs byla nasypána na spodní vyhřívanou desku lisu do rámečku. Pro výrobu tělísek byl použit rámeček o rozměrech 150 mm x 150 mm a tloušťce 2 mm, pro výrobu trámečků pro rázovou houževnatost byl použit rámeček o rozměrech 150 mm x 150 mm a tloušťce 4 mm. Poté byla směs zalisována pomocí horní vyhřívané desky. Teplota lisu byla nastavena na 190°C a doba lisování na 9 minut. Lis byl utahován pomalu a postupně v závislosti na tavení. Tento postup byl zvolen proto, aby nedocházelo ke vzniku bublin a pnutí. Následně byly horké desky přeneseny na 9 minut do lisu chlazeného vodou. Chladicí lis měl teplotu $30 \pm 5^\circ\text{C}$. Z takto připravených vzorků byla vyřezána tělíska na zařízení firmy Brevetti Montolit pomocí diamantového kotouče (chlazeno vodou) o rozměrech 150 mm x 10 mm a tloušťce 2 mm (pro trhací zkoušky) a trámečky o rozměrech 150 mm x 10 mm a tloušťce 4 mm (pro rázové zkoušky).

6 METODY HODNOCENÍ WPC SMĚSÍ

6.1 Tahové zkoušky

Tahová zkouška patří k základním metodám sloužícím k hodnocení mechanických vlastností materiálů. Deformaci zkušební tělesa si lze nejlépe přiblížit na chování hranolu s definovaným průřezem, které se zatíží jednosměrnou tahovou silou.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \left(\frac{N}{m^2} = Pa \right)$$

přičemž platí σ – napětí (Pa); F - síla (N); A_0 – plocha (m^2)

Po zatížení se začne zkušební hranol deformovat a v důsledku toho měnit své rozměry až do okamžiku rovnováhy mezi deformací a vyvozeným napětím, pokud však předtím nedojde k celkové destrukci vzorku. Prodloužením zkušební tělesa se mění jeho původní délka a nastalá délková změna se definuje jako poměrné (relativní) prodloužení.

$$\varepsilon_L = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 (\%)$$

přičemž platí ε_L - protažení (%); l - délka zkušební tělesa při přetržení (m); l_0 – původní délka zkušební tělesa (m)

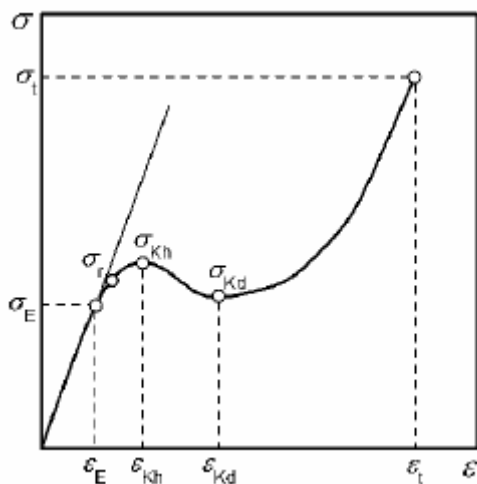
Ze zkoušení v jednosměrném tahu lze stanovit dvě hodnoty tahového napětí, a to efektivní napětí vztahující se na okamžitý průřez zkušební tělesa (náročné na přesnost měření průřezu), anebo smluvní napětí vztahované na původní průřez vzorku (jednodušší). Chování elastických materiálů v oblasti malých deformací lze popsat Hookovým zákonem, který definuje přímo úměrný vztah mezi napětím a deformací. Konstantou úměrnosti je modul pružnosti E (Youngův modul).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (Pa)$$

přičemž platí E - Modul pružnosti (Pa).

Hodnota modulu pružnosti se stanovuje z tahových křivek v oblasti, kde je patrná lineární závislost napětí na deformaci. Čím vyšší hodnota modulu pružnosti je, tím je vyšší tuhost zkoušeného materiálu. Jeho hodnota je, zvláště pak u polymerních materiálů, závislá na čase, teplotě

a okolním prostředí (například vlhkost). U některých materiálů je obtížné stanovení modulu pružnosti, protože se od počátku chovají nelineárně. Například u elastomerů se postupuje tak, že se zkoušený vzorek protáhne na smluvní hodnotu (například o 100 %, 300 %, 600 %) a odečte se napětí vztážené na původní průřez vzorku jako modul protažení (gumárenský modul) (M-100, M-300, M-600). Obecná tahová křivka polymeru je ukázána na Grafu 10. Na této křivce je několik důležitých bodů, které vypovídají o tahovém chování zkoušeného materiálu. [39]



Graf. 10 Tahová křivka [39]

Tahové zkoušky byly prováděny na stroji GALDABINI QUASAR 25. Pro každou směs bylo zkoumáno 10 vzorků ve tvaru pásku o rozměru 10 mm x 150 mm x 2 mm. Vzorky byly deformovány konstantní rychlostí 1 mm/min do prodloužení 1mm a poté byla rychlost zvýšena na 50 mm/min. Po ukončení zkoušek proběhlo vyhodnocení výsledků se sledovanými parametry v oblastech protažení materiálu, maximální síly a napětí (s ohledem na modul pružnosti). Výsledky byly zpracovány do grafů.

6.2 Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy

Rázová houževnatost je definována jako kinetická energie kyvadlového rázového kladiva nutná k přeražení zkušební tělesa vztážená na původní plochu příčného průřezu (u zkušebních těles obdélníkového profilu je důležité rozlišovat šířku a tloušťku)

$$A_n = \frac{W}{bh} \text{ (kJm}^2\text{)}$$

příčemž platí

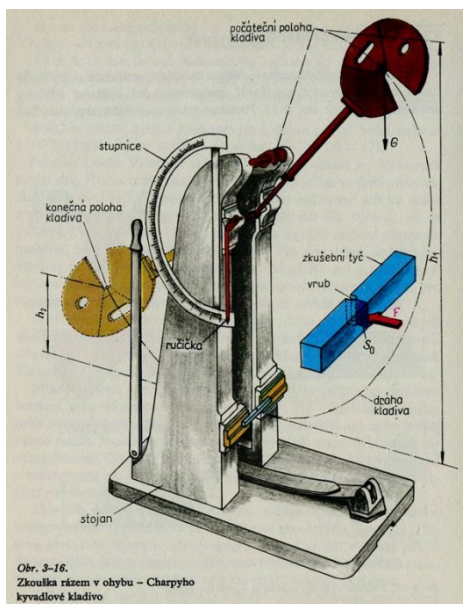
W ...deformační energie spotřebovaná k přeražení zkušebního tělesa
a odečtená na stupnici zkušebního zařízení;

b ... šířka zkušebního tělesa;

h ... tloušťka zkušebního tělesa

Účelem rázové zkoušky je, aby lom proběhl uprostřed a kolmo na podélnou osu vzorku. Při samotné zkoušce se vzorky pokládají na podpěry, následně dochází k nárazu kladivem (tlakové namáhání) a tedy rázové deformaci.

Rázové zkoušky se provádí na zkušebních přístrojích Charpy, které se liší rozsahem podle typu zkoušeného materiálu a rozměrů zkušebních vzorků. [40]



Obrázek 15 Schéma zkoušky rázové houževnatosti metodou Charpy [41]

Zkouška rázové houževnatosti byla prováděna na přístroji CEAST 6963000. Pro každou směs bylo zkoumáno 10 vzorků vylisovaných do podoby trámečku o rozměru 10 mm x 15 mm x 4 mm. Trámečky byly umístěny do stroje na ležato. Každé tělísko bylo přeraženo padajícím kladivem (15J), byla změřena maximální energie potřebná pro toto přeražení a celková práce vynaložená pro přeražení. Výsledky byly zpracovány do grafů.

6.3 Stanovení nasákavosti

Nasákavost je schopnost materiálu přijímat a fyzikálně vázat vodu při ponoření za stanovené teploty a po určenou dobu. Vyjadřuje se v procentech. Zkouška nasákavosti je založena na zatížení vzorků těžítkem v destilované vodě. [42]

Nasákavost materiálu (N) se vypočte podle vzorce:

$$N = \frac{m_1 - m_0}{m_1} 100 \quad (\%)$$

přičemž platí m_0 ... hmotnost suchého materiálu v g,

m_1 ... hmotnost mokrého okapaného vzorku materiálu v g.

Stanovení nasákavosti bylo prováděno při teplotě 20 °C a 50 °C. Jednotlivá tělíska byla ponořena do vody na 24 hodin. Po uplynutí této doby byla vyjmuta a zvážena. Následovalo opakované ponoření do vody na dobu 7 dnů. Poté byla tělíska opět zvážena. Na základě změřeného nárůstu hmotnosti byla vypočítána nasákavost. Výsledky byly zpracovány do grafů.

6.4 Stanovení odolnosti proti plísním

Na biodegradaci plastů se nejčastěji podílejí plísně. Podmínkou jejich růstu je vysoká vzdušná vlhkost. Kromě výše uvedených podmínek hrají důležitou roli další faktory, jako jsou kombinace materiálů, stupeň stáří plastu, mikroklima a další. Metabolity produkované plísněmi mohou způsobit až degradaci samotného polymeru.

Pro tuto práci byly vybrány plísně ze skupiny dřevozbarvujících. Na rozdíl od některých ostatních plísní, nezpůsobují rozklad dřevní hmoty, pouze znehodnocují dřevo opticky (nežádoucí změna zbarvení). [43] Zkouška biodegradace je založená na vizuálním sledování jednotlivých vzorků WPC, na které byly aplikovány vybrané kultury. Cílem bylo zjistit rychlost růstu jednotlivých plísní. [44]

Pro stanovení odolnosti proti plísním byly vybrány plísně *Aspergillus niger* CCM 8155, *Aspergillus oryzae* CCM F-41, *Gliocladium virens* CCM 8042, *Paecilomyces variotti* CCM F-398 a *Penicillium funiculosum* CCM 8080. Do Petriho misek byla na agarové lůžko umístěna tělíska vyrobená z jednotlivých směsí. Na tělíska byly nanášeny vzorky vybraných plísní. Petriho

misky s naočkovanými vzorky byly následně uskladněny po dobu 30 dnů při konstantní teplotě 25 °C ve tmě. Po 30 dnech proběhlo vizuální vyhodnocení růstu plísní. Všechny hodnoty byly následně zaznamenány do grafů.

6.5 Skenovací elektronová mikroskopie

U vybraných směsí WPC bylo provedeno studium morfologie skenovacím elektronovým mikroskopem (SEM). SEM snímky vybraných vzorků byly pořízeny na skenovacím elektronovém mikroskopu Vega Easy Probe (Tescan s.r.o., Česká Republika). Cílem analýzy bylo zjistit vliv modifikátoru na dispergaci dřevní hmoty v polymerní matrici. Snímky byly vizuálně porovnány a vyhodnoceny.

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledky měření v jednotlivých zkouškách (tahová, rázová, nasákavost a biodegradace) byly zpracovány do grafů. Ty pak sloužily k následnému vyhodnocení vybraných vlastností jednotlivých směsí popsaných výše.

7.1 Tahová zkouška

Jak vyplývá z textu výše, tahové zkoušky patří k hlavním hodnotícím technikám kompozitních materiálů. Výsledky testů jsou zaznamenány v grafech 11,12,13,14. Jak vyplývá z Grafu 11, při tahové zkoušce bylo prokázáno, že směsi připravené na dvoušnekovém extruderu mají vždy menší hodnoty prodloužení než směsi připravené na planetárním extruderu. Z výsledku tahové zkoušky je také zřejmé, že s narůstajícím množstvím dřevní hmoty v receptuře klesá prodloužení. U většiny směsí vyrobených na dvoušnekovém extruderu prodloužení roste při klesající zrnitosti dřevní hmoty v jednotkách procent. Procentuální rozdíl hodnot prodloužení při různých zrnitostech směsí připravených na planetárním extruderu se liší v závislosti na množství přidané dřevní hmoty. Modifikátor v nízkých koncentracích nemá větší vliv na prodloužení, se zvyšující se koncentrací se prodloužení snižuje. Jasně se zde prokázal vliv polymeru na prodloužení. Vzorky s vyšším obsahem PVC měly větší prodloužení. Přidáním uhličitanu vápenatého prodloužení klesalo.

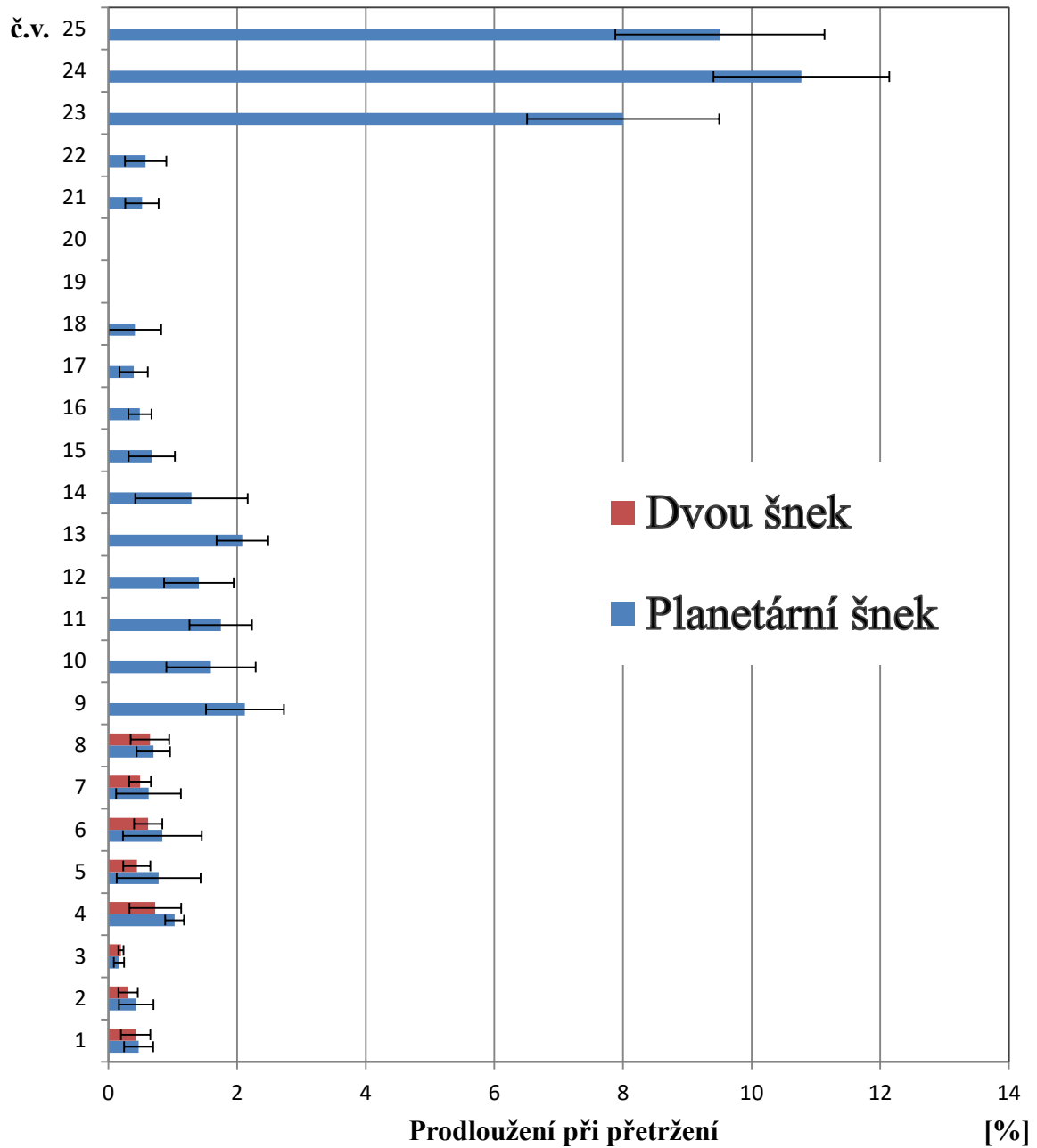
Z Grafu 12 vyplývá, že směsi připravené na planetárním extruderu vykazovaly vždy větší pevnost, což zřejmě způsobuje lepší promíchání směsi. Jak u směsí připravených na dvoušnekovém extruderu, tak na planetárním extruderu se ukázalo, že se zvyšujícím se množstvím dřevní hmoty napětí při přetržení klesá. Se zvyšující se zrnitostí pak při zohlednění chybovosti měření je síla potřebná pro přerušování tělísek v podstatě stejná u směsí připravených na obou typech extruderů. Zvyšuje-li se množství modifikátoru do 5 % obsahu směsi, pak se síla nutná k porušení soudržnosti tělesa zvětšuje. Koncentrace vyšší již mají na pevnost negativní vliv. Přidáním uhličitanu vápenatého dochází k poklesu napětí při přetržení.

Vzorky míchané na dvoušnekovém extruderu mají vždy menší pevnost v tahu než vzorky míchané na planetárním šneku Graf 13. Potvrzuje to předpoklad o rozdílné kvalitě míchání. S růstem dřevní hmoty tato pevnost klesá u obou zařízení stejně. Snížením zrnitosti dřevní hmoty

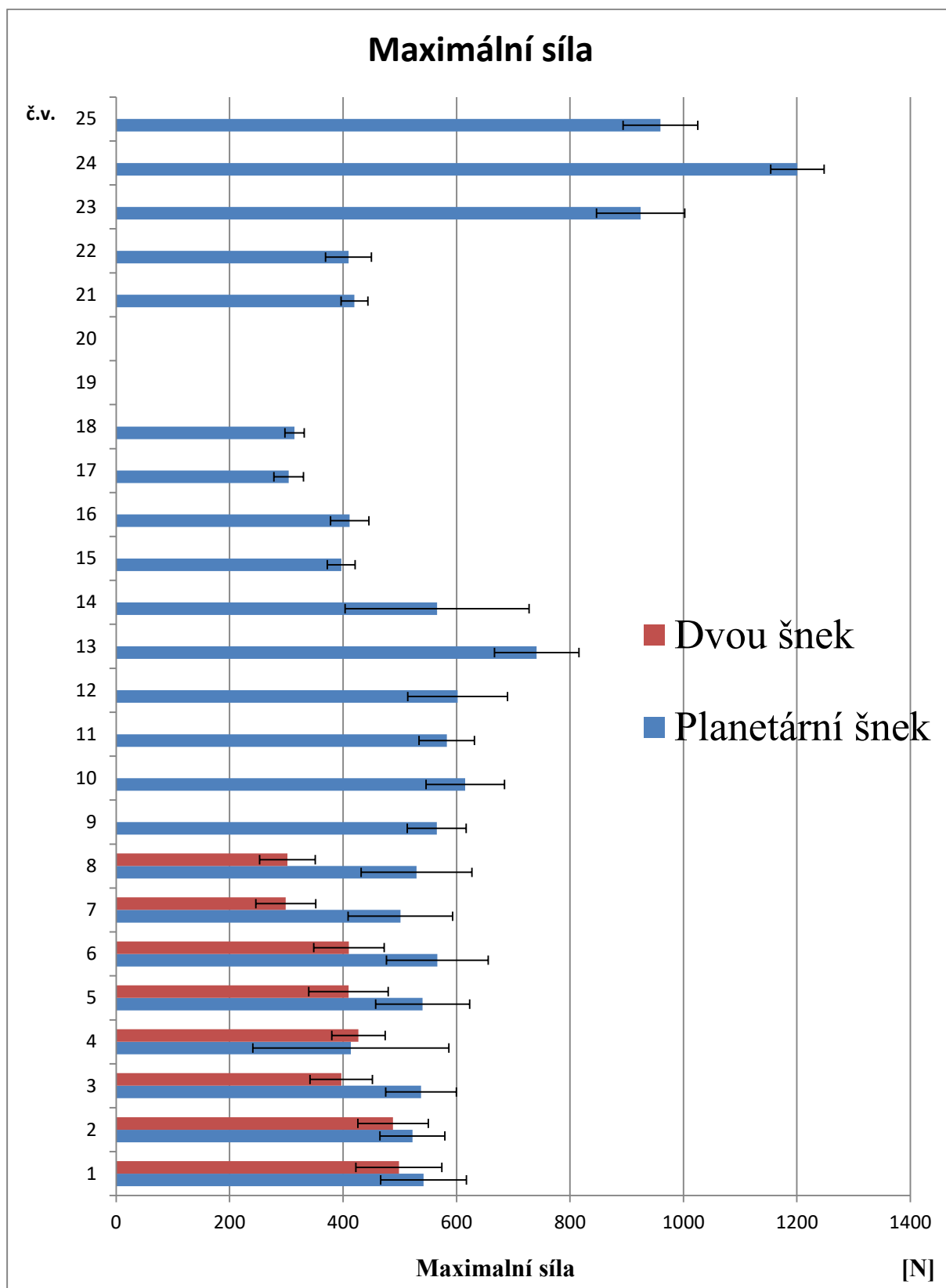
pevnost v tahu roste v případě, že ve vzorcích byl použit modifikátor do koncentrace 5 hm. %. U vzorků s vyšší koncentrací a u vzorků bez modifikátoru naopak klesá. Přidáním uhličitanu vápenatého pevnost v tahu klesá.

Při měření modulu pružnosti se liší výsledky směsí připravených na jednotlivých extruderech Graf 14. U směsí připravených na dvoušnekovém extruderu při zvyšujícím se množstvím dřevní hmoty bez rozdílu zrnitosti modul pružnosti roste. Přidáním modifikátoru pak modul pružnosti klesal. Lze konstatovat, že přidáním modifikátoru a následným zvýšením množství dřevní hmoty došlo k dalšímu snížení modulu pružnosti. Všechny měřené vzorky vykazovaly vyšší modul pružnosti než vzorky umíchané na planetárním extruderu. U směsí připravených na planetárním extruderu roste modul pružnosti se zvyšujícím se množstvím dřevní hmoty a snižující se zrnitosti dřevní hmoty. Použití modifikátoru do 5 % zvyšuje modul pružnosti. Při vyšším plnění se pak modul pružnosti snižuje. Přidáním uhličitanu vápenatého modul pružnosti klesal.

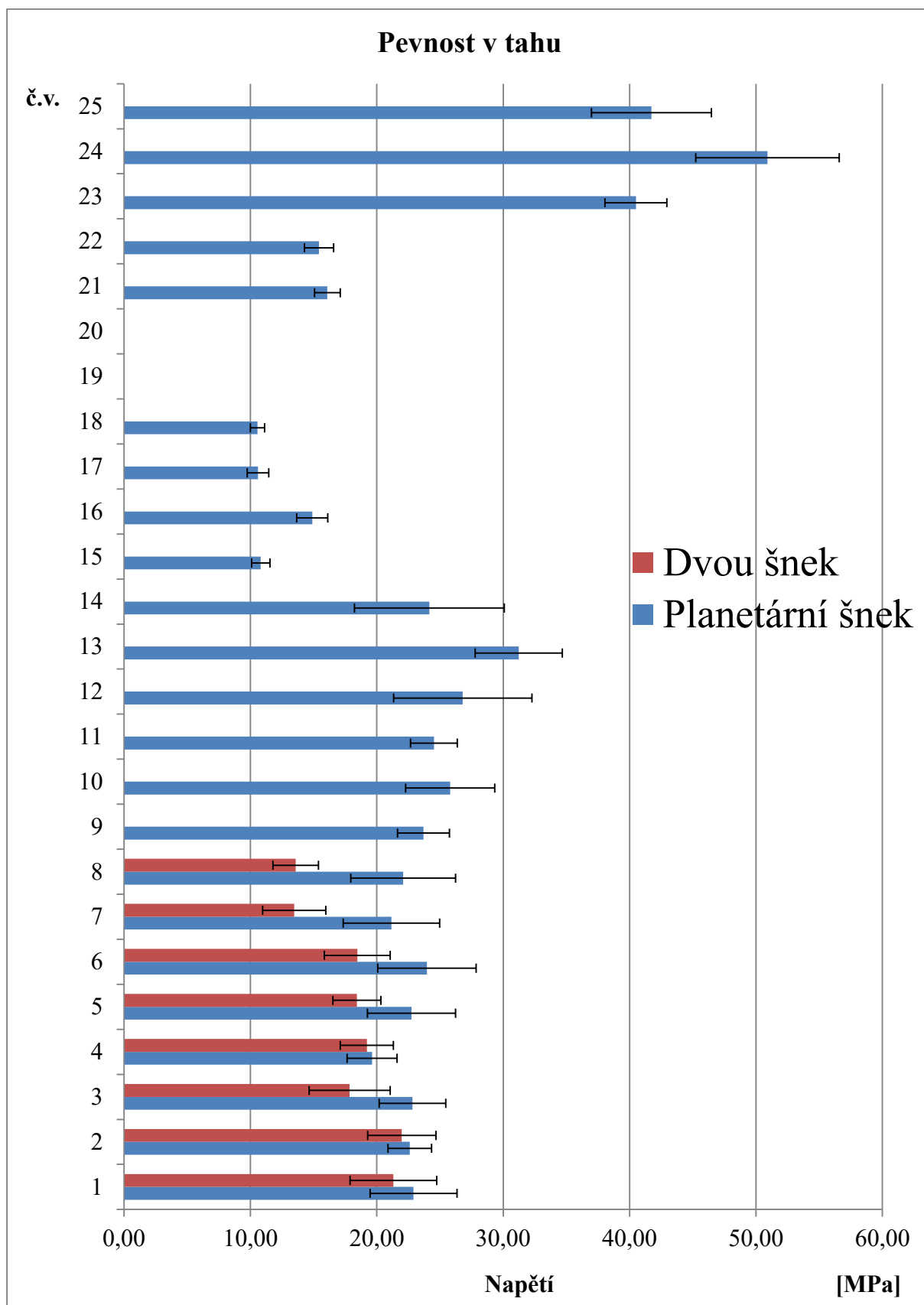
Prodloužení při přetržení



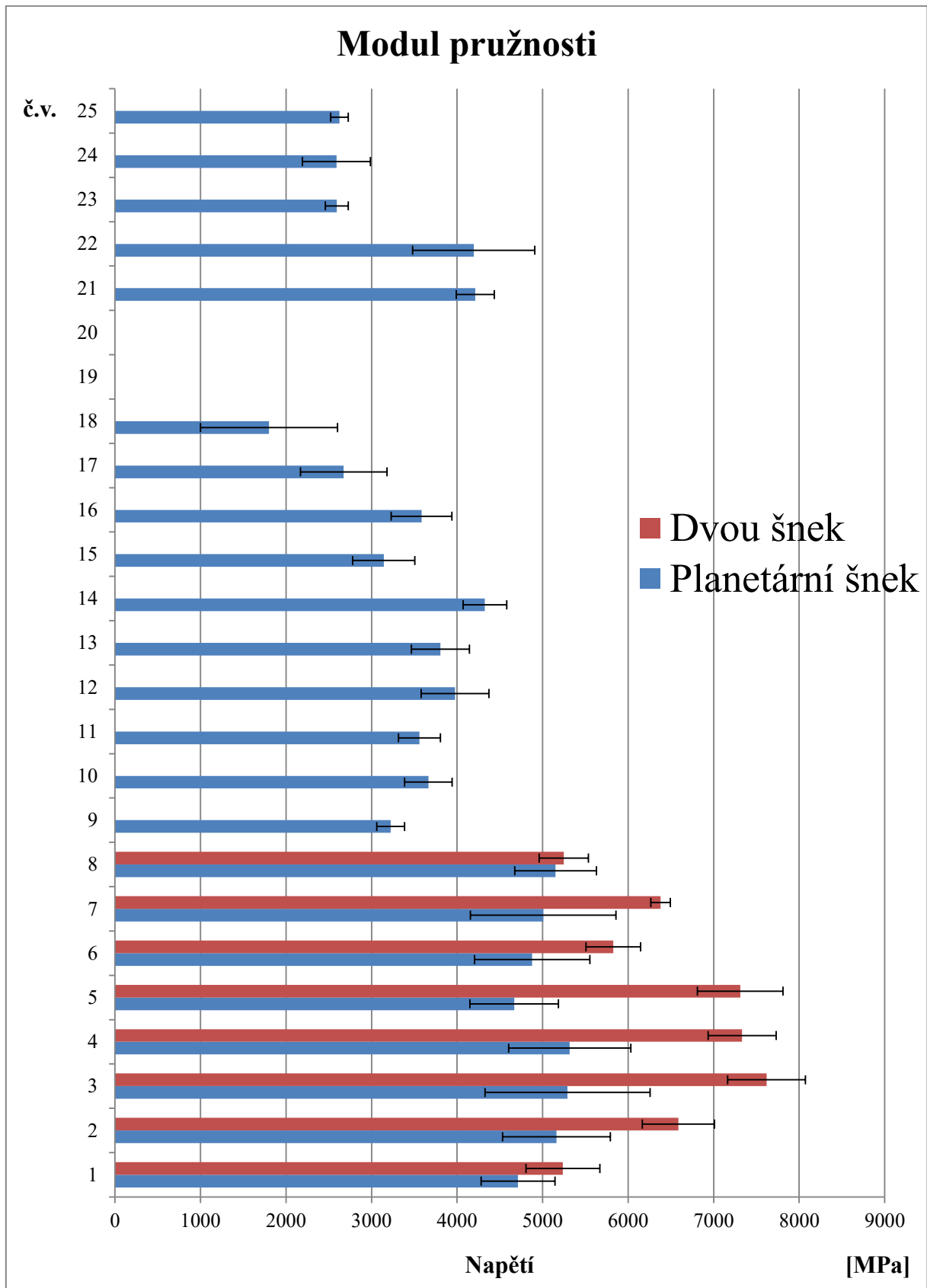
Graf. 11 Prodloužení při přetržení



Graf. 12 Maximální síla



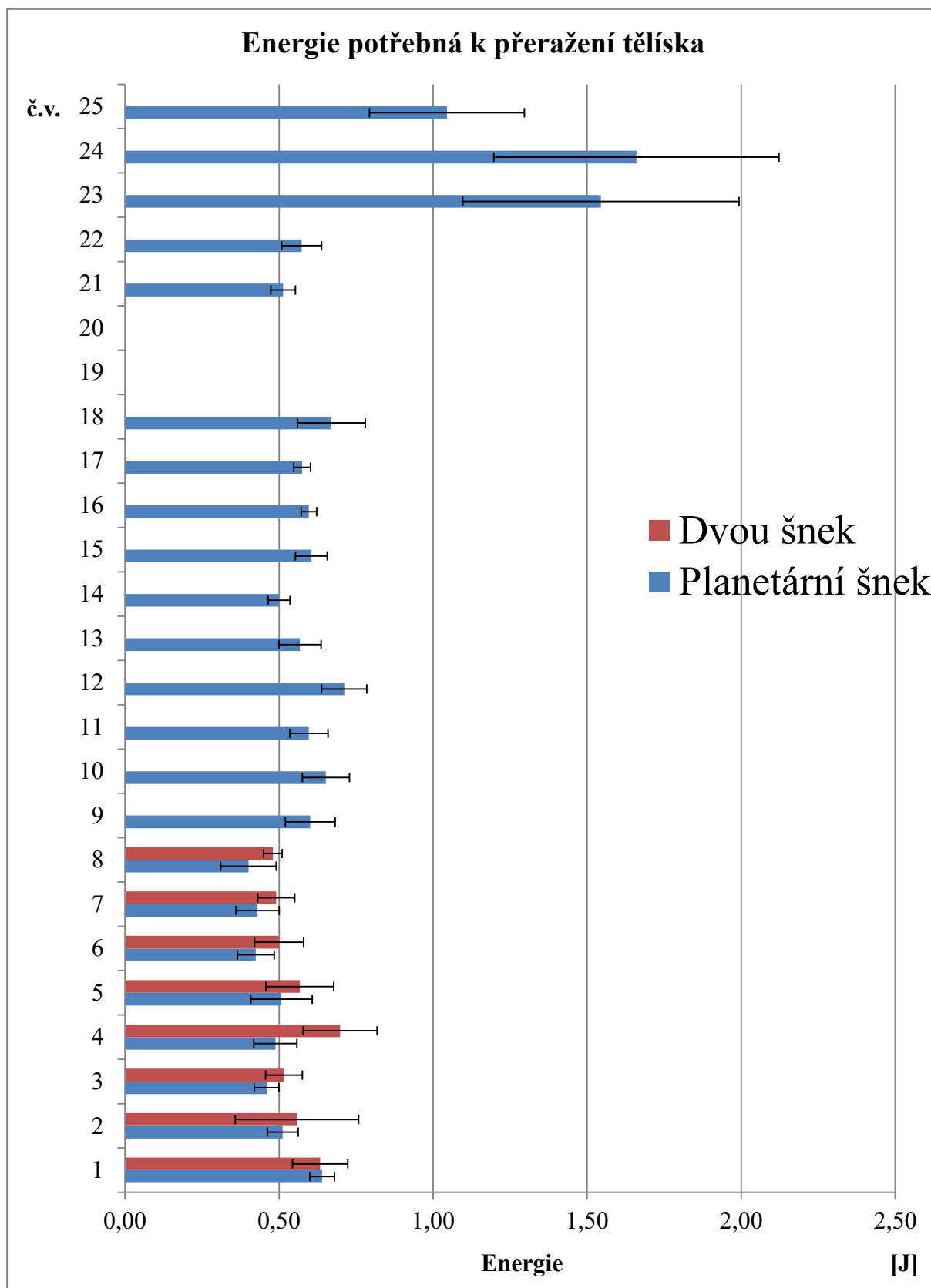
Graf. 13 Pevnost v tahu



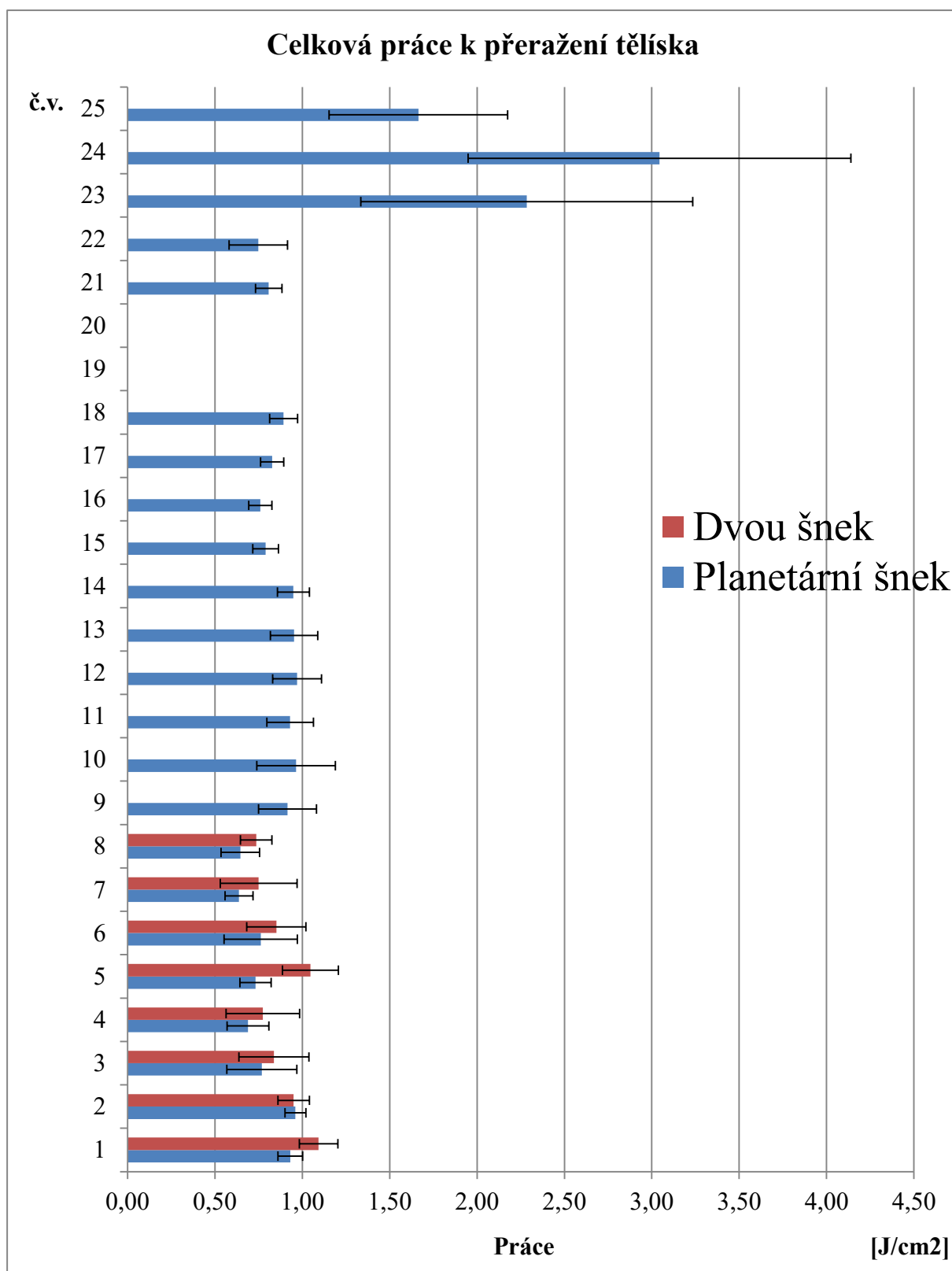
Graf. 14 Modul pružnosti

7.2 Rázová houževnatost (Charpy)

Další metodou k hodnocení mechanických vlastností je rázová houževnatost. Výsledky z měření pomocí této metody jsou zobrazeny v grafech 15,16. Z výsledků plyne, že způsob přípravy směsi nemá zásadní vliv na energii potřebnou k přeražení tělísek. Vzorky ze směsi připravených na planetárním extruderu mají nepatrně nižší rázovou houževnatost ve srovnání se vzorky připravenými na dvoušnekovém extruderu. Při měření rázové houževnatosti (s přihlédnutím k chybovosti měření) se ukázalo, že energie potřebná k přeražení tělísek mírně klesá při zvyšujícím se množstvím dřevní hmoty. Zrnitost dřevní hmoty ovlivňuje energii potřebnou k přeražení tělísek při plnění nad 35 % obsahu dřevní hmoty ve směsi. Jemně pomletá dřevní hmota v tomto případě snižuje energii potřebnou k přeražení vzorku. U hrubší dřevní hmoty je tomu naopak. Použitím modifikátoru ve směsi způsobíme pokles energie potřebné k přeražení tělísek. Při koncentraci (10 % obsahu modifikátoru ve směsi) se modifikátor zřejmě začne chovat spíše jako polymer, čímž se zvýší rázová houževnatost vzorku. Přidáním uhličitanu vápenatého rázová houževnatost roste.



Graf. 15 Energie potřebná k přeražení tělíska



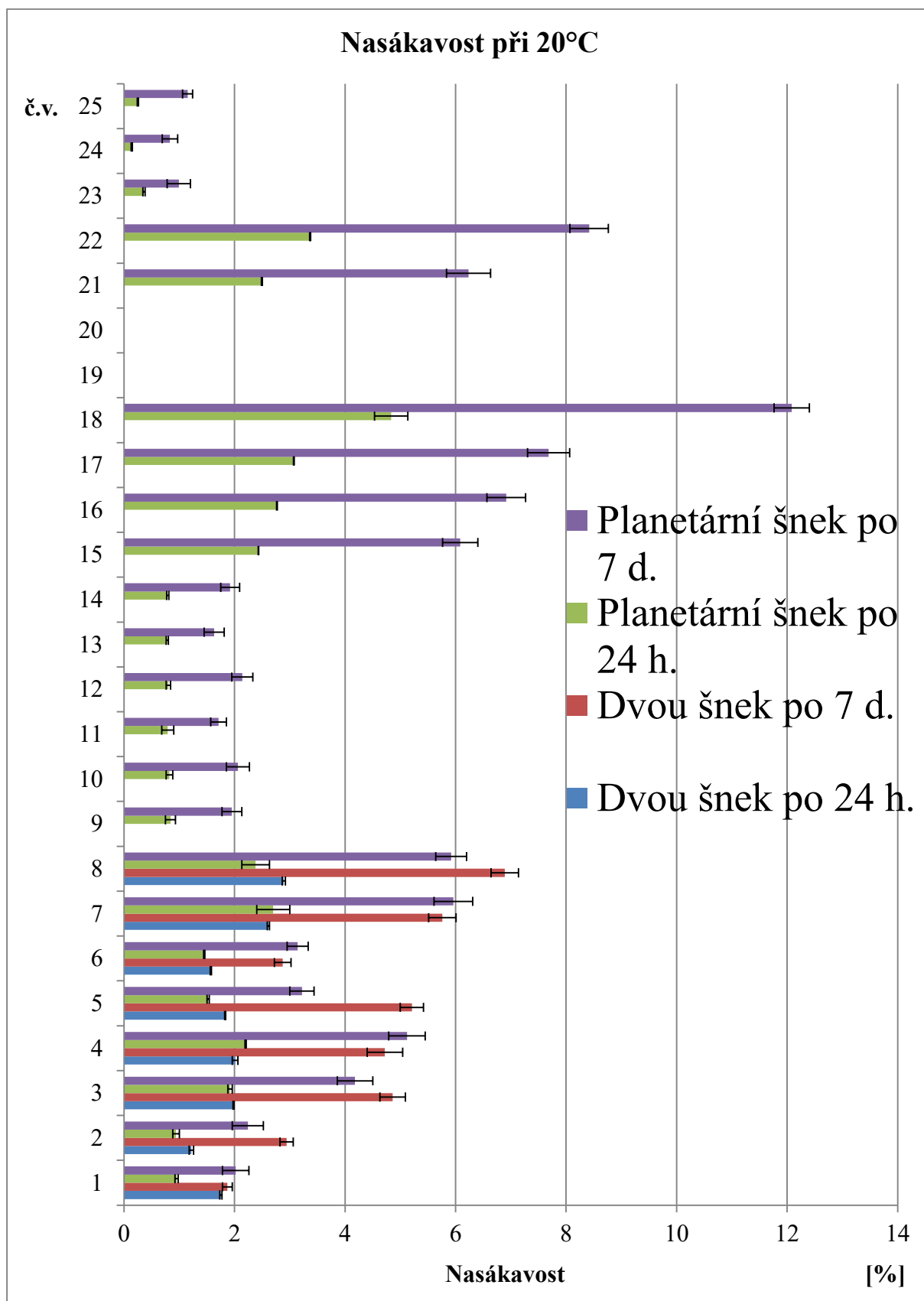
Graf. 16 Celková práce k přeražení vzorku

7.3 Nasákavost WPC

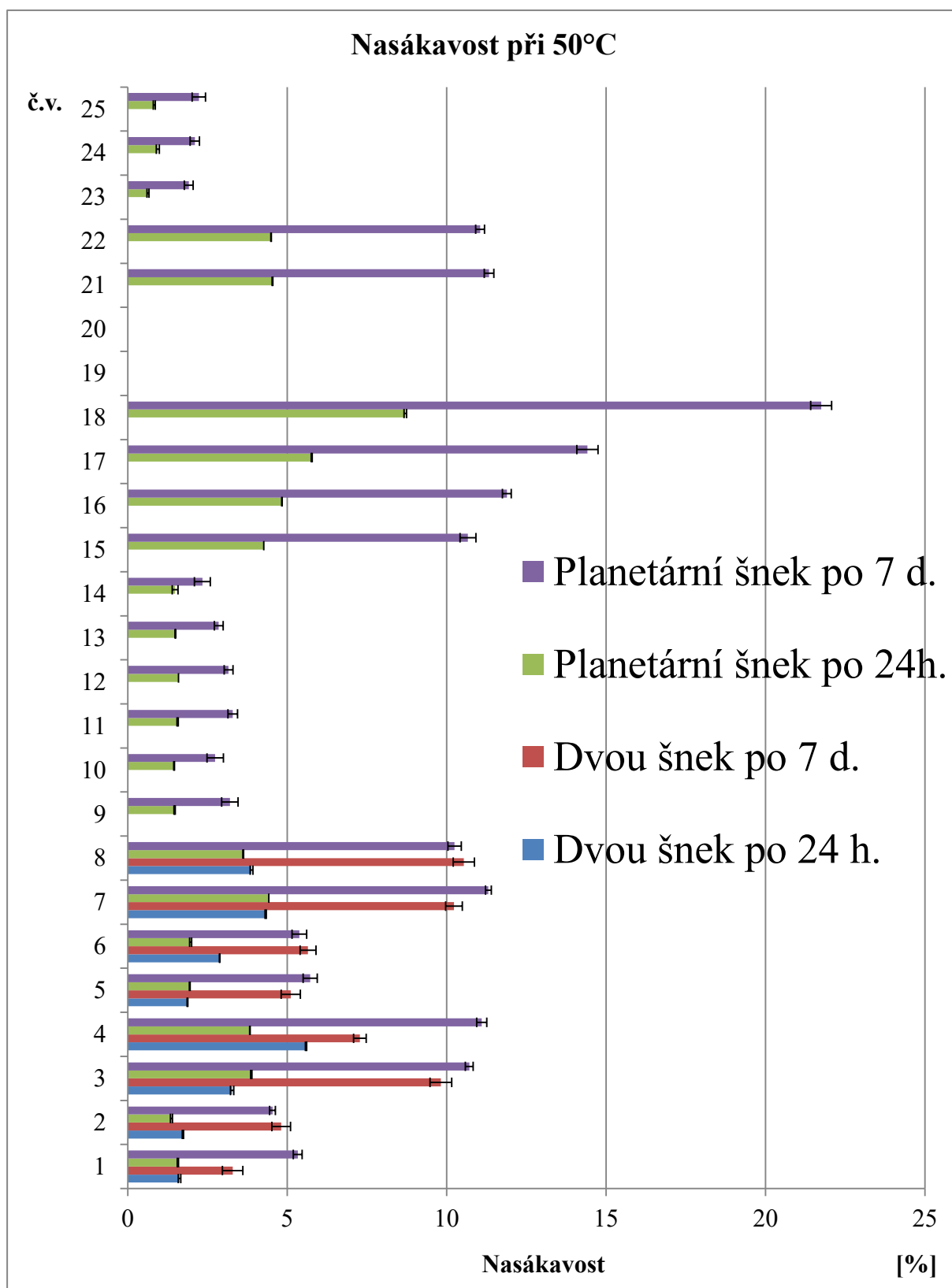
Další důležitou zkouškou představuje u WPC materiálů test nasákavosti. Neboť od schopnosti přijímat do své struktury vodu se pak odvíjí vlastnosti těchto materiálů a také jejich životnost. Výsledky jsou zachyceny v grafech 17,18. Při zohlednění chybovosti výsledků v měření se ukazuje, že už samotná příprava směsi má na nasákavost vliv. Při teplotě vodní lázně 20 °C vzorky kompoundované na dvoušnekovém extruderu vykazovaly ve většině případů vyšší nasákavost než srovnatelné vzorky kompoundované na planetárním extruderu po 24 hodinách i 7 dnech. Při teplotě vodní lázně 50 °C se lišily výsledky naměřené po 24 hodinách a 7 dnech. Vzorky připravené na dvoušnekovém extruderu vykazovaly po 7 dnech nasákavost nižší.

Z Grafů 17,18 dále jasně vyplývá, že přidané množství dřevní hmoty má přímý vliv na nasákavost. Čím více dřevní hmoty je do směsi přidáno, tím větší je nasákavost. Vliv struktury dřevního materiálu se pak ve většině případů projevuje až ve vodní lázni o teplotě 50 °C, přičemž vyšší nasákavost vykazují vzorky jemnější struktury připravené na dvoušnekovém extruderu.

Při použití modifikátoru do 5 % plnění ve směsi ve srovnání se vzorky bez modifikátoru došlo ke snížení nasákavosti, což by mohlo nasvědčovat faktu, že modifikátor pokryl povrch plniva a znesnadnil tak přístup vodě. Avšak při plnění 10 % modifikátoru ve směsi nasákavost výrazně vzrostla až v řádech procent. Přidáním uhličitanu vápenatého nasákavost rostla.



Graf. 17 Nasákavost WPC při 20°C



Graf. 18 Nasákavost WPC při 50°C

7.4 Posouzení odolnosti WPC proti plísním

Pro zpracování výsledků do Grafů č. 19,20,21,22,23 a Tabulky č. 14,15 bylo použito toto označení plísní (GV – *Gliocladium virens* ccm 8042; PF – *Penicillium funiculosum* ccm 8080; AN – *Aspergillus niger* ccm 8155; AO – *Aspergillus oryzae* ccm 41; PV – *Paecilomyces variotti* F 398). Pro hodnocení stupně růstu plísní na všech sledovaných vzorcích byla použita bodová škála. Tab. 14. Pro lepší porovnání výsledků byly plísně aplikovány také na vzorek čistého dřeva (smrk) Tab. 15.

Tabulka 14. Stupeň růstu plísní

Růst plísní	stupeň
0	nulový růst
1	velmi nízký růst
2	nízký růst
3	střední růst
4	výrazný růst
5	velmi výrazný růst

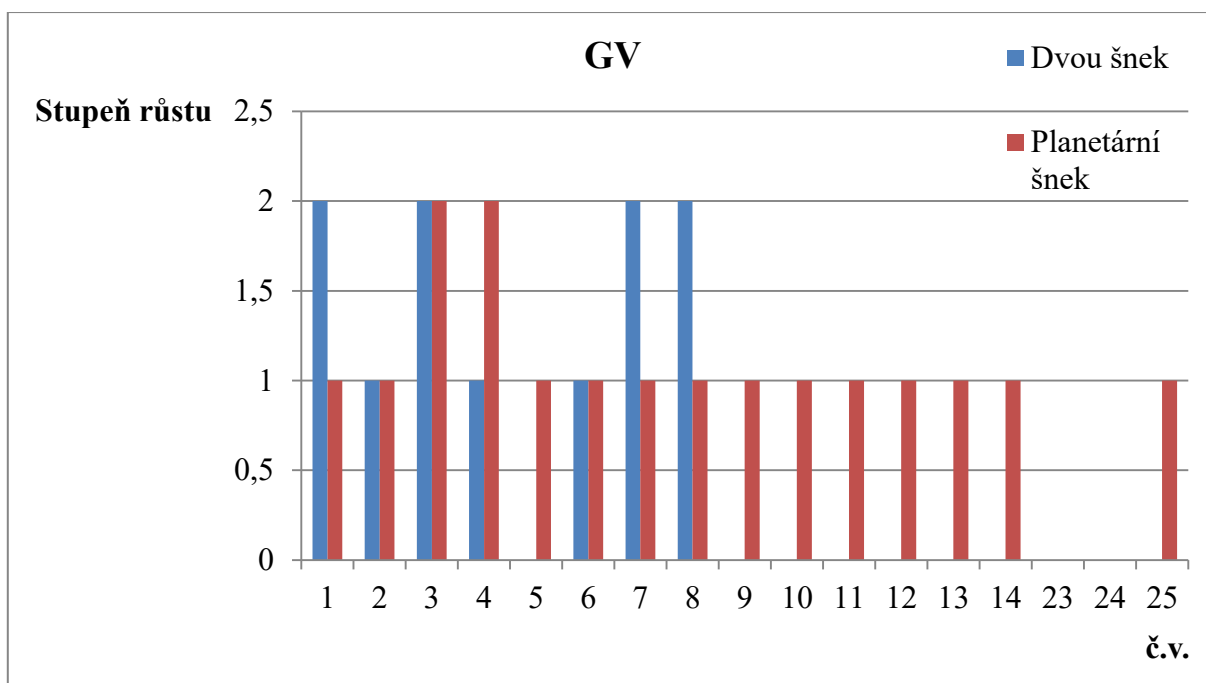
Tabulka 15. Růst plísní na neošetřeném dřevě

Plísně	po 30 dnech
GV	5
PF	5
AN	5
AO	5
PV	5

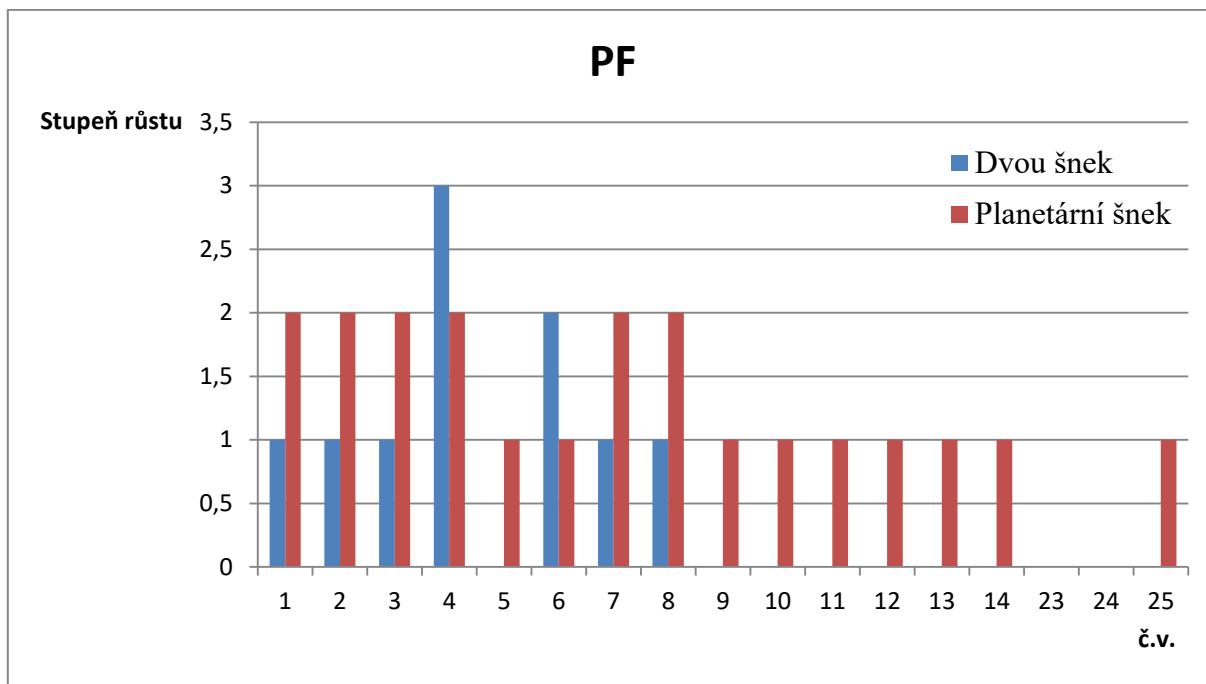
Testy na vzorcích dřeva neošetřeného proti plísním potvrzují, že tento materiál má malou odolnost proti růstu plísní. U jednotlivých vzorků plísní nebyly při hodnocení sledovány významné rozdíly v růstu.

Měření provedená na WPC materiálech jsou zaznamenány v Grafech 19-23. Jak vyplývá z těchto grafů, volba typu extruderu pro přípravu směsí nemá významný vliv na růst plísní. Zároveň lze konstatovat, že u plísní typu GV- *Gliocladium virens*, PF - *Penicillium funiculosum*, AO - *Aspergillus oryzae* a PV - *Paecilomyces variotti* se s vyšším plněním dřevní hmoty zvyšuje rychlost růstu těchto plísní, což bylo očekáváno.

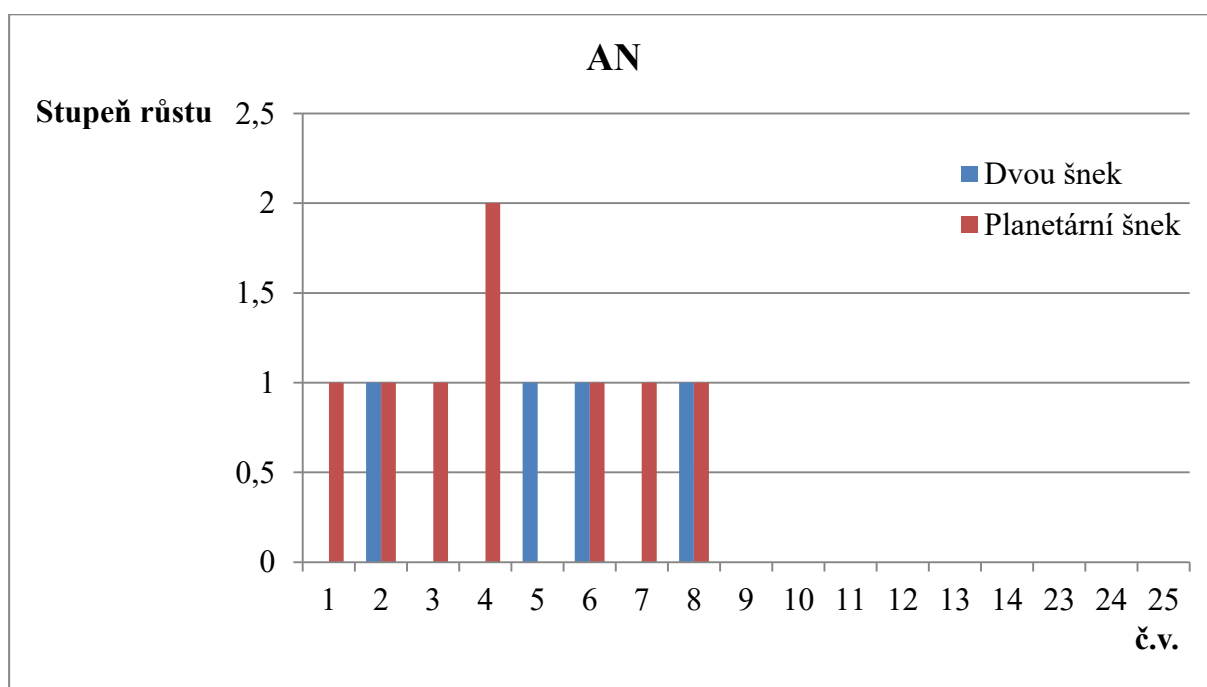
Z údajů v Grafu 21 je pak vidět, že u plísně typu *Aspergillus niger* se na rozdíl od ostatních, vyskytly problémy s růstem na jednotlivých vzorcích. Výjimkou byl pouze vzorek 4, jehož výrazně odlišné výsledky svědčí spíše o chybě v aplikaci plísně na vzorek. Lze tedy vyvodit, že pro tento typ plísně není WPC vhodným prostředím.



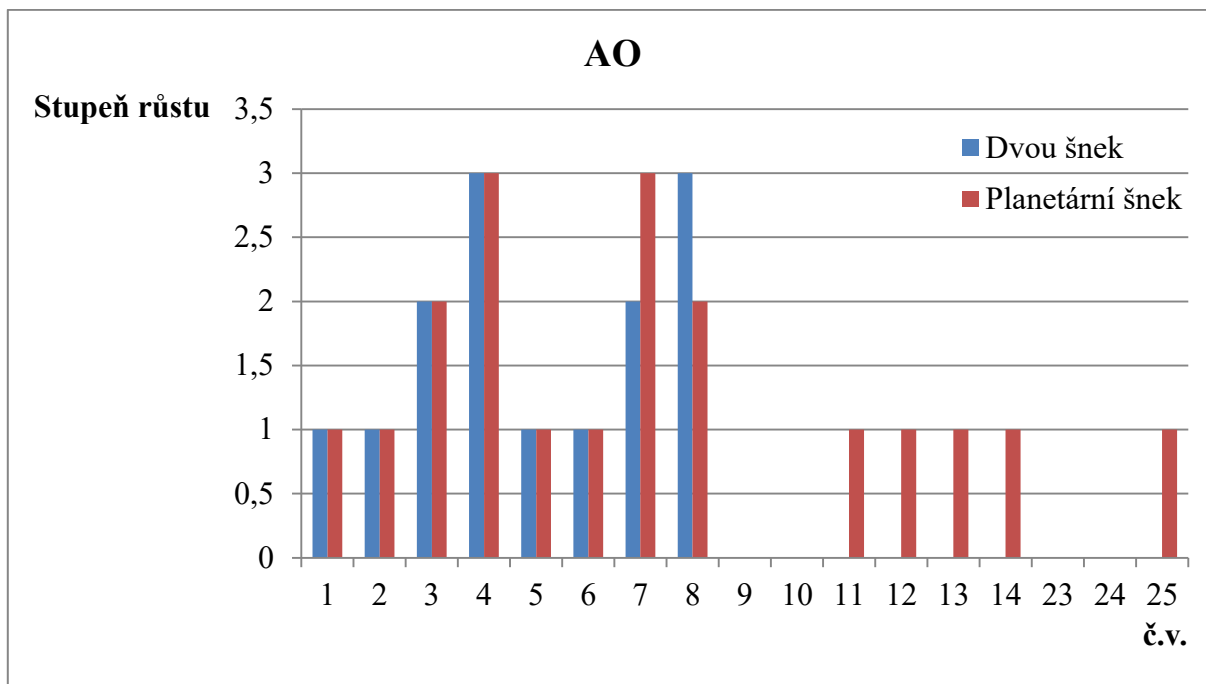
Graf. 19 Růst plísní *Gliocladium virens*



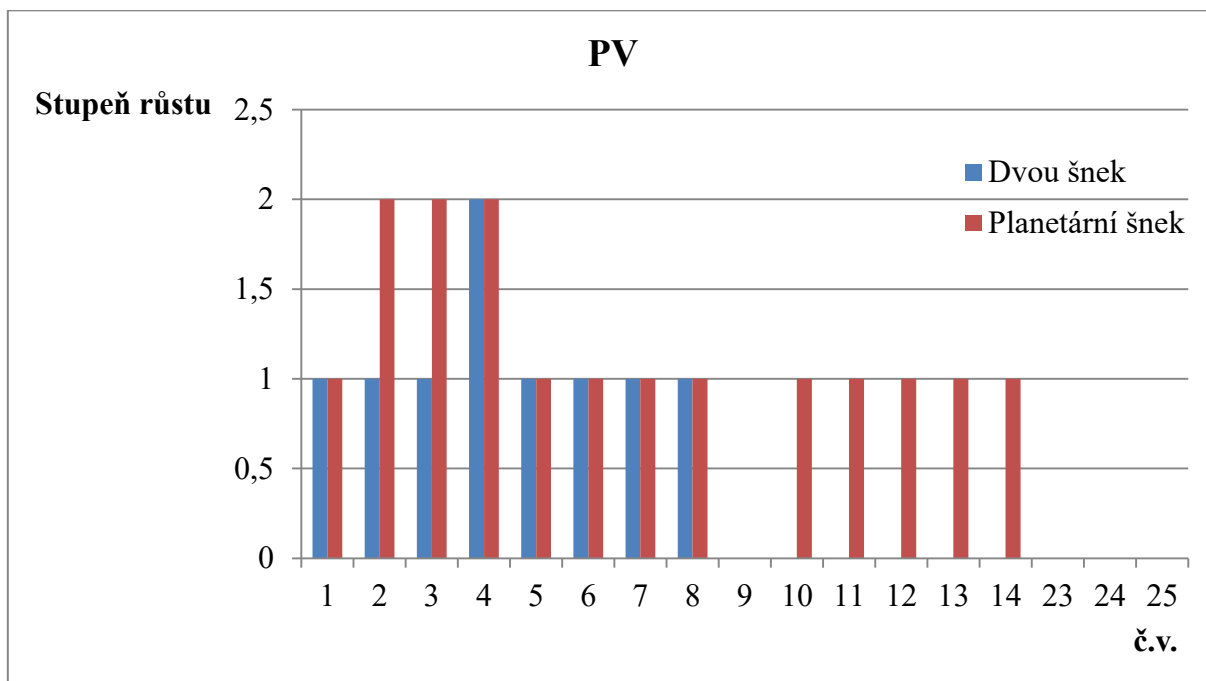
Graf. 20 Růst plísni *Penicillium funiculosum*



Graf. 21 Růst plísni *Aspergillus niger*



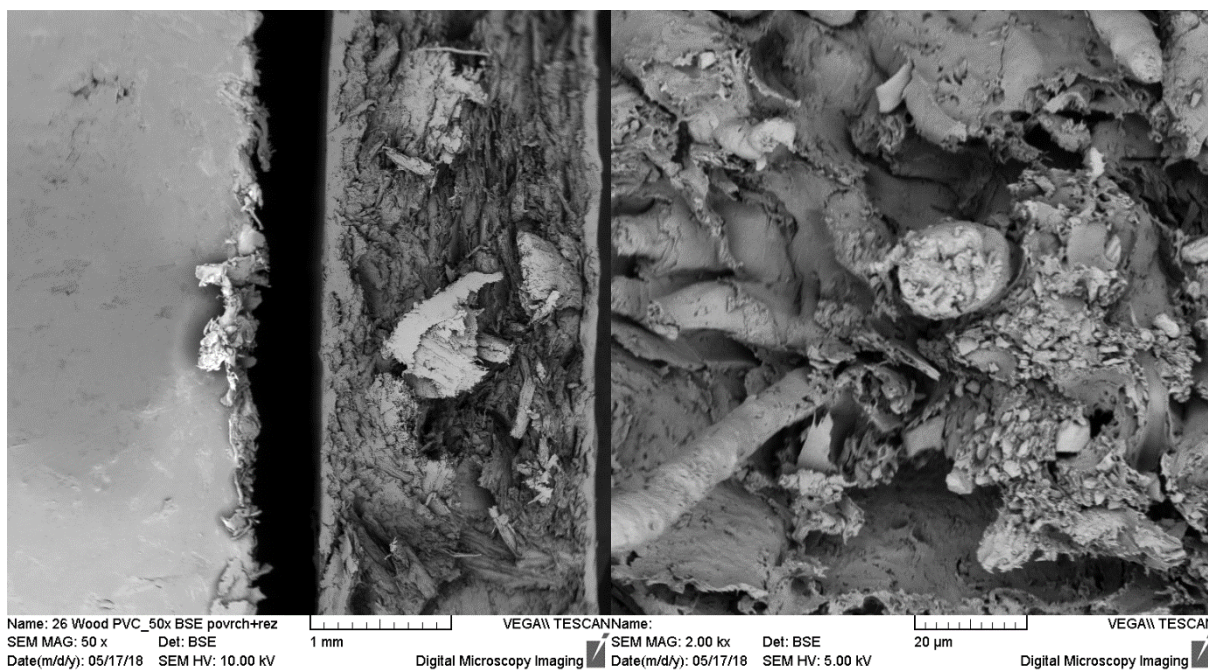
Graf. 22 Růst plísni *Aspergillus oryzae*



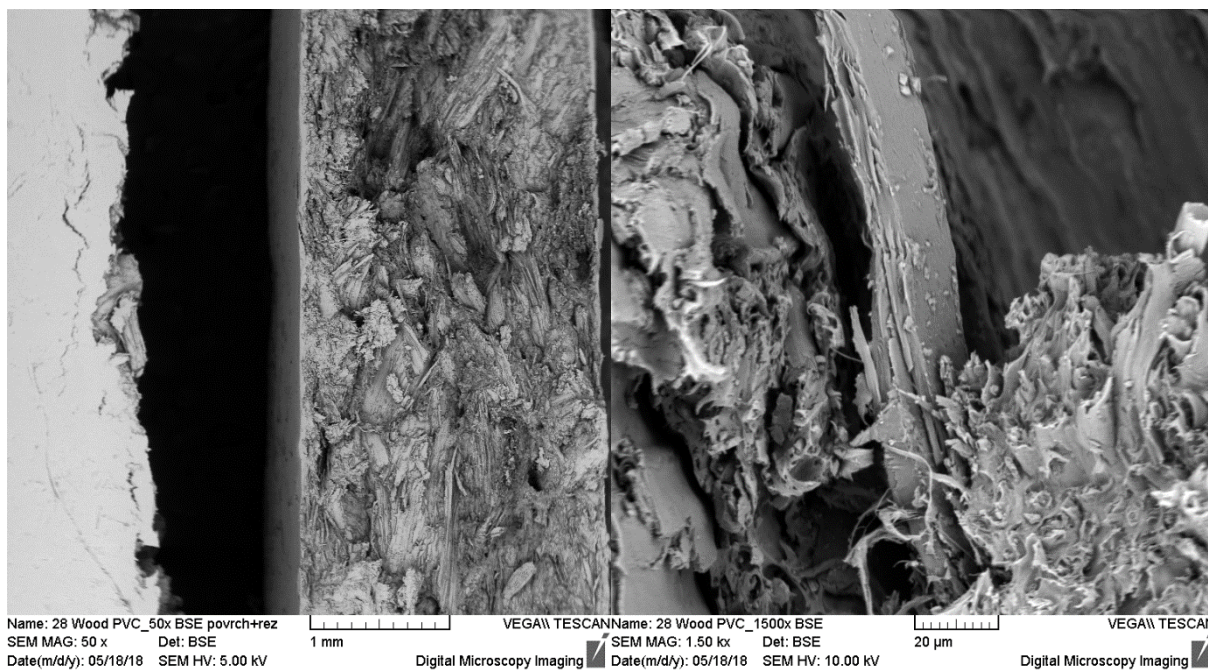
Graf. 23 Růst plísni *Paecilomyces variotti*

7.5 SEM WPC materiálů

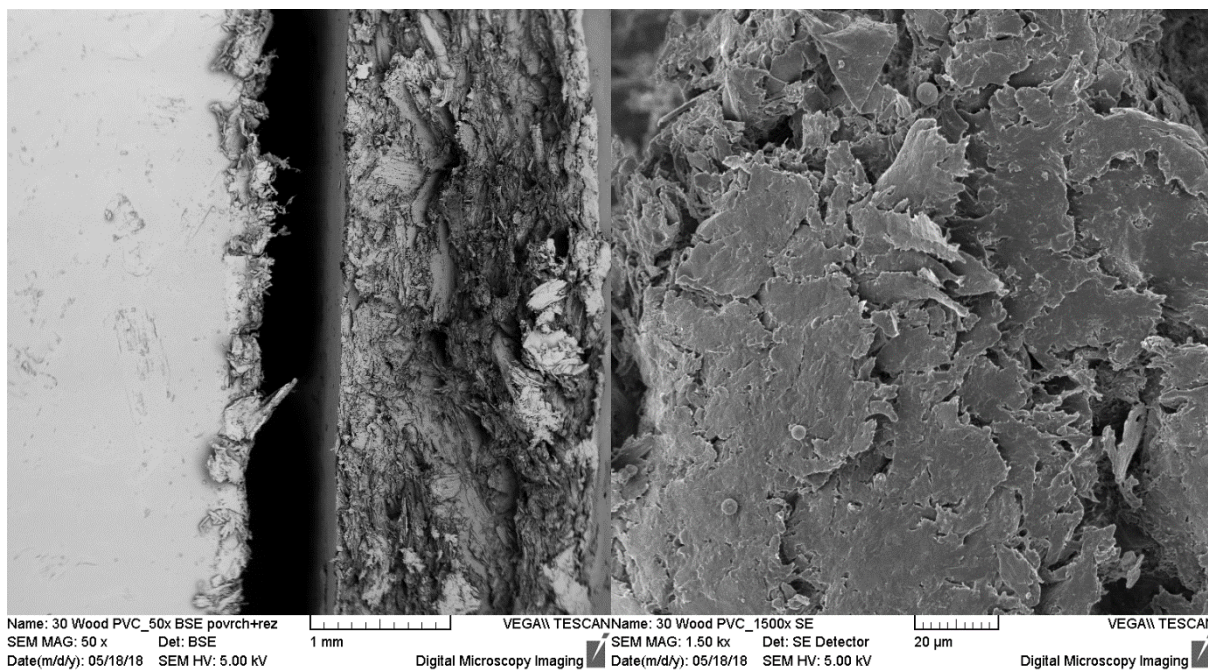
Skenovací elektronová mikroskopie patří mezi základní metody umožňující studium morfologie materiálů. Pro pozorování morfologie pomocí této metody byly vybrány směsi s rozdílnou koncentrací modifikátoru houževnatosti. Na snímcích vzorků 16,18,20,22 je vidět, že zrnitost dřevní hmoty má přímý vliv na strukturu vzorků vyrobených z jednotlivých směsí. Prokázal se také vliv modifikátoru na soudržnost vyrobeného materiálu.



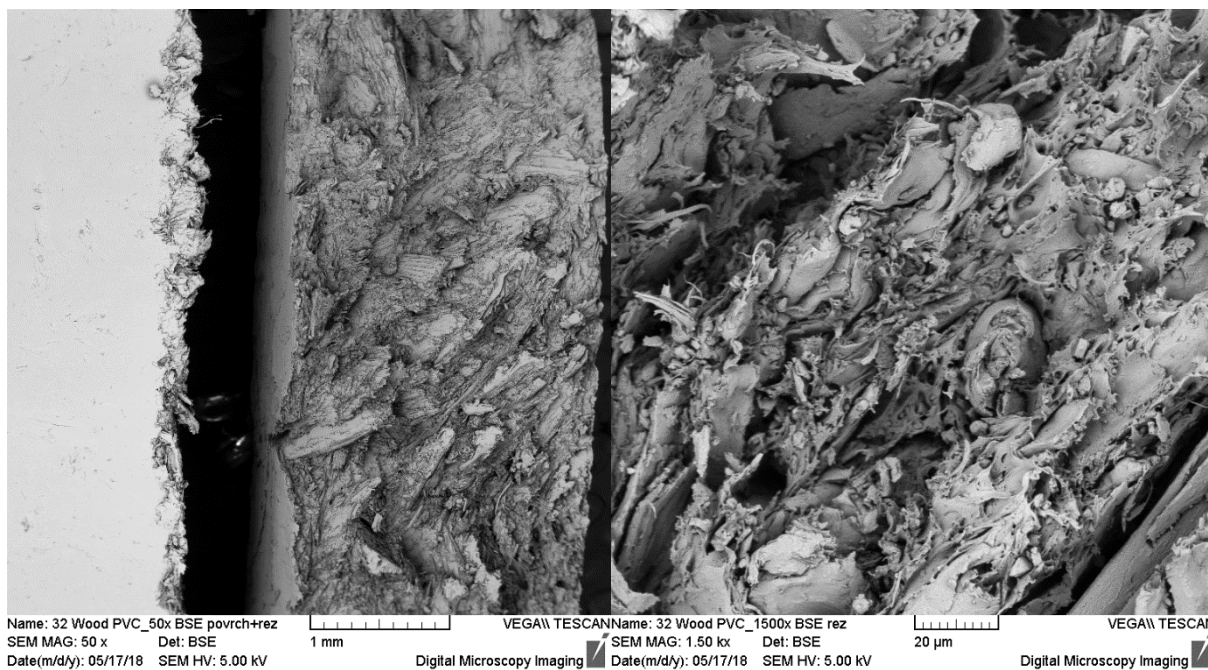
Obrázek 16 SEM snímek vzorku 16



Obrázek 17 SEM snímek vzorku 18



Obrázek 18 SEM snímek vzorku 20



Obrázek 19 SEM snímek vzorku 22

ZÁVĚR

Dřevoplastový kompozit (WPC) je materiál, který je vzhledově podobný přírodnímu dřevu, má však odlišné mechanické vlastnosti a je odolnější proti růstu plísní, čímž se jeho použití jeví vhodnější i z hlediska zdravotní nezávadnosti. Zároveň je možno modifikovat složení jednotlivých směsí, a tím ovlivňovat vlastnosti WPC dle požadavků pro následné použití.

Cílem práce bylo zjistit, jak se vybrané mechanické vlastnosti a odolnost proti růstu plísní liší u směsí s různým složením a způsobem přípravy. Při porovnání vybraných vlastností WPC byly použity také vzorky PVC bez příměsí. Pro zjištění odolnosti proti růstu plísní byly použity pro přesnější stanovení výsledků navíc také vzorky neošetřeného dřeva.

Srovnáním tahových a rázových zkoušek u všech receptur a podmínek přípravy se ukazuje, že směsi připravené dvoušnekovým extrudérem mají menší prodloužení a vyšší modul pružnosti. Zvyšující se množství přidané dřevní hmoty má pak pozitivní vliv na modul pružnosti, ale u ostatních sledovaných parametrů snižuje naměřené hodnoty, což lze hodnotit ve většině případů jako negativní. Při přidávání modifikátoru ovlivňuje vybrané vlastnosti množství přidané látky. Plněním do 5 % celkového množství směsi se modifikátor jeví jako složka zlepšující tahové vlastnosti a zhoršující rázovou houževnatost. Při 10% plnění se rázová houževnatost zlepšuje, což lze zřejmě vysvětlit tak, že modifikátor se začne chovat nejen jako pojídlo, ale také jako tvrdidlo. Tato cesta zlepšování rázové houževnatosti je však pro praxi ekonomicky velmi nevýhodná. Z důvodu vysoké ceny modifikátoru. Zrnitost se ukázala jako faktor, který výrazněji neovlivňuje žádný ze sledovaných parametrů. Příčinou bylo zřejmě použití modifikátoru ve určených vzorcích, což potvrdily i SEM snímky vybraných vzorků.

Z výsledků zkoušek nasákavosti vyplynulo, že typ použitého extrudéru má vliv na schopnost WPC přijímat kapalinu. Vzorky připravené na dvoušnekovém extruderu vykazovaly vyšší nasákavost při nižší teplotě kapaliny a kratší době ponoření. Při zvyšující se teplotě kapaliny a delší době ponoření se zvyšovala nasákavost u vzorků umíchaných na planetárním extruderu. Dle předpokladů se ukázalo, že faktor nasákavosti přímo ovlivňuje množství přidané dřevní hmoty, přičemž platí, že čím více přidané dřevní hmoty, tím větší byla nasákavost. Struktura dřevní hmoty zde nehrála zásadnější roli. Tuto negativní vlastnost směsí s vyšším podílem dřevní hmoty lze podle výsledků zkoušek korigovat přidáním modifikátoru. Nezanedbatelným faktorem se ukázala také teplota prostředí a délka působení vody na vzorek. V obou případech platí, že zvyšující se hodnoty jednotlivých faktorů působí negativně na nasákavost. Obecně se však potvrdilo pravidlo, že WPC směsi mají vždy lepší parametry v nasákavosti než dřevo.

Napříc všemi recepturami a podmínkami přípravy se ukazuje, že nejhorší odolnost vykazují vzorky vůči plísním PF a AO. Při sledování plísní GV, AN a PV je odolnost všech použitých vzorků viditelně lepší. Výsledky také ukazují, že zvýšený obsah dřevní hmoty snižuje odolnost proti růstu plísní. Zároveň to potvrzují i výsledky zkoušek na neošetřeném dřevě. Z výsledků lze vyvodit, že určitý vliv na rychlost růstu plísní má i velikost částic dřevní hmoty. Rozdíly jsou však poměrně nízké. Výsledky ukazují i patrný vliv obsahu modifikátoru na zpomalení růstu plísní.

Z dosažených výsledků lze usuzovat, že skladba receptur WPC má přímý vliv na mechanické vlastnosti výrobků z nich vyrobených. Jeho využití se jeví jako vhodnější všude tam, kde jsou výrobky ohrožovány venkovními vlivy. Naopak jako méně vhodné až nevhodné se ukazuje jejich konstrukční využití.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Lange, H. IMPROVING THE PROCESS EFFICIENCY OF WPC EXTRUSION BY A PRODUCTION LOSS MONITORING SYSTEM [online]; LAHTI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, 2013; pp 6–12. <https://es.scribd.com/document/154570675/Lange-Herman> (accessed April 07, 2017).
- [2] SOMBATSOMPOP, Narongrit, Kantima CHAOCHANCAIKUL, Chakarin PHROM-CHIRASUK a Sirinthorn THONGSANG. Effect of wood sawdust content on rheological and structural changes, and thermo-mechanical properties of PVC/sawdust composites. **Polymer International** [online]. 2003, *52*(12), 1847-1855 [cit. 2018-05-12]. DOI: 10.1002/pi.1386. ISSN 0959-8103. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/pi.1386>
- [3] BOUAFIF, Hassine, Ahmed KOUBAA, Patrick PERRÉ a Alain CLOUTIER. Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**. 2009, *40*(12), 1975-1981. DOI: 10.1016/j.compositesa.2009.06.003. ISSN 1359835X. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359835X0900178>
- [4] doc. Ing. Stoklasa, K., Csc. MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE II, 1st ed.; Univerzita Tomáše Bati: Zlín, 2005.
- [5] SOMBATSOMPOP, N a K CHAOCHANCAIKUL. Effect of moisture content on mechanical properties, thermal and structural stability and extrudate texture of poly(vinyl chloride)/wood sawdust composites. **Polymer International** [online]. 2004, *53*(9), 1210-1218 [cit. 2018-05-12]. DOI:10.1002/pi.1535. ISSN 0959-8103. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/pi.1535>
- [6] CHEMICKÉ SLOŽENÍ DŘEVA A KŮRY. Lesnická xylologie. https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/inovace/Lesnicka_xylologie/LEX_pr04-chemicke_slozeni.pdf (accessed April 03, 2017).
- [7] Chloe, V.; Block, D. CELLULOSE, 2010. MyOrganicChemistry. <https://myorganicchemistry.wikispaces.com/Cellulose> (accessed May 03, 2017).
- [8] Ústav nauky o dřevě HLAVNÍ SLOŽKY DŘEVA, 2007/2008. Hemicelulózy. http://elearning.soscelakovice.cz/repository/medialib/user_282/Obrazky/obr_ke_kurzu_materialy/Priloha_1_chemicke-slozeni-dreva.pdf (accessed March 18, 2017).

- [9] Lauko, P. TERMICKÝ ROZKLAD DŘEVA [online]; Mendelova zemědělská a lesnická univerzita: Brno, 2002. http://pavel.lauko.org/download/studium/chemie/ch2-horeni_dreva.pdf (accessed May 11, 2017).
- [10] Ing. Běhálek, L., Ph.D., POLYMERY [online]; © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz: Střední odborné učiliště Svitavy, 2016; p 5. <https://publi.cz/books/180/Impresum.html> (accessed April 08, 2017).
- [11] Klyosov, A. A. WOOD-PLASTIC COMPOSITES; Wiley-Interscience: Hoboken, N.J., 2007.
- [12] Koenigová, S. POŽADAVKY NA CERTIFIKACI OBKLADOVÉHO VÝROBKU Z MODIFIKOVANÉHO WPC, 2013. Digitální knihovně VUT v Brně. <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/29203> (accessed April 27, 2017).
- [13] PRACHAYAWARAKORN, J., J. KHAMSRI, K. CHAOCHANCHAİKUL a N. SOMBATSOMPOP. Effects of compatibilizer type and rubber-wood sawdust content on the mechanical, morphological, and thermal properties of PVC/LDPE blend. *Journal of Applied Polymer Science*[online]. 2006, *102*(1), 598-606 [cit. 2018-05-12]. DOI: 10.1002/app.24324. ISSN 0021-8995.
Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.24324>
- [14] Niska, K. O.; Sain, M. WOOD-POLYMER COMPOSITE, 1st ed.; Woodhead Publishing, 2008.
- [15] VLASTNOSTI DŘEVA – 3. VRCHOL TROJÚHELNÍKU STATIKY. akela.mendelu.cz. https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/inovace/Biomechanika_stromu/6_vlastnosti_dreva.pdf (accessed May 11, 2017).
- [16] Michael, P.; Wolcott; Schirp, A. INFLUENCE OF FUNGAL DECAY AND MOISTURE ABSORPTION ON MECHANICAL PROPERTIES OF EXTRUDED WOOD-PLASTIC COMPOSITES; Wood Materials and Engineering Laboratory, Department of Civil and Environmental Engineering: Washington State University, 2004.
- [17] POLYMERY. Katedra chemie FP TUL. www.kch.tul.cz/sites/default/files/texty/exnar/mb/texty/Plasty.doc (accessed April 20, 2017).
- [18] Ing. Běhálek, L. Ph.D., Navlhavost polymerů, 2015. Polymery. <https://publi.cz/books/180/07.html> (accessed April 20, 2017).

- [19] A.R. Peissig-Dolder GmbH [online produktový list]. *ARP-MOD-A/FF impact modifier*. ©2016 [cit. 12. 4. 2018]
Dostupné z: <https://www.fineorganics.com/additives-for-plastic/additives-for-rigid-pvc-products/finawax-c>.
- [20] HOUBY V BIODEGRADACI A BIODETERIORACI, 2013. Vzdělávání pro konkurenceschopnost. <http://isb-up.cz/data/PDF/HBIO/HBIO10.pdf> (accessed May 01, 2017).
- [21] VYHODNOCENÍ ZDRAVOTNÍHO RIZIKA VÝSKYTU PLÍSNÍ V BYTECH – ODBORNÉ STANOVISKO, 2015/2016. Projekt měření vnitřního ovzduší.
http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/Vnitri_ovzdusi/VYHODNOCENI_ZDRAVOTNI-HO_RIZIKA_VYSKYTU_PLISNI_V_BYTECH_ODBORNE_STANOVISKO.pdf (accessed May 01, 2017).
- [22] MVDr. Ostry, V, CSc. vláknité mikroskopické houby (plísňe), mykotoxiny a zdraví člověka [online]; Státní zdravotní řistav, pp 5–12.
http://www.szu.cz/uploads/documents/czpz/edice/plne_znani/brozury/Vlaknite_mikroskopicke_houby_.PDF (accessed May 02, 2017).
- [23] Petr, M. Termorezistentní mikroskopické houby v bylinách pro přípravu " čaje ". bakalářská práce, Masarykova Univerzita, 2011.
- [24] Dr.ing.Chumchalová, J.; Doc.RNDr. Němec, CSc, M.; RNDr. Kotoučková, PhD, L.; RNDr. Páčová, Z.; Ing. Savická, D.; RNDr. Kubátová, A.; Dr.ing. Patáková, P. MINIATLAS MIKROORGANISMŮ. <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/asp-ni.htm> (accessed April 14, 2017).
- [25] Nanavaty, H.; Ogledzinski, M. *Aspergillus oryzae*. Microbe Wiki.
https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Aspergillus_oryzae (accessed May 02, 2017).
- [26] *Aspergillus niger*. Fungi of Great Britain and Ireland. <http://fungi.myspecies.info/all-fungi/aspergillus-niger> (accessed May 02, 2017).
- [27] *Aspergillus Oryzae*. AGROTEKNO LAB. <http://www.agrotekno-lab.com/2013/06/aspergillus-oryzae.html> (accessed May 02, 2017).
- [28] Dr.Ing.Chumchalová, J.; Doc.RNDr. Němec, CSc, M.; RNDr. Kotoučková, PhD, L.; RNDr. Páčová, Z.; Ing. Savická, D.; RNDr. Kubátová, A.; Dr.ing. Patáková, P. MINIATLAS MIKROORGANISMŮ. <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/pae.htm> (accessed April 14, 2017).

- [29] Dr.ing.Chumchalová, J.; Doc.RNDr. Němec, CSc, M.; RNDr. Kotoučková, PhD, L.; RNDr. Páčová, Z.; Ing. Savická, D.; RNDr. Kubátová, A.; Dr.ing. Patáková, P. MINIATLAS MIKROORGANISMŮ. <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/pae.htm> (accessed May 20, 2018).
- [30] *Paecilomyces variotii*, 2012. Fun With Microbiology (What's Buggin' You?). <http://thunderhouse4-yuri.blogspot.cz/2012/04/paecilomyces-variantii.html> (accessed May 02, 2017).
- [31] *Penicillium funiculosum*, 2012. MYCOTA Fungal contaminants of cultural heritage. <http://mycota-crcm.mnhn.fr/site/specie.php?idE=108> (accessed April 04, 2017).
- [32] Dr.ing.Chumchalová, J.; Doc.RNDr. Němec, CSc, M.; RNDr. Kotoučková, PhD, L.; RNDr. Páčová, Z.; Ing. Savická, D.; RNDr. Kubátová, A.; Dr.ing. Patáková, P. MINIATLAS MIKROORGANISMŮ. <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/tri.htm> (accessed May 02, 2017).
- [33] Agarwal, T.; Malhotra, A.; Trivedi, P.; Biyani, M. Journal of Agricultural Technology. Biocontrol potential of *Gliocladium virens* against fungal pathogens isolated from chickpea, lentil and black gram seeds [Online] 2011, 1833-1838. http://ijataatsea.com/pdf/v7_n6_11_November/33_IJAT_2011_%20Tripti_Agarwal_FX_confirmed.pdf (accessed April 12, 2017).
- [34] Chap 2 Different Types of Extruders. SCRIBD. <https://www.scribd.com/doc/296549430/Chap-2-Different-Types-of-Extruders> (accessed March 20, 2017).
- [35] SAKAI, T. POLIMERY; Shizuoka University: Campus Innovation Center, 3-3-6 Shibaura, Minato, Tokyo 108-0023 Japan, 2013.pp 847-855.
- [36] Ing. Čelák, F. POPIS SORTIMENTU. RENEX. <http://mujweb.cz/celak/sortiment.htm> (accessed May 03, 2017).
- [37] Planetary System Structure. TAKIMSAN. <http://www.takimsan.com/en/planetary-system-structure.html> (accessed May 03, 2017).
- [38] Janíček, M. Přípravné operace, 2013. Kontinuální hnětací stroje. <http://www.utb.cz/file/36171> (accessed April 22, 2017).
- [39] STATICKÉ ZKOUŠKY KRÁTKODOBÉ, 2013. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_09.pdf (accessed March 23, 2017).

- [40] DYNAMICKÉ ZKOUŠKY, 2013. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_11.pdf (accessed March 23, 2017).
- [41] ZKOUŠKA RÁZOVÁ OHYBOVÁ VRUBOVÁ, 2013.
http://www.strojari.wz.cz/kom/razova_zkouska.htm (accessed March 23, 2017).
- [42] ZJIŠŤOVÁNÍ NASÁKAVOSTI, 2013. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
www.utb.cz/file/36240_1_1/ (accessed March 23, 2017).
- [43] Biotičtí škůdci dřeva., 2013. http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdrevva/3.pdf
 (accessed March 23, 2017).
- [44] Schirp, A.; Ibach, R. E.; Pendleton, D. E.; Wolcott, M. P. Biological Degradation of Wood-Plastic Composites (WPC) and Strategies for Improving the Resistance of WPC against Biological Decay [online]; Copyright ©: American Chemical Society, April 02, 2008; pp 480–507. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-2008-0982.ch029> (accessed Feb 17, 2017).
- [45] BorsodChem. [online Technický list]. *Organovil S-5167*. © 2010 [cit. 11. 3. 2018].
 Dostupné z: http://www.b2bpolymer.com/TDS/Borsodchem_Ongrovil_S5167.pdf
- [46] Universal Selector™ by SpecialChem [online]. *Baeropan R 9003 WP/8*. ©2018 [cit. 13. 4. 2018].
 Dostupné z: <https://polymer-additives.specialchem.com/product/a-baerlocher-baeropan-r-9003-wp-8>
- [47] Fine Organics. [online Technický list]. *Finawax-C*. © 2010 [cit. 12. 4. 2018].
 Dostupné z: <https://www.fineorganics.com/additives-for-plastic/additives-for-rigid-pvc-products/finawax-c>
- [48] IMERY'S PERFORMANCE & FILTRATION MINERALS [Technický list]. *Carbital™ 110S*. © 2001 [cit. 12. 4. 2018].
 Dostupné z: <http://imerys-carbonates.com/en/product-finder/?list3=1805>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

WPC	wood - plastic composite
PVC	polyvinylchlorid
PE	polyethylen
PP	polypropylen
PS	Polystyren
obr.	obrázek
h	hustota
E	modul pružnosti
σ_p	napětí
ε_p	prodloužení
CaCO ₃	uhličitan vápenatý
např.	například
č	číslo
PA	polyamid
CA	acetat celulosy
PTFE	poly(tetrafluorethylen)
cca	cirka
F	síla
A ₀	plocha
ε_L	protažení
l	délka zkušebního tělesa při přetržení
l ₀	délka zkušebního tělesa

W	deformační energie spotřebovaná k přeražení zkušebního tělesa a odečtená na stupnici zkušebního zařízení
b	šířka zkušebního tělesa
h	tloušťka zkušebního tělesa
m_0	hmotnost suchého materiálu
m_1	hmotnost mokrého okapaného vzorku materiálu
stab.	stabilizátor
modif.	modifikátor
tzv.	takzvaný
kt	kompaudační teplota
Fm	maximální síla
Rm	maximální napětí
Am	práce kladiva
Ab	celková práce k přeražení zkušebního vzorku
č.m.	číslo měření
GV	<i>Gliocladium virens</i>
PF	<i>Penicillium funiculosum</i>
AN	<i>Aspergillus niger</i>
AO	<i>Aspergillus oryzae</i>
PV	<i>Paecilomyces variotti</i>
č.v.	číslo vzorku
2š	dvoušnekový extruder
p	planetový extruder

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Strukturální vzorec PVC [4]	14
Obrázek 2. Strukturální vzorec Celulózy [7]	15
Obrázek 3. Strukturální vzorce Hemicelulózy	16
Obrázek 4. Strukturální vzorec Ligninu [9]	17
Obrázek 5. Porovnání výsledků přirozeného stárnutí WPC profilů bez/s aditivy – tedy vliv UV, tepla, vlhkosti a přirozeného prostředí včetně působení hub a plísní	28
Obrázek 6. <i>Aspergillus niger</i> [27]	30
Obrázek 7. <i>Aspergillus oryzae</i> [28].....	30
Obrázek 8. <i>Paecilomyces variotii</i> [30]	31
Obrázek 9. <i>Penicillium funiculosum</i> [31]	31
Obrázek 10. <i>Gliocladium virens</i> [32].....	32
Obrázek 11. Dvoušnekový extruder [36]	34
Obrázek 12. Planetární extruder [37]	35
Obrázek 13 Schéma teplot planetárního extruderu	43
Obrázek 14 Schéma teplot dvoušnekového extruderu	44
Obrázek 15 Schéma zkoušky rázové houževnatosti metodou Charpy [41]	47
Obrázek 16 SEM snímek vzorku 16	66
Obrázek 17 SEM snímek vzorku 18	67
Obrázek 18 SEM snímek vzorku 20	67
Obrázek 19 SEM snímek vzorku 22	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Mechanické vlastnosti dřeva smrk o vlhkosti 12 % [16]	24
Tabulka 2. Dvoušnekové elementy [34]	34
Tabulka 3 parametry PVC [45]	37
Tabulka 4 Parametry stabilizátoru Baeropan [46].....	38
Tabulka 5 parametry modifikátoru.....	38
Tabulka 6 parametry vosku Finawax C [47].....	39
Tabulka 7 parametry CaCO ₃ [48].....	39
Tabulka 8 Chemická analýza CaCO ₃ [48].....	39
Tabulka 9 Receptury zpracovávané na planetárním i dvoušnekovém extruderu.....	40
Tabulka 10 Receptury planetárního extruderu část 1	41
Tabulka 11 Receptury planetárního extruderu část 2	41
Tabulka 12 Takimsan PLATEX 80.....	42
Tabulka 13 Dvoušnek Brabender	43
Tabulka 14. Stupeň růstu plísní.....	62
Tabulka 15. Růst plísní na neošetřeném dřevě.....	62

SEZNAM GRAFŮ

Graf. 1 Teplota rozkladu WPC materiálu. [2]	13
Graf. 2 Vliv obsahu dřevěných pilin na pevnost v tahu a nárazu [2]	22
Graf. 3 Vliv obsahu dřevěných pilin u modulu tahu a prodloužení [2]	22
Graf. 4 Vliv obsahu dřevěných pilin u modulu pružnosti a modulu ohybu [2]	23
Graf. 5 Mechanické vlastnosti WPC – závislost deformace na napětí: Compression – tlak, Flexure – ohyb, Tension – tah, Torsion – kroucení [14]	23
Graf. 6 Vliv vlhkosti na modul pružnosti v tahu Kompozity PVC / piliny [19]	25
Graf. 7 Vliv vlhkosti na prodloužení při přetržení Kompozity PVC / piliny [19]	26
Graf. 8 Vliv obsahu vlhkosti na pevnost v tahu kompozity PVC / piliny [19]	26
Graf. 9 Vliv vlhkosti na rázovou pevnost kompozity PVC / piliny [19]	27
Graf. 10 Tahová křivka [39]	46
Graf. 11 Prodloužení při přetržení	52
Graf. 12 Maximální síla	53
Graf. 13 Pevnost v tahu	54
Graf. 14 Modul pružnosti	55
Graf. 15 Energie potřebná k přeražení tělíska	57
Graf. 16 Celková práce k přeražení vzorku	58
Graf. 17 Nasákavost WPC při 20°C	60
Graf. 18 Nasákavost WPC při 50°C	61
Graf. 19 Růst plísní <i>Gliocladium virens</i>	63
Graf. 20 Růst plísní <i>Penicillium funiculosum</i>	64
Graf. 21 Růst plísní <i>Aspergillus niger</i>	64
Graf. 22 Růst plísní <i>Aspergillus oryzae</i>	65
Graf. 23 Růst plísní <i>Paecilomyces variotti</i>	65