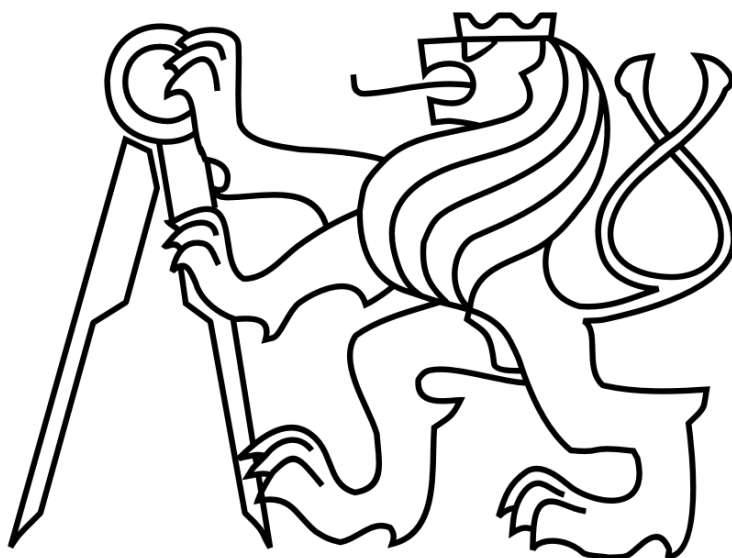


# České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra materiálového inženýrství a chemie



## Diplomová práce

Praha, 2017

Vypracoval: Bc. Tomáš Čermoch

Vedoucí práce: Ing. Miloš Jerman, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma vypracoval pod vedením vedoucího diplomové práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury.

.....

podpis

Děkuji tímto svému vedoucímu práce Ing. Miloši Jermanovi, Ph.D., za všestrannou pomoc a odborné vedení při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji firmě PERWOOD za zaslání zkušebních vzorků. V neposlední řadě děkuji také rodině, Vojtěchu Pastorovi a Glebu Lukovnikovovi za cenné rady a morální podporu.

WPC (Wood plastic composite) – Dřevo-plastový  
kompozit

**Anotace:**

Tato práce se věnuje rešerši na téma WPC. Je zde popsána technologie výroby, složení výrobní směsi a také konečné využití zhotovených prvků. V druhé části jsou popsány zkoušky, které byly provedeny na zkušebních tělesech, které byly dodány firmou PERWOOD. Dodané byly 3 různé druhy materiálů, na všech budou provedeny stejné zkoušky a výsledky poté porovnány.

**Klíčová slova:** WPC, dřevo, plast, kompozit

**Abstract:**

This work is dedicated to the search topic WPC. There is described the production technology, the composition of the mix and also the final use of manufactured elements. The second part describes the tests that were conducted on specimens that were supplied by PERWOOD. Supplied were 3 different types of material at all will be performed the same test and the results then are compared.

**Keywords:** WPC, wood, plastic, composite

## Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíl práce .....	11
3	Co je to WPC? .....	12
4	Plastové polymery: Struktura a vlastnosti.....	13
4.1	Struktura .....	14
4.2	Vlastnosti .....	15
5	Dřevo: struktura a vlastnosti .....	16
5.1	Struktura .....	16
5.2	Chemické složky dřeva .....	18
5.3	Vlastnosti .....	19
5.4	Hustota .....	19
5.5	Sorpce vlhkosti .....	20
5.6	Trvanlivost .....	21
5.7	Teplotní vlastnosti .....	21
5.8	Mechanické vlastnosti .....	23
6	Výrobní technologie dřevoplastových kompozitů .....	25
6.1	Úvod.....	25
6.2	Suroviny .....	25
6.3	Skladování a doprava materiálu .....	26
6.3.1	Skladování sypkého materiálu : Dřevní moučky .....	26
6.3.2	Skladování sypkého materiálu : Polymerů .....	27
6.4	Doprava .....	27
6.4.1	Pneumatická doprava.....	27

6.4.2	Mechanická doprava .....	28
7	Plnicí systémy .....	29
7.1	Šroubovicový plnič.....	30
7.2	Pásový Plnič .....	30
8	Směšovací technologie .....	30
8.1	Hot-cold mixer .....	32
8.2	Jednoduchá šroubovice .....	33
8.3	Dvojitá šroubovice rotující proti sobě .....	33
8.4	Dvojitá šroubovice rotující ve stejném směru.....	34
9	Aditiva.....	35
9.1	Úvod.....	35
9.2	Maziva (lubrikanty).....	37
9.3	Pojiva .....	39
9.4	Stabilizátory .....	39
9.4.1	Antioxidanty .....	40
9.4.2	UV Stabilizátory .....	40
9.4.3	PVC tepelné stabilizátory .....	41
9.5	Příměsi na snížení hustoty.....	41
9.6	Biocidy .....	42
9.7	Pigmenty.....	42
9.8	Zpomalovače hoření.....	43
10	Praktická část .....	44
10.1	Úvod .....	44
10.2	Základní fyzikální vlastnosti .....	44



10.2.1	Metoda Vakuové nasákavosti .....	44
10.2.2	Pomůcky .....	44
10.2.3	Postup.....	44
10.2.4	Objem vzorků .....	47
10.2.5	Pórovitost .....	50
10.2.6	Objemová hmotnost.....	51
10.2.7	Závěr .....	52
10.3	Difuze vodní páry .....	53
10.3.1	Cup method (misková metoda).....	53
10.3.2	Dry cup.....	57
10.3.3	Wet cup .....	58
10.3.4	Závěr .....	58
10.4	Koeficient absorpce vody.....	59
10.4.1	Absorpční koeficient.....	60
10.4.2	Součinitel vlhkostní vodivosti .....	64
10.5	Mrazuvzdornost .....	64
10.5.1	Pomůcky .....	65
10.5.2	Výsledné hodnoty.....	67
10.5.3	Závěr .....	68
10.6	Cenové srovnání.....	69
10.6.1	Závěr .....	71
11	Závěr.....	72
12	Seznam obrázků .....	74
13	Seznam Tabulek .....	75

14	Seznam grafů.....	76
15	Reference .....	77
16	Přílohy .....	81

## 1 Úvod

Kompozity jsou materiály, které jsou tvořeny dvěma nebo více složkami s rozdílnými vlastnostmi. Tato kombinace dává výslednému materiálu vlastnosti, kterých by jeden bez druhého nebyly schopné dosáhnout. Základní dělení kompozitů je z hlediska druhu nosné matrice. Konkrétně WPC (Wood plastic composite – dřevoplastový kompozit) je zařazen do kompozitů s polymerní matricí. WPC je název pro kompozit, který je tvořen 30 až 70% dřevní složkou, která vyplňuje termoplastovou matrici. [1] [2]

Poprvé jsem se o tomto materiálu dozvěděl na přednášce pana Olofa Friska na škole KTH Royal Institute of Technology ve Švédsku, kde jsem byl jeden semestr na Erasmu. Tento pán stál jako jeden z prvních u začátků WPC v Evropě a dlouhou dobu vlastnil také firmu na zpracování kompozitu. Dokázal mluvit tak poutavě a zajímavě, že mě tento materiál začal zajímat a po návratu jsem se rozhodl, že bych o něm mohl napsat tuto diplomovou práci.

## 2 Cíl práce

Cílem první části této práce je provést komplexní rešerši na téma WPC. V rámci rešerše je zpracována charakteristika jednotlivých složek kompozitu, jejich vlastností, způsobu zpracování, vlastností kompozitu jako celku. Jelikož celou řadu let se ve stavebnictví pro prvky, na které cílí právě WPC používá dřevo, v mnoha ohledech bude v této práci kompozit porovnáván právě s tímto materiálem, neboť právě dřevo je hlavním konkurentem na trhu pro dřevoplast. Dále také způsob výroby a v neposlední řadě také příměsi, které modifikují WPC. Ve všech směrech se budu vždy snažit porovnat WPC s dalšími materiály, které se používají v podobném odvětví.

Ve druhé části – praktické, byly laboratorně zkoumány vzorky, které mi poskytla firma PERWOOD. Firma mi dodala 3 různé typy vzorků, černé, tmavě hnědé a světle hnědé. Každá barva má trochu jiné složení aditiv, poměr zastoupení dřevní složky ku plastu je ve všech stejný.

Zde je uvedeno složení jednotlivých vzorků které mi poskytl výrobce:

**Vzorek Černý:** 75kg PVC (46,6%), 50kg dřevní moučka Beky (31,3%), 25kg křídý (15,5%), aditiva (6,6%). Seznam aditiv si výrobce nepřál zveřejnit.

**Vzorek Tmavě hnědý:** 75kg PVC (46,6%), 50kg dřevní moučka Arbocel (31,3%), 25kg křídý (15,5%), aditiva (6,6%).

**Vzorek Světle hnědý:** 75kg PVC (46,6%), 50kg dřevní moučka Beky (31,3%), 25kg křídý (15,5%), aditiva (6,6%). Některá aditiva byla vyměněna za jiný typ.

Zkoušeny byly vzorky pro zjištění hlavních fyzikálních vlastností, nasákavosti, mrazuvzdornosti, absorpci vody a další. Cílem zde bylo nejen získat informace o konkrétních číslech, ale také porovnání se dřevem, které je přímým konkurentem na trhu pro WPC. V neposlední řadě byl proveden také odhad nákladů při realizaci některých prvků ze dřeva a z kompozitu.

### 3 Co je to WPC?

V posledních dvaceti letech se WPC (Wood Plastic Composite), česky dřevoplastový kompozit, stal nejmodernějším komerčním produktem s rostoucím tržním potenciálem v oblasti stavebnictví a nábytku. Ačkoli má WPC dlouhou historii v Evropě již od počátku jednadvacátého století, hlavní komercializace se udála teprve od počátku roku 1990. [2] [3]

Abychom vůbec pochopili WPC jako celek odpovídajícím způsobem, musíme nejprve pochopit jeho dvě hlavní složky. Obě jsou velmi odlišné původem, strukturou a vlastnostmi. Ve WPC, polymerní matice tvoří kontinuální fázi, obklopující dřevo.

Tyto matice polymerů při zahřátí poměrně lehce tečou, což umožňuje velkou flexibilitu zpracování, pokud je dřevo v kombinaci právě s nimi. Tyto polymery mají větší tendenci se smršťovat a bobtnat s teplotou ale absorbují málo vlhkosti a mohou být velmi dobrou překážkou pronikání vlhkosti, pokud je kompozit dobře navržený. Dřevo samotné obsahuje také polymery, jako je celulóza, lignin a různé hemicelulózy, ale má velmi odlišné vlastnosti od syntetických polymerů. Dřevo je levnější, tužší a pevnější, než tyto syntetické polymery, proto se používá jako plnivo nebo jako „výztuž“. Ačkoli dřevo se výrazně nesmršťuje a nebobtná s měnící se teplotou, tento jev u dřeva hrozí a to v souvislosti s vlhkostí, tu totiž dřevo absorbuje velice dobře. Po absorpci mění své vlastnosti, rozměry a to může vést k biodegradaci, pokud dřevo není chráněno. [2] [4]

V této části se budu věnovat okrajově hlavním polymerům dřeva, aby bylo snadnější pochopit jeho působení v kompozitu.

#### 4 Plastové polymery: Struktura a vlastnosti

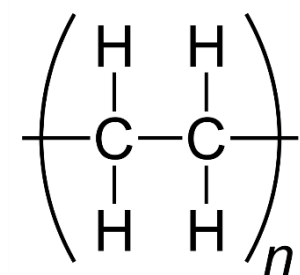
Slovo polymer pochází ze řeckého poli, což znamená mnoho a meros, což znamená části. Polymery mohou být přírodní (kolagen, keratin, celulóza) nebo syntetické (polypropylen, polyethylen). Polymer se nazývá plastem, pokud obsahuje další materiály, jako stabilizátory, změkčovadla nebo jiné aditiva. Vzhledem k nízké tepelné stabilitě dřevité moučky, používají se při výrobě WPC především plasty, které se dají dobře zpracovávat i při teplotách nižších, než 200 stupňů celsia. V Severní Americe se převážně při výrobě WPC používá polyethylen. Hlavním důvodem je, že výroba WPC se bere jako levná a efektivní cesta, jak využít recyklovaný polyethylen. V Evropě se více používá polypropylen. [2] [4]

## 4.1 Struktura

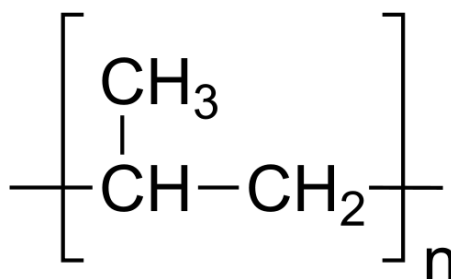
To, jak se polymer chová a jak reaguje je dáno jeho molekulární strukturou. Tato struktura se vytváří při procesu zvaném polymerizace, při kterém reagují lehké molekulární monomery a utváří dlouhé polymerové řetězce. V tabulce 1 jsou ukázány dva hlavní polymery a jejich přibližná teplota skelného přechodu ( $T_g$ ) a teplota tání ( $T_m$ ). Pod tabulkou jsou ukázány strukturální jednotky obou polymerů. Obr. 1 Polyethylen, Obr. 2 Polypropylen. [2] [4]

Zkratka	Polymer	$T_g$ (°C)	$T_m$ (°C)
PE	Polyethylen	-125	135
PP	Polypropylen	-20	170

Tabulka 1 - Teploty skelného přechodu a teploty tání [2]



Obrázek 1 – Polyethylen [2]



Obrázek 2 - Polypropylen [2]

Počet opakování jednotek v polymeru určuje stupeň polymerizace. Více do detailů bych otázce struktury jednotlivých polymerů nezabíhal a přešel bych k vlastnostem.

## 4.2 Vlastnosti

Vlastnosti termoplastových polymerů jsou vysoce ovlivněny teplotou, v jaké jsou měřeny a na rychlosti měření. Obecně můžeme říci, pokud snížíme pod teplotu tání, polymer se chová jako pevný materiál. Pokud je polymer částečně krystalický, začnou se vyvíjet krystaly. Pokud se teplota dále snižuje pod teplotu skelného přechodu, amorfni části se zpevní a utvoří se tvrdý, skelnatý a křehký materiál. [2] [4]

Polymery mají jak vlastnosti pevných materiálů, jako například pružnost a tvarovou stálost, tak vlastnosti tekutých, jako například tečení v čase, které závisí na teplotě, tlaku a napětí. Tato tendence polymerů chovat se jako kombinace viskózních a pružných, pevných látek se označuje jako viskoelastická. Vlastnosti polymerů při pokojové teplotě ukazuje Tabulka 2. [2] [4]

Polymer	Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	Pevnost v tahu (MPa)	Modul v tahu (GPa)	Protažení při porušení (%)	Absorpce vody za 24h (%)	Teplotní vodivost (W/mK)
Polyetylen s nízkou hustotou	0,91 - 0,93	8 - 23	0,2 - 0,5	300 - 1000	<0,01	0,32 - 0,40
Polyetylen s vysokou hustotou	0,94 - 0,96	18 - 35	0,7 - 1,4	100 - 1000	<0,01	0,38 - 0,51
Polypropylen	0,90 - 0,92	21 - 37	1,1 - 1,3	20 - 800	0,01 - 0,03	0,17 - 0,22

Tabulka 2 - Vlastnosti polymerů [2]

Výše jsem zmiňoval také vliv rychlosti měření. Například většina polymerů mají vyšší moduly, když je napětí vneseno náhle, než když je aplikováno pozvolna, po delší časový úsek. Dále některé polymery mají tendenci dotvarovávat, pokud jsou vystaveny stálému dlouhodobému zatížení, na to je třeba pamatovat, při navrhování

plastových prvků ve stavebnictví. Všechny polymery absorbují velmi malé množství vlhkosti a mohou tedy sloužit jako hydroizolační materiály. To je důležité taky ve WPC, protože sorpce vody může negativně ovlivnit chování kompozitu. Vlhkost tedy polyethylenu a polypropylenu nevadí, co však nesnáší dobře je UV záření, proto je velmi časté používání UV-stabilizačních aditiv do WPC. Teplotní roztažnost a kontrakce polyethylenu a polypropylenu jsou značné a mají tendenci dotvarovávat, zejména při vysoké teplotě a pod zatížením. Tento jev se dá také do jisté míry omezit přidáním plniv a vyztužením. Polyvinyl chlorid se také používá při výrobě WPC, zdaleka ne však v takové míře jako polyethylen nebo polypropylen. Má dobré mechanické vlastnosti, avšak širšímu využití brání problémy s patentováním PVC pro výrobu WPC. [2] [4] [5]

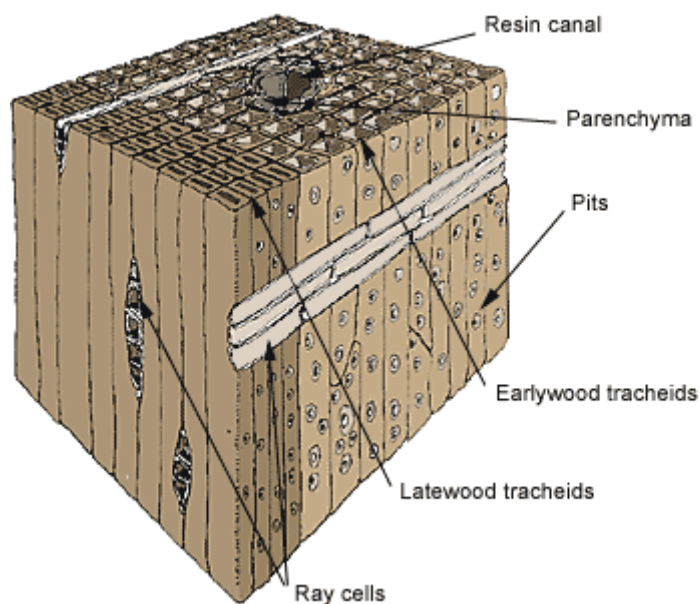
## 5 Dřevo: struktura a vlastnosti

Dřevo obsahuje přírodní polymery, lignin, celulózu a hemicelulózu, které ale mají velmi odlišné vlastnosti od syntetických polymerů, se kterými jsou nejčastěji kombinovány. Účinná kombinace vytvoří pevný, tvrdý a lehký materiál. Z pohledu polymerních kompozitů, dřevo je levnější a tužší, než většina syntetických polymerů a tak se výborně hodí jako plnivo nebo jako jejich výztuž. Bohužel některé vlastnosti dřeva, které jsou potřebné v přírodě, jako velmi dobré vedení vody v živém stromě, nejsou žádoucí v kompozitním materiálu. Proto, abychom dokázali efektivně využít dřevo jako plnivo nebo výztuž v kompozitu, musíme znát chování tohoto materiálu. [2] [6]

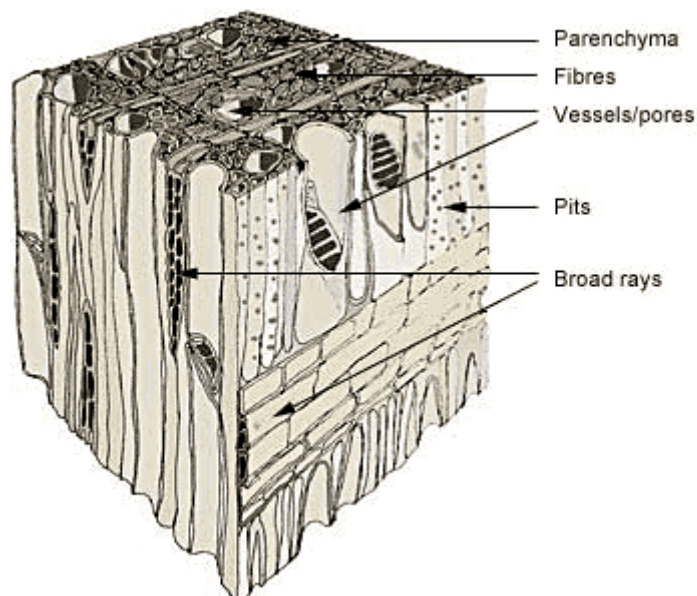
### 5.1 Struktura

Jako u většiny přírodních materiálů, stavba dřeva je komplexní. Dřevo je porézní, vláknitý a anizotropní materiál. Dřevo je často rozdělováno do dvou hlavních tříd: měkké dřevo (nahosemenné) a tvrdé dřevo (krytosemenné). Toto rozdělení je spíše botanické a na základě anatomických vlastností, než na tvrdosti dřeva. Na obrázcích 3 a 4 je schéma měkkého a tvrdého dřeva, respektive jejich typická anatomie. [2] [7] [6]





Obrázek 3 - Schéma měkkého dřeva [8]



Obrázek 4 - Schéma tvrdého dřeva [9]

Měkké dřevo (nahosemenné) zahrnuje druhy jako borovice, smrky, jedle a cedry, tvrdé dřevo (krytosemenné) potom druhy jako duby, javory a jasany.

Dřevo je primárně tvořeno z dutých, podlouhlých vřetenovitých buněk (tracheidy nebo vlákna), které jsou nalepeny na sebe a vedou rovnoběžně s kmenem

stromu. Lumen (dutý vnitřek vlákna) je vyplněn buď částečně nebo kompletně pryskyřicí, popřípadě výrůstky z vedlejších buněk. Tyto vlákna jsou spojeny k sobě a vytvářejí základní dřevní tkáň. Délka těchto vláken se pohybuje okolo 1mm u tvrdých dřevin a okolo 3-8mm pro měkké dřevo. Průměr vláken je typicky 15-45 nanometrů. [2] [7] [6]

## 5.2 Chemické složky dřeva

Dřevo jako takové je trojrozměrný polymerový kompozit tvořen primárně celulózą, hemicelulózą a ligninem. Tyto tři polymery obsahující hydroxylové skupiny jsou rozmístěny v buněčné stěně. Chemické složení vybraných druhů dřeva je ukázáno v tabulce 3. [6]

Druh dřeva	Celulóza	Hemicelulóza	Lignin	Extrakty	Ostatní
Borovice těžká	41	27	26	5	0,5
Borovice kadidlová	45	23	27	4	0,2
Pazerav sbíhavý	37	19	34	3	0,3
Červený javor	47	30	21	2	0,4
Dub bílý	47	20	27	3	0,4
Jižní dub červený	42	27	25	4	0,4

Tabulka 3 - Chemické složení různých druhů dřeva [2]

Celulóza je hlavní složkou dřeva, která zajišťuje strukturní stabilitu a pevnost. Lignin je amorfni síťový polymer skládající se z řady nepravidelných hydroxylových a methoxylovo-substituovaných jednotek. Lignin je více nepolární než celulóza a působí jako chemické lepidlo uvnitř a mezi celulózovými vlákny. Pokud bychom přirovnali stavbu dřeva k železobetonu, který je nám mnohým bližší, jistou podobnost bychom mohli přiřadit. Celulóza je podobná kamenivu – je to pevná složka, která zajišťuje výplň a pevnost. Lignin je podobný cementu, který spojuje jednotlivé složky dohromady a působí jako pojivo a hemicelulóza může být přirovnána k výztuži, protože zajišťuje do jisté míry tahovou pevnost dřeva. [6]

Další organické komponenty, zvané extrakty tvoří 3-10% suchého dřeva rostlého v mírném podnebí, ale mnohem větší procentuálně zastoupení bylo zjištěno ve dřevě, které pochází z tropického pásu. Extrakty obsahují látky, jako jsou tuky, vosky, pryskyřice, proteiny, gumu, terpeny a jednoduché cukry. Mnoho těchto extraktů má svoji úlohu v žijícím stromě, například jako zásobárna energie nebo obrana proti mikrobiálnímu poškození. I malé množství extraktů může mít velký vliv na vlastnosti jako barva, vůně a odolnost proti hnilobě. [2] [6]

### 5.3 Vlastnosti

Vzhledem ke své obchodní důležitosti, vlastnosti různých druhů dřeva velmi dobře známé. Nicméně vlastnosti vláken a částí dřeva mohou být výrazně odlišné od dřeva, ze kterého jsou získány. Záleží na způsobu zpracování, který může ovlivnit povrch, hustotu a obsah vlhkosti dřevního komponentu ve finálním kompozitu. Například dřevní vlákna zpracovaná termomechanicky vedou k povrchu bohatém na lignin. Tyto povrchové změny mohou ovlivnit přilnavost s polymery. Nejdůležitější vlastnosti dřeva nyní rozeberu podrobněji. [2] [7]

### 5.4 Hustota

Ačkoliv hustota stěny dřevní buňky je kolem 1440-1500 kg/m<sup>3</sup>, pórovitost dřeva má za následek výsledné objemové hmotnosti 320-720 kg/m<sup>3</sup>, pro suché dřevo. Není překvapivé, že plnivo vyrobené ze dřeva má objemovou hmotnost daleko menší, než dřevo. Například objemová hmotnost dřevní moučky je kolem 190-220 kg/m<sup>3</sup>. To závisí samozřejmě na obsahu vlhkosti, typu dřeva a velikosti jednotlivých částí. Dřevní moučka jako plnivo je neobvyklá v tom, že je stlačitelná. Vysoké tlaky v průběhu výroby mnoha plastů způsobují, že se mohou zhroutit dutá vlákna, která jsou v dřevní moučce nebo se vyplní nízkomolekulárními přísadami. Stupeň kolapsu nebo vyplnění závisí na různých faktorech, jako velikost částic, proces výroby a viskozita. Hustota dřeva může v kompozitech dosahovat až hodnot 1440-

1500kg/m<sup>3</sup>, což je hustota stěny dřevní buňky. To hlavně u procesů, při kterých je použit velký tlak, např. tlakové vstřikování. V důsledku toho, přidání dřeva do komoditních plastů jako polypropylen, polyethylen nebo polystyren, zvyšuje jejich hustotu, přestože jejich hustota je vyšší, než samotného dřeva před smícháním. I přesto je ale hustota stlačeného dřeva výrazně menší, než běžných anorganických plniv, které mají typicky kolem 2500-2800kg/m<sup>3</sup>. Tato výhoda se využívá hlavně v odvětvích, kde je důležitá malá hmotnost, jako třeba komponenty do automobilového průmyslu. [2]

### 5.5 Sorpce vlhkosti

Hlavní chemické složky dřevní buněčné stěny jsou hydroxylové a další molekulární skupiny, které přitahují vlhkost. Vstřebávaná vlhkost narušuje a snižuje vodíkovou vazbu mezi buněčnými stěnami polymerů a mění mechanické vlastnosti. Nicméně vnitřek celulózy je krystalický a nepřístupný vlhkosti, což je důležité pro udržení tuhosti stromu i při vysokém obsahu vlhkosti. Rovnovážný obsah vlhkosti ve dřevě je ovlivněn vlhkostí a teplotou prostředí. Může se lišit až o 3-4% . Tabulka 4 ukazuje přibližně obsah rovnovážné vlhkosti ve dřevě při různých teplotách.

Teplota		Obsah vlhkosti (%) při různých relativních vlhkostech								
°C	°F	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
-1,1	30	2,6	4,6	6,3	7,9	9,5	11,3	13,5	16,5	21,0
4,4	40	2,6	4,6	6,3	7,9	9,5	11,3	13,5	16,5	21,0
10,0	50	2,6	4,6	6,3	7,9	9,5	11,2	13,4	16,4	20,9
15,6	60	2,5	4,6	6,2	7,8	9,4	11,1	13,3	16,2	20,7
21,1	70	2,5	4,5	6,2	7,7	9,2	11,0	13,1	16,0	20,5
26,7	80	2,4	4,4	6,1	7,6	9,1	10,8	12,9	15,7	20,2
32,2	90	2,3	4,3	5,9	7,4	8,9	10,5	12,6	15,4	19,8
37,8	100	2,3	4,2	5,8	7,2	8,7	10,3	12,3	15,1	19,5

Tabulka 4 - Obsah vlhkosti ve dřevě [2]

Schopnost dřevěných plniv absorbovat vlhkost je ovlivněna metodami používanými k jejich výrobě. Dřevitá moučka se vyrábí mechanicky a její sorpční vlastnosti jsou podobné, jako u masivního dřeva. Dřevitá moučka většinou obsahuje

alespoň 4% vlhkosti, v době kdy je dodána. Tato vlhkost musí být odstraněna před nebo v průběhu výroby WPC. V případě, že se dřevní moučka vysuší, musí se dát pozor na to, že moučka má tendenci vlhkost ihned zpět absorbovat. Dřevní moučka může absorbovat až několik procent vlhkosti během pár hodin. Vlhkost do 30% je absorbována buněčnými stěnami, za zvyšování objemu dřeva. Objemové změny dřevní složky v důsledku sorpce vlhkosti, zejména při opakování cyklů, mohou vést k poškození a praskání. Z tohoto důvodu mnoho výrobců WPC omezují podíl dřevní moučky ve svých výrobcích určených do exteriérů na 50-60%. [2] [6] [7]

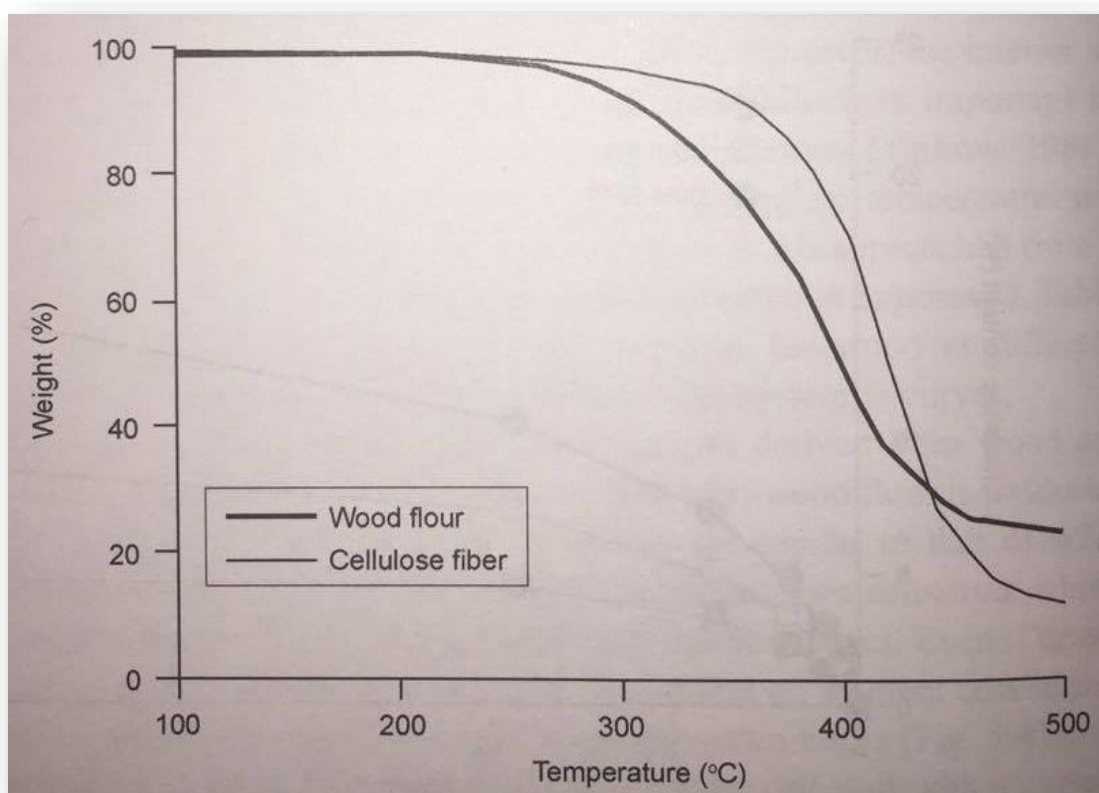
## 5.6 Trvanlivost

Povrch dřeva podléhá fotochemické degradaci, pokud je vystaven UV záření. Tato degradace probíhá především v ligninové složce dřeva a má za následek charakteristické barevné změny. Přítomnost vlhkosti ve dřevě více urychluje oxidační reakci, která je přímým důsledkem fotodegradace. Někdy se na povrchu WPC může objevit plíseň. I když plíseň nijak neovlivňuje strukturální vlastnosti, působí neesteticky. V případech, kdy je obsah vlhkosti v dřevní moučce větší než 25-30%, dřevokazné houby mohou začít napadat strukturu dřeva a tím snižovat hmotnost a významně snižovat mechanické vlastnosti. Povrch dřevoplastových kompozitů se proto v drtivé většině pokrývá laminátovou vrstvou. Rozhodující vliv této vrstvy bude dále popsán v praktické části, kde mimo jiné také zkoumám absorpci vody při kompaktní neporušené povrchové úpravě a při absenci této vrstvy. [6]

## 5.7 Teplotní vlastnosti

Vzhledem k nízké teplotní stabilitě se dřevní moučka jako plnivo od WPC používá pouze u plastů, které jsou zpracovávány při nižší teplotě, než 200°C. Při

vyšších teplotách se začínají rozpadat buněčné stěny polymerů. Nejvíce teplotně stabilní částí dřeva je celulóza. Vysoce čistá celulóza, ze které byla odstraněna většina méně stabilních ligninu a hemicelulózy, byla v poslední době zkoumána pro použití v kombinaci s plastem jako např. nylon, při zpracování za vyšších teplot. Obrázek 5 ukazuje termogravimetrickou křivku pro borovicovou dřevní moučku (Wood flour) a čisté celulózové vlákno (Cellulose fiber). Z křivek je patrné, že dřevitá moučka se začne rozkládat při výrazně nižší teplotě, než celulózová vlákna. [6]



Obrázek 5 - Termogravimetrická křivka pro borovicovou dřevní moučku [2]

Tepelná roztažnost dřeva je menší, než většiny plastů běžně používaných. Koeficient teplotní roztažnosti vyjadřuje změnu jednotkové délky dřeva při jeho ohřátí o 1 K. V důsledku anizotropie dřeva jsou poměry teplotní roztažnosti v jednotlivých směrech podobné jako u bobtnání či sesýchání,  $\alpha_T : \alpha_R : \alpha_L = 15 : 10 : 1$ .

Součinitele teplotní roztažnosti dřeva jsou různé ve směrech, ale obecně se dá popsat jako [2]

$$\alpha = A\rho \times 10^{-6}$$

kde  $\alpha$  je součinitel teplotní roztažnosti ( $v K^{-1}$ ),  $\rho$  je specifická tíha. Ta je definována jako poměr hustoty vysušeného materiálu a hustoty vody. Pokud je specifická tíha tedy větší, než jedna, jedná se o materiál, který je těžší než voda a šel by ve vodě ke dnu. A je zhruba 50-80 pro směr kolmý na vlákna a cca 5-10x méně ve směru vláken. [2]

## 5.8 Mechanické vlastnosti

Hodnoty mechanických vlastností pro přírodní vlákna, jako jsou ta dřevní se výrazně liší. Tato variabilita je způsobena rozdílnými metodami přípravy, ale také druhem stromu, růstovými podmínkami, věku, umístění atp. Přesto však můžeme nějak popsat mechanické chování alespoň obecněji. Tabulka 5 zobrazuje typické vlastnosti pro rostlé dřevo. [2] [6]

Materiál	Obsah vlhkosti	Specifická tíha (g/cm <sup>3</sup> )	Modul Pružnosti (GPa)	Tlak rovnoběžně s vlákny (Mpa)	Tlak kolmo na vlákna (MPa)	Smyk rovnoběžně s vlákny (Mpa)	Tah kolmo k vláknum (Mpa)
Jasan	Rostlý	0,45	7,2	15,9	2,4	5,9	3,4
	12%	0,49	11,0	41,2	5,2	10,8	4,8
Dub	Rostlý	0,56	8,1	23,9	4,9	8,4	---
	12%	0,61	11,3	45,0	6,4	13,2	---
Javor	Rostlý	0,44	7,6	22,3	3,1	7,7	4,1
	12%	0,48	10,0	41,0	5,2	11,9	3,7
Borovice	Rostlý	0,34	6,8	16,8	1,5	4,7	1,7
	12%	0,35	8,5	33,1	3,0	6,2	2,1
Smrk	Rostlý	0,38	9,5	19,6	1,7	5,1	0,7
	12%	0,46	11,1	41,1	3,8	8,5	---

Tabulka 5 - Typické vlastnosti pro rostlé dřevo [10]

Mechanické vlastnosti dřeva jsou poměrně anizotropní. Větší hodnoty jsou ve směru rovnoběžně s růstem stromu, což koresponduje rovnoběžnosti s vlákny. Běžná syntetická výztužná vlákna, jako například skleněná vlákna nebo uhlíková vlákna mají větší mechanickou odolnost, než přírodní vlákna. Nicméně, výhody, jako jsou nízké náklady a nízká hustota nabídnout nemohou. [6]



## 6 Výrobní technologie dřevoplastových kompozitů

### 6.1 Úvod

Dřevní vlákna a polymery patří mezi nejvýznamnější materiály dnešní doby. Oba materiály mají své výhody, ale také nevýhody, zvláště pokud se bavíme o životnosti, mechanických vlastnostech, nebo třeba teplotní stabilitě. Proces sloučení těchto materiálů nám může přinést materiál, který bude mít výhody obou zmíněných. [2]

### 6.2 Suroviny

Dřevní vlákna se výrazně liší svým tvarem, mohou být ve formě jemného prášku nebo větších třísek. Velmi proměnný je také obsah vlhkosti. Jak tvar, tak obsah vlhkost ovlivňují viskozitu, což je nejvíce důležitá vlastnost pro další zpracování. Pokud se materiál skládá z částí, které mají vůli a možnost pohybovat se jedna vůči druhé, říkáme jim sypké materiály. Dřevním vláknům, které tuto schopnost mají tedy říkáme sypké. [2]

Systémy pro manipulaci se sypkým materiálem jsou velmi časté pro plastový průmysl. Technologie produkce WPC také vznikla z tohoto odvětví, jen musely být linky upraveny, podle požadavků na dřevní hmotu. Sypké materiály mohou občas měnit své vlastnosti na pevný materiál nebo na kapalné. Velikost jednotlivých částí sypké hmoty se může také velmi lišit, od jemných prachových částic po mnohem větší části. [2]

Vlastnosti sypkého materiálu jsou:

- Specifická objemová hmotnost
- Tvar a velikost částic
- Elasticita částic
- Tření částic

Ve spojitosti s dřevní hmotou se nedají nějak zobecnit sypké vlastnosti, protože se značně liší. Jednotlivé typy dřeva musí být testovány a charakterizovány konkrétně. [2]

### 6.3 Skladování a doprava materiálu

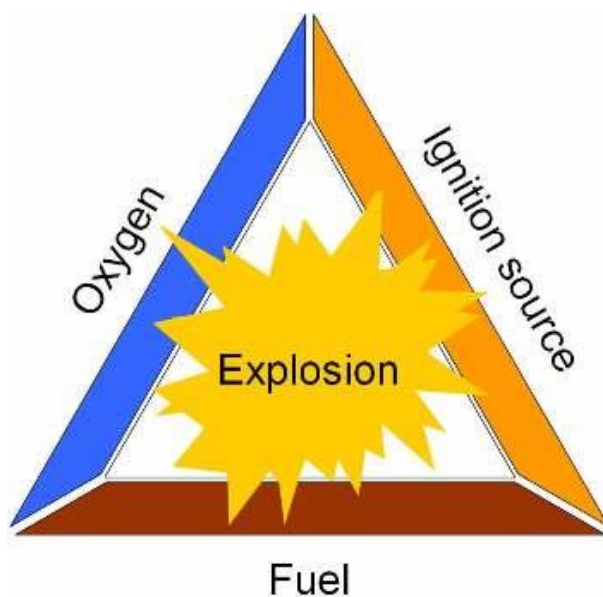
#### 6.3.1 Skladování sypkého materiálu : Dřevní moučky

Dřevní hmota je skladována v pytlích, krabicích nebo silech. Ve větších produkcích především v silech. Dřevní sypký materiál je již používán v mnoha oborech průmyslu, takže problematika uskladnění a dopravy je již vyřešená, moderní a dobře známá. Přesto zmíním pár základních věcí. Protože při manipulaci s dřevním práškem vzniká množství prachu, je dřevní prášek specifikován jako výbušný materiál. Proto mechanizace určená pro transport a zpracování dřevního prachu musí splňovat určená specifická kritéria. [2]

Diskuze o takzvaném ATEXu (ATmosphéres EXplosibles) by byla na delší dobu, ale pro jednoduchou představu stačí obrázek 6, kde je znázorněn trojúhelník nebezpečí. Základní princip spočívá v tom, že pokud se 3 podmínky na hranách trojúhelníku nesejdou v jeden okamžik na jednom místě, je to v pořádku. (Jeden faktor musí být vždy eliminován). Pokud se všechny tři aspekty sejdou, hrozí exploze. [2]

Aspekty jsou:

- Oxygen (kyslík)
- Ignition source (zdroj vznícení)
- Fuel (palivo/hořlavý materiál)



Obrázek 6 - Trojúhelník výbuchu [11]

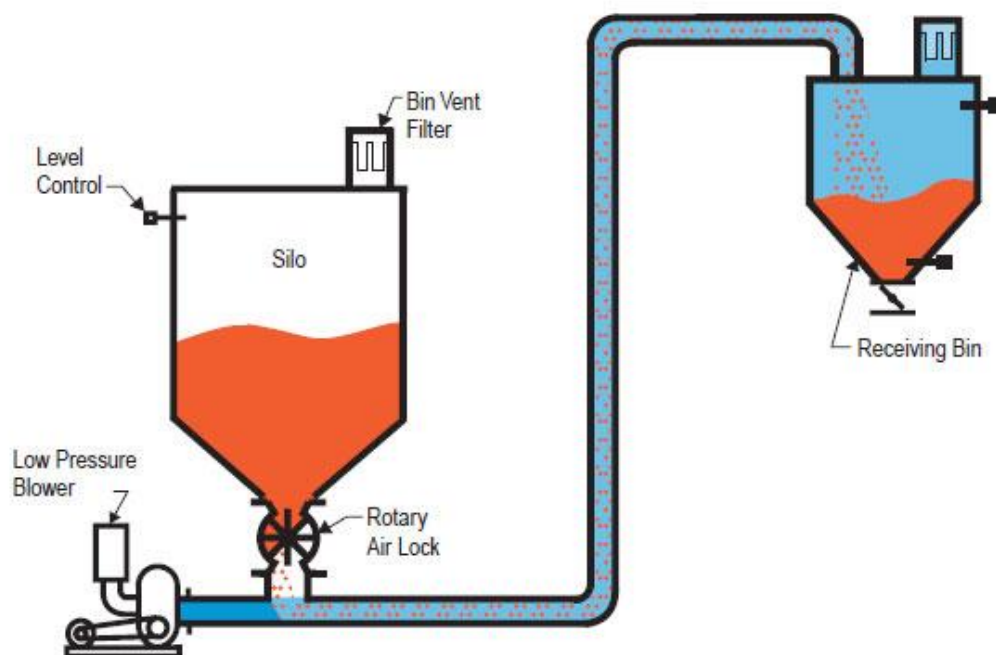
### 6.3.2 Skladování sypkého materiálu : Polymerů

Polymery jsou skladovány stejně jako dřevní hmota v silech nebo plastových pytlích nebo nádobách. [2]

## 6.4 Doprava

### 6.4.1 Pneumatická doprava

Běžně jsou polymery dopravovány do plnicích zařízení pneumatickým dopravním systémem – částice jsou rozpořívány proudem vzduchu. Schéma takovéto dopravy je ukázáno na obrázku 7. [2]



Obrázek 7 - Pneumatický dopravní systém [12]

Při návrhu tohoto dopravního systému se musí pamatovat na tlakové ztráty, ty jsou ovlivněny. Propustností, dopravní délkou a výškou a počtem záhybů. Dřevní směs se také někdy dopravuje pomocí pneumatických systémů, ale daleko běžnější je využití mechanických dopravníků jako například šroubovicové systémy nebo dopravní pásy. [2]

#### 6.4.2 Mechanická doprava

Dřevní směs se také někdy dopravuje pomocí pneumatických systémů, ale daleko běžnější je využití mechanických dopravníků jako například šroubovicové systémy nebo dopravní pásy. Mechanické dopravníky mají výhodu pro dřevní směs, že při procesu nevzniká tak velké množství prachu, takže i riziko exploze se výrazně snižuje. Na druhou stranu mechanické dopravní systémy mají omezenější dopravní vzdálenost. [13] [2]

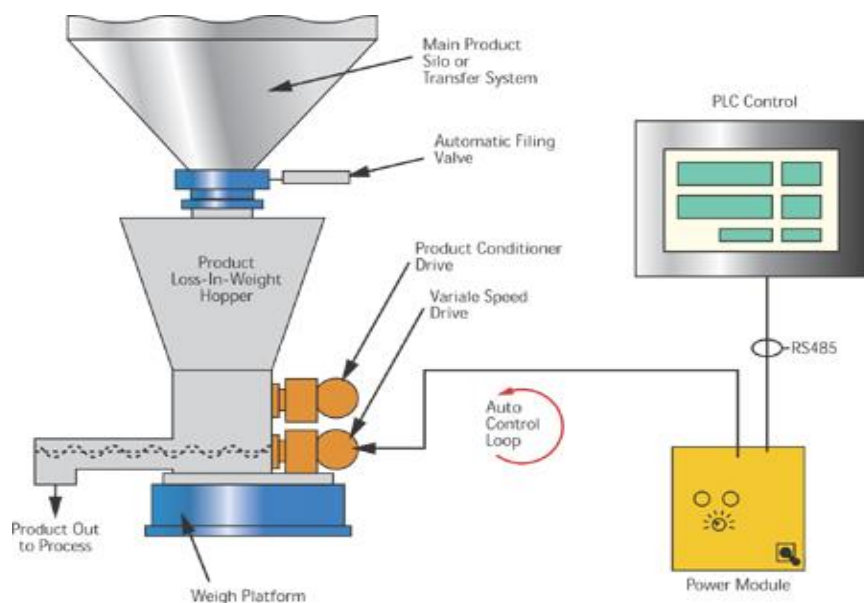
## 7 Plnicí systémy

Plnicí systémy se rozdělují na 2 hlavní typy

- Kontinuální plnění
- Diskontinuální dávkování

Podle dalšího kritéria je možné plnění rozdělit na objemové a gravimetrické. Objemová metoda počítá množství plniva pouze z objemové hmotnosti sypkého materiálu. Pokud se změní vlastnosti materiálu, přístroj nezareaguje. Tento druh plnění se používá pouze pokud jsou vlastnosti sypkého materiálu velmi homogenní. V gravimetrickém systému je sledován úbytek hmotnosti za jednotku času, to je důvod, proč se tomuto systému také říká diferenciální plnění. Diferenciální plnič určí hmotnostní průtok, když vydělí úbytek hmotnosti časem, ve kterém byl tento úbytek zaznamenán. Tento systém se běžně používá právě pro plnění v dřevoplastovém odvětví. [2] [14]

Obrázek 8 ukazuje právě plnění metodou úbytku hmotnosti. Celý systém je na váze, která měří úbytek hmotnosti při procesu. Kontrolní systém porovnává aktuální hmotnostní tok s přednastaveným. Pokud je tok příliš pomalý, motor zvýší rychlost šroubovice a naopak. [2] [14]



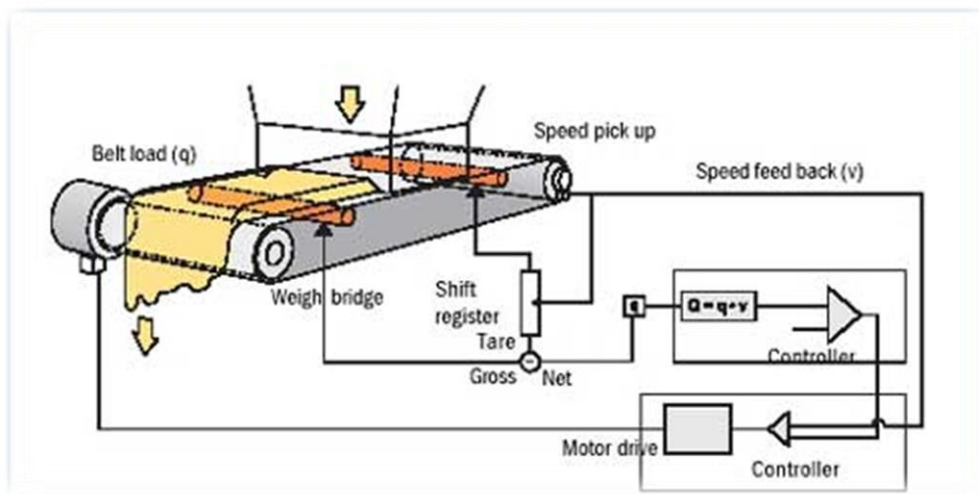
Obrázek 8 - Metoda plnění úbytkem hmotnosti [15]

## 7.1 Šroubovicový plnič

Nejvíce využívaným kontinuálním plničem je šroubovicový plnič. Materiál je dopravován jednou nebo dvojicí šroubovic. Pro materiály lehce tekoucí se používá jedna šroubovice, pro prachové směsi dvojice. Jako aktivátor materiálu v násypce se užívají promíchávání směsi nebo aktivační stěny. Když hladina materiálu v násypce klesne pod určitou hodnotu, automaticky se začne dosypávat. [2]

## 7.2 Pásový Plnič

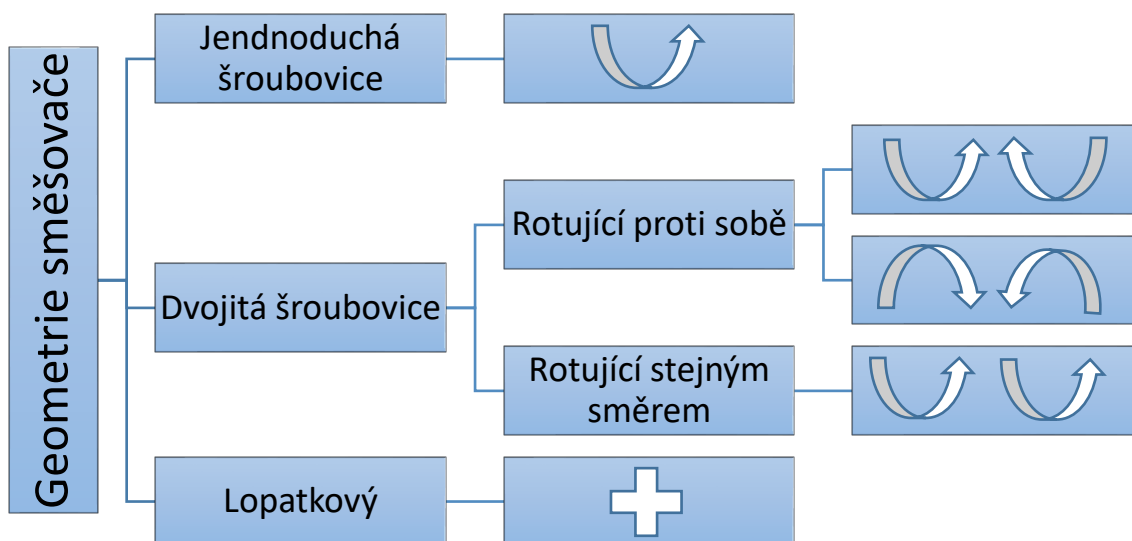
Na rozdíl od šroubovicového plniče, pásový plnič nevyužívá diferenciální výpočet. Na pásovém plniči se pouze měří hmotnost materiálu na pásu za určitý čas. Pokud je průtok příliš vysoký, pás se zpomalí, pokud příliš nízký, pás se naopak zrychlí. Schéma pásového plniče je na obrázku 9. [2] [14]



Obrázek 9 - Pásový plnič [16]

## 8 Směšovací technologie

V dnešní době se pro směšování používají různé systémy. Typický příklad, který původem pochází z plastového průmyslu je extruder. Nejvíce používané systémy směšování jsou ukázány na obrázku 10. [2]



Obrázek 10 - Přehled systémů směšovačů – extruderů [14]

Některé z těchto mechanismů budu popisovat dále. Tabulka 6 ukazuje charakteristiku a výhody/nevýhody jednotlivých systémů.

	Jednoduchá šroubovice	Dvojitá šroubovice rotující proti sobě	Dvojitá šroubovice rotující stejným směrem
Rozsah rychlosti šroubovice	60-250 ot./min.	25-80 ot./min.	100-1200 ot./min
Flexibilita	*	*	***
Odvzdušnění	*	**	***
Vyvinutý tlak	**	***	*
Promísení	*	*	***
Samočištění	*	***	***

\*\*\* Velmi dobré, \*\* Dobré, \* Uspokojivé

Tabulka 6 - Výhody a nevýhody systémů [2]

Jak je patrné, každý systém je vhodný pro něco jiného. Například jednoduchá šroubovice a dvojitá šroubovice rotující proti sobě mají skvělé vlastnosti, co se týče vyvinutého tlaku, proto se také tyto systémy využívají pro profilovou extruzi. Naopak systém s dvojitou šroubovicí rotující stejným směrem má velmi dobré hodnoty co se týče promísení a odvzdušnění, proto se tento systém používá hlavně pro mísení směsí. Systém jednoduché šroubovice a dvojitě šroubovice rotující proti sobě se využívá jako „hot-cold mixer“ pro spojení polymerů a plastů. Právě proto se nyní tomuto procesu budu věnovat dále. [2]

### 8.1 Hot-cold mixer

Hot-cold mixer se využívá hlavně při procesu úpravy polyvinyl chloridu (PVC). Co se týče WPC, tento systém se používá jako před-spojení polypropylenu (PP) a dřeva, protože schopnost promístit obě složky u jednoduché šroubovice a dvojitě šroubovice rotující proti sobě není dobrá, zvláště pro dřevní hmotu s nízkou objemovou hmotností. Při tomto procesu se všechny složky, jako dřevo, polymer a aditiva vloží do do linky dohromady. Během slučovacího procesu (5-10 minut) se materiál ohřeje na 110 – 130 nebo 160 – 180 °C, záleží na produktu. Konstrukční parametry stroje jsou:

- Objem směšné nádoby
- Rychlost mixování
- Výkon pohonu

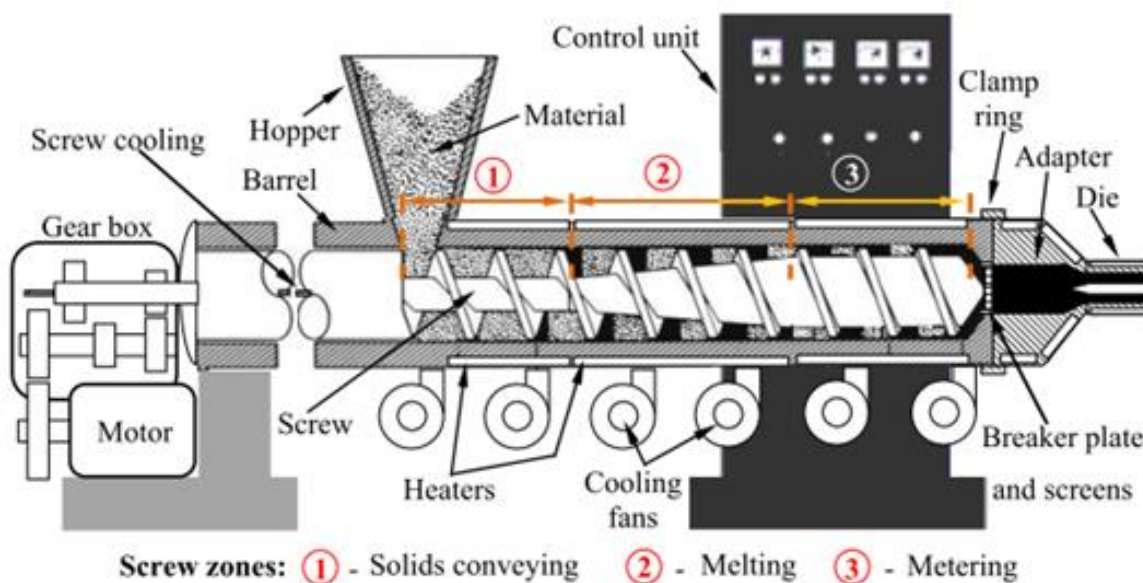
Jednotlivé kroky v procesu jsou:

- Nasypání všech komponentů do směšné nádoby
- Zahřátí směsi třením a další zahřátí na teplotu roztavení polymeru
- Vypouštění směsi, když je dosaženo potřebné velikosti
- Vypouštění do chladicí části – chlazení a řezání při dosažení 80°C [2]



## 8.2 Jednoduchá šroubovice

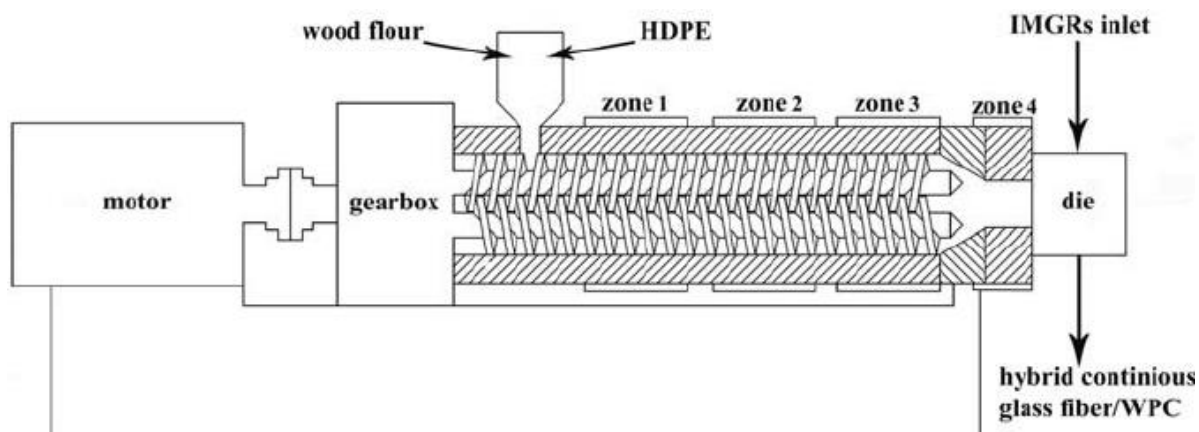
Jednoduchá šroubovice je nejvíce používaný extruder pro všechny typy profilů. Tato linka není vybavena podavačem, materiál se rovnou sype do násypky. Takže rychlost šroubu přímo ovlivňuje rychlost produkce, pokud se zvýší rychlost otáčení, zvýší se i rychlost produkce. Kontrolu rychlosti otáčení šroubu má na starosti kontrolní jednotka. Tavení se provádí v tlakové části na šroubovici. Jednoduché schéma je vidět na obrázku 11. [2]



Obrázek 11 - Schéma jednoduché šroubovice [17]

## 8.3 Dvojitá šroubovice rotující proti sobě

Dvojitá šroubovice rotující proti sobě se využívá hlavně pro PVC. Procesy které probíhají jsou tavení a zajištění tlaku pro tzv. profilové extrudování. K vysvětlení tohoto procesu se blíže dostanu v další části práce. Linky jsou většinou vybaveny podavačem. Takže rychlost produkce nezávisí na rychlosti otáčení šroubovic, ale čistě na podavači. Schéma linky je znázorněno na obrázku 12. [2]



Obrázek 12 - Schéma dvojité šroubovice rotující proti sobě [18]

#### 8.4 Dvojitá šroubovice rotující ve stejném směru

Dvojitá šroubovice rotující ve stejném směru – pohled na celou linku (Obrázek 13) se používá celosvětově pro všechny typy směšování v plastovém průmyslu. Linky jsou v dnešní době dostupné ve všech formách, od malých laboratorních velikostí až po obří linky, které dokáží promíchat až 100 tun materiálu za hodinu. Na každé lince je instalován podavač, takže rychlost produkce nezávisí na rychlosti otáčení šroubovic, ale na rychlosti podávání materiálu. [2]



Obrázek 13 - Linka s dvojitou šroubovicí rotující ve stejném směru [19]

## 9 Aditiva

### 9.1 Úvod

Výběr aditiv je stejně důležitý jako zvolení výrobního procesu nebo volba surového materiálu pro výrobu. Aditiva plní ve výrobním procesu dvojí roli. První je, která produkt ovlivní takovým způsobem, že uspokojí potřeby a přání zákazníka. Jako příklad můžu uvést větší odolnost proti dřevokazným houbám a plísním. Druhá role aditiv je interní a má za úkol minimalizovat náklady na výrobu a tím snížit i konečnou cenu produktu, který je pak mnohem více konkurenceschopný a generuje firmě větší zisk. [2]

Zřídka kdy je výběru aditiv věnována pozornost hned od začátku výroby. Daleko častěji jsou přísady a modifikátory určeny na základě typických chemických vzorců a norem. Vyladěny jsou až poté, co se po nějaké době ukáže, kde má produkt nedostatky a kde je potřeba ho vylepšit. Průmysl používá aditiva, aby odstranil provozní nedostatky. Tabulky 7, 8, 9 shrnují funkce, materiály a procentuálně zastoupení aditiv pro polyethylenové kompozity, polypropylenové a polyvinylchloridové. [2]

<b>Funkce</b>	<b>Materiál</b>	<b>Percentuální zastoupení (%)</b>
Komponent matrice	Polyetylen	Různé , od úplné absence až do 100%
Komponent matrice	Přírodní vlákna	30-60
Pojivo	Polyolefin	2-5
Mazivo (lubrikant)	Stearáty/estery	3-8
Antioxidant	Fenoly	0-1
Lapače kyselin	Stearáty/hydrotalcity	0-1
UV ochrana	Benzofenony/ benzotriazoly	0-1
Minerální plnivo	Mastek	0-10
Snížení hustoty	Mikrokuličky/chemické nadouvadla	0-5
UV ochrana/estetika	Pigmenty	Dle potřeby
Zpomalovač hoření / Redukce kouře	Různé	Dle potřeby

*Tabulka 7 - Percentuální zastoupení aditiv Polyethylen [2]*

<b>Funkce</b>	<b>Materiál</b>	<b>Percentuální zastoupení (%)</b>
Komponent matrice	Polypropylen	Různé , od úplné absence až do 100%
Komponent matrice	Přírodní vlákna	30-60
Mazivo (lubrikant)	Stearáty/estery	3-8
Antioxidant	Fenoly	0-1
Lapače kyselin	Stearáty/hydrotalcity	0-1
UV ochrana	Benzofenony/ benzotriazoly	0-1
Minerální plnivo	Mastek	0-10
Snížení hustoty	Mikrokuličky/chemické nadouvadla	0-5
UV ochrana/estetika	Pigmenty	Dle potřeby
Zpomalovač hoření / Redukce kouře	Různé	Dle potřeby

*Tabulka 8 - Percentuální zastoupení aditiv Polypropylen [2]*

<b>Funkce</b>	<b>Materiál</b>	<b>Percentuální zastoupení (%)</b>
Komponent matrice	Vinyl	Různé , od úplné absence až do 100%
Komponent matrice	Přírodní vlákna	30-40
Mazivo (lubrikant)	Stearáty/estery	3-8
Teplotní stabilizace	Různé	1-3
Lapače kyselin	Stearáty/hydrotalcity	0-1
UV ochrana	Benzofenony/ benzotriazoly	0-1
Co-stabilizátor	Zeolit	0-3
Minerální plnivo	Uhlíkové plnivo	0-10
Snížení hustoty	Mikrokuličky/chemické nadouvadla	0-5
UV ochrana/estetika	Pigmenty	Dle potřeby
Zpomalovač hoření / Redukce kouře	Různé	Dle potřeby

*Tabulka 9 - Percentuální zastoupení PVC [2]*

## 9.2 Maziva (lubrikanty)

Mazivo je obecný termín pro mnoho různých chemických látek, které mají vliv na reologii roztavených termoplastů, ať už obsahují nějaká vlákna nebo ne. Maziva se používají pro zlepšení reologie celkové hmoty tak, že se poté může zpracovávat, jak je potřeba. Jednoduše řečeno tedy snížení tření mezi jednotlivými složkami. Redukce tření vzniká mezi:

- Polymer – polymer
- Polymer – kov
- Polymer – plnivo
- Plnivo – plnivo
- Plnivo – kov

Při používání maziv se výrazně zlepší kvalita finálního povrchu a také rychlost produkce. Rozdíl mezi povrchy je vidět na obrázcích 14 a 15. Na obrázku 14 je povrch materiálu obsahující mazivo, na obrázku 15 je povrchu materiálu, který lubrikant neobsahoval. [2] [10]

Často se používá rozdělení lubrikantů na interní a externí. Většina lubrikantů ale dokáže plnit funkci obou.

- Interní lubrikanty ovlivňují viskozitu a atributy toku, tyto lubrikanty jsou slučitelné s látkami v tavenině a tak zajišťují mazání v materiálu samotném. Používají se například estery mastných kyselin nebo mastné alkoholy.
- Externí lubrikanty zajišťují nepřilnutí k povrchu a snadné „sklouznutí“, tyto lubrikanty jsou neslučitelné s látkami v tavenině, jsou odděleny a vyloučeny k povrchu, kde zajišťují mazání mezi taveninou a kovovým technologickým zařízením. Používají se například stearáty zinku, parafíny nebo vosky. [2] [10]



Obrázek 14 – Povrch s použitím lubrikantu [27]



Obrázek 15 - Povrch bez použití lubrikantu [27]

### 9.3 Pojiva

Pojiva, také známé jako kompatibilizátory fungují v kompozitu jako zlepšení homogenity a spojení všech prvků k sobě. Nestejnorodost by mohla bránit uspokojivým strukturálním vlastnostem finálního produktu, proto použití těchto materiálů zlepšuje fyzikální vlastnosti. Je také doloženo, že správná volba pojiv a tím utvoření vazeb snižuje absorpci vody kompozitu. Redukce absorpce vody také minimalizuje bobtnání dřevních vláken a tím zajišťuje větší stálost rozměrů konečného prvku. [2] [10]

V této problematice jde o elektrostatické povahy obou plošných materiálů na jejich rozhraních. Molekuly, které tvoří povrch mohou mít různou polaritu, od nepolární po různé síly dipólových momentů. Pokud jsou hodně rozdílné, je zde nedostatek přilnavosti a je potřeba molekula, které překlene tyto dva povrchy a vytvoří přilnavost mezi nimi. Dřevěné povrchy jsou elektrostatické, zatímco polyolefinové pryskyřice jsou nepolární. Pojivo jsou molekuly, u kterých je zajištěno, že různé její části mají různé dipólové momenty. Tyto rozdílné části jedné molekuly budou tvořit dobré spojení s různými komponenty kompozitu. [2] [10]

### 9.4 Stabilizátory

Stabilizátory se přidávají do kompozitu, aby zabraňovaly nebo minimalizovaly nežádoucí chemické reakce, které poté vedou k degradaci kompozitu. Počet chemických reakcí probíhajících v kompozitu je velký, stejně tak jako počet způsobů, jak tyto reakce omezovat, z toho důvodu, je potenciál této sekce obrovský. Já se ale budu snažit vyzdvihnout zde ty nejdůležitější a zjednodušit je. [2] [10]

Důraz je kladen na stabilizaci hlavních složek kompozitu, polymerů a vláken, antioxidanty, UV stabilizátory a tepelné stabilizátory pro PVC. [2] [10]

#### 9.4.1 Antioxidanty

Antioxidanty mají dvě hlavní funkce, chránit materiál při zpracování a chránit konečný produkt v provozu. Zpracování termoplastů působí určitou degradaci. Správná kombinace materiálu, výroby a chemické stabilizace ale mohou tyto degradace minimalizovat a učinit prakticky nezjistitelné. I když nezjistitelné, stále tam nějaké jsou a tyto degradace se nashromáždí znovu, jakmile je produkt po výrobě osazen do provozu. Pro lepší představu si můžeme polymerní řetězce představit jako zipy a degradaci jako jejich rozepínání. Degradace při výrobě obrazně řečeno začne rozepínat zip a poté po osazení konečného produktu, degradace začne právě od těchto již dříve porušených polymerových řetězců. [2] [10]

Většina polymerů při zahřátí degradují pomalu, výjimku tvoří PVC, které degraduje velmi rychle. Z toho důvodu se pro většinu polymerů používají antioxidanty a pouze pro PVC se používá teplotní stabilizátor. Tradičními používanými antioxidanty jsou fenoly, fosfáty a thioestery. Kromě chemie, další možný způsob, jak dělit antioxidanty je podle ochrany. Zatímco některé chrání před degradací při zpracování, jiné chrání před degradací na místě zabudování před stárnutím vlivem tepla. Tradiční chemikálie, které se používají jsou vyzkoušené, a dobře zavedené po celá desetiletí a navíc jsou i ekonomické, protože patenty na ně již vypršely. [2] [10]

#### 9.4.2 UV Stabilizátory

Energie UV záření může při dopadu na venkovní finální produkty iniciovat chemické reakce. Mnoho chemických reakcí, které degradují WPC využívá přítomnosti kyslíku a vody. Jsou tři možné způsoby, jak čelit degradaci vyvolané UV zářením: blokování UV energie, absorbování UV energie a stabilizace. [2] [10]

Blokování UV energie se provádí pomocí vysoce krycích materiálů jako je oxid titaničitý, saze nebo větší množství pigmentu. Absorbování UV záření je dosaženo při použití chemikálií jako benzofenony benzotriazoly. UV stabilizace se obvykle



dosahuje pomocí bránících aminových světelných stabilizátorů. Velké množství vláken ve WPC může působit jako odstínění UV záření, takže záření pronikne pouze do malé hloubky pod povrch, takže velká část matrice je chráněna. Mnoho výrobců úspěšně používají pro ochranu pouze potřebné množství pigmentu. [2] [10]

#### 9.4.3 PVC tepelné stabilizátory

Tepelné stabilizátory pro PVC jsou skoro vždy kovy iontu s organickými ligandy. Tuhé PVC je nejčastěji stabilizováno za použití cínu – v Severní Americe. Ve zbytku světa se používá vápník-zinek. Dříve se přidávalo také kadmium, ale to již kompletně vymizelo. [2] [10]

Cíny jsou jako stabilizátory aplikovány téměř vždy v kapalném stavu a na trhu panuje velká rozmanitost. Vapničko-zinkové produkty jsou dostupné jak v pevných, tak v kapalných formách. V návaznosti na primární tepelné stabilizátory, existují další způsoby, jak přispět ke stabilizaci PVC materiálů. K tomu se používají materiály, které primárně slouží jako co-stabilizátory. Jedná se o aditiva, která v malé míře přispívají ke stabilizaci, ale samy o sobě nejsou adekvátními primárními stabilizátory. Nejčastěji se používají epoxidované oleje a pryskyřice. [2] [10]

Další cestou je také dobře zavedená technologie na bázi syntetického zeolitu, který se naváže na uvolněné chloridové ionty uvolněné degradací a zamezuje zapojení těchto iontů do dalších degradačních procesů. Nicméně je třeba zmínit, že mnoho těchto syntetických zeolitů není možné použít z důvodu nadměrné zrnitosti. [10]

#### 9.5 Příměsi na snížení hustoty

Hustota se ve WPC dá snižovat různými způsoby. Prvním z nich jsou takzvaná chemická nadouvadla, to jsou pevné částice, které jsou rozptýleny do směsi při dosažení určité teploty se rozloží a uvolní plyn. Druhým příkladem jsou fyzikální

nadouvadla, ta fungují tak, že plyn se uvolňuje do směsi při zpracování. Další možností na snížení hustoty jsou aditiva. Ty se obvykle přidávají do směsi v množství 0-5%. Jako aditiva se nejčastěji používají mikrokuličky. Tato možnost je sice dražší, než dvě předchozí, ale zase neklade vysoké nároky na speciální zpracování nebo zařízení. [2]

## 9.6 Biocidy

Biocidy sice nejsou zahrnuty ve výše uvedených tabulkách, ale své místo v dřevoplastech určitě mají. Jejich funkce je zabránit vnikání a šíření mikroorganismů, které se živí organickými látkami. Zde můžeme rozlišit 2 typy mikroorganismů. Prvním typem jsou plísně, které se vyskytují na povrchu. I když tyto plísně působí neesteticky, na funkci materiálu jako takového nemají žádný vliv. Druhým, pro funkci kompozitu mnohem zásadnějším problémem jsou plísně, které jsou pod povrchem a které způsobují hloubkové trouchnivění a narušují vnitřní strukturu. Napadení kompozitu je podmíněno, tak jako u dřeva, hlavně vysokou vlhkostí, teplotou a časem. Proto toto ošetření není nutno řešit u dočasných prvků, případně u prvků, které své využití naleznou v interiérech. Dávkování biocidů je maximálně 2% hmotnosti. Komerční biocidy se vyrábí na organické i anorganické bázi. Organické látky obsahují velmi složité molekuly a mají malé požadavky na dávkování. Anorganické typy mají jednodušší molekuly, které jsou založené na reakci oxidu zinečnatého s borem. Jedná se v podstatě o boritan zinečnatý. [2]

## 9.7 Pigmenty

Pigmenty jsou aditiva, která ovlivňují estetiku konečného výrobku. Dají se rozdělit do dvou kategorií. První jsou takové, které mají vliv na estetiku prvku tím, že ovlivňují interakci mezi roztavenými sloučeninami. Druhý typ jsou pigmenty, které upravují vzhled prvku jednoduše tím, že jsou přítomny. [2]

Vzhled se ale může ovlivnit už například počáteční volbou plniva a UV aditiva, které chrání přidaný pigment a tím zajišťuje barevnou stálost produktu. [2]

### 9.8 Zpomalovače hoření

Zpomalovače hoření se zakomponovávají do prvku pouze tehdy, pokud to vyžaduje budoucí použití. To znamená, že dotyčný prvek může zachvátit plamen a je žádoucí, aby nebyl snadno hořlavý. Při navrhování množství zpomalovačů je nutné zohlednit typ polymeru, který tvoří matrici kompozitu. Dále také množství anorganické výplně, protože tato příměs nepřispívá do palivového obsahu kompozitu. Nejvíce se pro ochranu používají halogeny, fosfáty a kovové hydroxidy. Halogeny jsou nejdražší, avšak také nejefektivnější, nejvíce se používá bromová verze. Účinnost halogenů je zvyšována kombinací s tzv. synergeními látkami. Nejvíce takto používanou látkou je oxid amonitý, ten je však velmi drahý. Fosfátové zpomalovače fungují tak, že fyzicky oddělují palivo od potřebného kyslíku a tím zhasí plamen. Nejvíce se používají kapalné estery a jsou vhodné pro PVC. [2]

## 10 Praktická část

### 10.1 Úvod

Jak již bylo zmíněno, celá praktická část bude prováděna se třemi různými druhy WPC a poté porovnány jednotlivé výsledky. Tím zjistíme, jaký vliv má záměna dřevní moučky respektive aditiv na vlastnosti kompozitu. Pro zopakování zde radši znovu uvedu typy zkoumaných vzorků.

- 1. Vzorek Černý:** 75kg PVC (46,6%), 50kg dřevní moučka Beky (31,3%), 25kg křídly (15,5%), aditiva (6,6%). Seznam aditiv si výrobce nepřál zveřejnit.
- 2. Vzorek Tmavě hnědý:** 75kg PVC (46,6%), 50kg dřevní moučka Arbocel (31,3%), 25kg křídly (15,5%), aditiva (6,6%).
- 3. Vzorek Světle hnědý:** 75kg PVC (46,6%), 50kg dřevní moučka Beky (31,3%), 25kg křídly (15,5%), aditiva (6,6%). Některá aditiva byla vyměněna za jiný typ.

### 10.2 Základní fyzikální vlastnosti

#### 10.2.1 Metoda Vakuové nasákavosti

Pro stanovení hodnot základních fyzikálních vlastností byla použita metoda vakuové nasákavosti.

#### 10.2.2 Pomůcky

Exsilátor

Vakuová vývěva

Vzorky – malé kvádříky

#### 10.2.3 Postup

Bylo zhotoveno celkem 9 vzorků od každého druhu WPC. U vzorků č. 1-5 byla obroušena povrchová úprava, naopak vzorkům č. 6-9 byly zaepoxidovány řezné

strany, aby se mohl stanovit rozdíl v nasákavostech a to, jak kritická je neporušenost povrchové vrstvy z tohoto aspektu. Vzorky byly sušeny v komoře za teploty 35°C. Vysušené vzorky byly zváženy a výsledky byly zaznamenány – hmotnost  $m_d$  (tab. 10). Vysušené vzorky byly poté ponořeny do exsikátoru s destilovanou vodou. Tam probíhalo jejich sycení pod vakuem pomocí vakuové vývěvy napojené na exsikátor. Celá soustava je vidět a obrázku 18 (eště bez vody). Vzorky byly vakuovány po dobu 14 dní, až do ustálení hmotnosti. Uvolňování vzduchu ze vzorků je vidět na obrázku 19. Po vyjmutí byly plně nasycené vzorky zváženy a zjistila se hmotnost při maximálním nasycení  $m_w$  [g]. Poté se určila Archimédova hmotnost  $m_a$  [g] – hmotnost plně nasyceného vzorku pod vodou. To se provedlo pomocí závěsného systému, který byl položen na vahách.



Obrázek 16 - Připravené zaepoxidované vzorky



Obrázek 17 - Připravené obroušené vzorky



Obrázek 18 - Kompletní sestava



Obrázek 19 - Vzduch "vysávaný" ze zkušebních vzorků

#### 10.2.4 Objem vzorků

Ze získaných hmotností byly nejprve stanoveny objemy jednotlivých vzorků  $V$  [ $m^3$ ]. Objemy byly vypočteny a zaznamenány do tabulky 14.

$$V = \frac{m_w - m_a}{\rho_l}$$

Kde  $\rho_l$  je objemová hmotnost vody,  $998 \text{ kg} \times m^{-3}$ .

Hmotnosti vysušených vzorků md [g]				
	Vzorek	Černý	Světlý	Tmavý
Obroušené	1	44,16	40,79	32,57
	2	39,86	46,71	38,97
	3	40,38	37,17	38,65
	4	44,32	34,09	34,51
	5	38,84	39,38	33,84
Zaepoxidované	6	44,79	41,22	42,94
	7	45,66	39,70	39,24
	8	32,78	37,52	36,82
	9	35,64	46,34	23,25

Tabulka 10 - Hmotnosti vysušených vzorků

Hmotnosti plně nasycených vzorků mw [g]				
	Vzorek	Černý	Světlý	Tmavý
Obroušené	1	48,42	44,09	36,25
	2	44,52	49,15	42,60
	3	45,23	39,97	41,87
	4	48,79	36,72	38,31
	5	44,35	42,52	36,61
Zaepoxidované	6	45,94	42,02	43,68
	7	48,19	40,44	39,83
	8	33,86	38,22	37,49
	9	36,34	46,91	23,88

Tabulka 11 - Hmotnosti plně nasycených vzorků



Archimédovy hmotnosti ma [g]				
	Vzorek	Černý	Světlý	Tmavý
Obroušené	1	14,61	12,54	10,95
	2	13,20	13,99	12,87
	3	13,37	11,46	12,73
	4	14,47	10,47	11,56
	5	12,70	12,10	11,11
Zaepoxidované	6	12,44	11,54	12,60
	7	13,61	10,97	11,51
	8	9,17	10,32	10,73
	9	9,93	12,89	6,64

Tabulka 12 Archimédovy hmotnosti

Tabulka 13 ukazuje procentuálně nárůst hmotností u jednotlivých vzorků. Z tabulky je jasně vidět, že vzorky zaepoxidované po krajích absorbují mnohem méně vody, než vzorky, které byly obroušené a zbavené povrchové úpravy.

Percentuální nárůst hmotnosti [%]				
	Vzorek	Černý	Světlý	Tmavý
Obroušené	1	9,65	8,09	11,30
	2	11,69	5,22	9,31
	3	12,01	7,53	8,33
	4	10,09	7,71	11,01
	5	14,19	7,97	8,19
Zaepoxidované	6	2,57	1,94	1,72
	7	5,54	1,86	1,50
	8	3,29	1,87	1,82
	9	1,96	1,23	2,71

Tabulka 13 - Percentuální nárůst hmotnosti

Objemy jednotlivých vzorků [cm <sup>3</sup> ]				
	Vzorek	Černý	Světlý	Tmavý
Obroušené	1	33,88	31,61	25,35
	2	31,38	35,23	29,79
	3	31,92	28,57	29,20
	4	34,39	26,30	26,80
	5	31,71	30,48	25,55
Zaepoxidované	6	33,57	30,54	31,14
	7	34,65	29,53	28,38
	8	24,74	27,96	26,81
	9	26,46	34,09	17,27

Tabulka 14 - Objemy jednotlivých vzorků

#### 10.2.5 Pórovitost

Základní fyzikální vlastnosti, tedy pórovitost, objemová hmotnost a hustota matrice byly stanoveny z parametrů změřených na obroušených vzorcích.

Dále přistoupíme k vypočtení pórovitosti. To provedeme podle následující rovnice.

$$\psi_0 = \frac{m_w - m_d}{V\rho_v}$$

Celková pórovitost jednotlivých vzorků [-]				
	Vzorek	Černý	Světlý	Tmavý
Obroušené	1	0,13	0,10	0,15
	2	0,15	0,07	0,12
	3	0,15	0,10	0,11
	4	0,13	0,10	0,14
	5	0,17	0,10	0,11

Tabulka 15 - Celková pórovitost vzorků

## 10.2.6 Objemová hmotnost

Dále je možné spočítat objemovou hmotnost, ta se vypočítá z následujícího vztahu.

$$\rho = \frac{m_d}{V}$$

Objemová hmotnost jednotlivých vzorků [g/cm3]				
	Vzorek	Černý	Světlý	Tmavý
Obroušené	1	1,30	1,29	1,28
	2	1,27	1,33	1,31
	3	1,26	1,30	1,32
	4	1,29	1,30	1,29
	5	1,22	1,29	1,32

Tabulka 16 - Objemová hmotnost vzorků

## Hustota matrice

Hustota matrice se vypočítá podle vztahu:

$$\rho_{mat} = \frac{m_d}{(1 - \psi_0) V}$$

Hustota matrice jednotlivých vzorků [g/cm <sup>3</sup> ]				
	Vzorek	Černý	Světlý	Tmavý
Obroušené	1	1,49	1,44	1,50
	2	1,49	1,42	1,49
	3	1,49	1,44	1,49
	4	1,48	1,44	1,50
	5	1,48	1,44	1,49

Tabulka 17 - Hustota matrice vzorků

## 10.2.7 Závěr

Všechny hodnoty byly zprůměrovány, aby bylo možné získat nějaký výstup pro každý vzorek. Celkové vlastnosti shrnuje tabulka 18. Objemy a hmotnosti není nutné do tabulky zanášet, jsou to proměnné.

Průměrné hodnoty jednotlivých veličin						
	Černý		Světlý		Tmavý	
	Obroušený	Zaepox.	Obroušený	Zaepox.	Obroušený	Zaepox.
Pórovitost	0,15	-	0,10	-	0,13	-
Objemová hmotnost [g/cm <sup>3</sup> ]	1,27	-	1,30	-	1,31	-
Hustota matrice [g/cm <sup>3</sup> ]	1,49	-	1,44	-	1,49	-
Hmotnostní přírůstek [%]	11,52	3,34	7,31	1,73	9,63	1,94

Tabulka 18 - Průměrné hodnoty jednotlivých veličin

Z tabulky je patrné, že neporušení povrchové bude mít zásadní vliv na nasákavost prvku. To je patrné u hmotnostního přírůstku. Zatímco u nezaepoxidovaných prvků si materiál natáhl zhruba kolem 10% hmotnostních, u prvků s neporušenou povrchovou vrstvou to bylo pouze cca 2%. V porovnání se dřevem je WPC jednoznačně materiál s vyšší objemovou hmotností. Objemová hmotnost běžných druhů dřeva se pohybují kolem 300-550 kg/m<sup>3</sup>. Z tabulky také vidíme, že přesto, že černé a světlé vzorky jsou složením (vyjma aditiv) totožné, jejich pórovitost se liší o 5%. To dokazuje, že výběr aditiv má významný vliv na vlastnosti výsledného kompozitu. Nasákavost je také hodně rozdílná, zatímco obroušené WPC nasákne maximálně kolem 10% své hmotnosti vody, u dřeva to může být až přes 100%. [20]

### 10.3 Difuze vodní páry

#### 10.3.1 Cup method (misková metoda)

Misková metoda je nejvíce používaná metoda používaná v praxi a je normalizovaná ve většině zemí světa. Tato metoda je poměrně jednoduchá a minimalizuje riziko selhání nebo větších chyb. Proto se misková metoda zařadila do komplexního systému metod pro pravidelné i referenční měření.

##### 10.3.1.1 Pomůcky

Misky 12x12cm

Vzorky – destičky 10x10cm

Silika gel

Voda

Plastelína

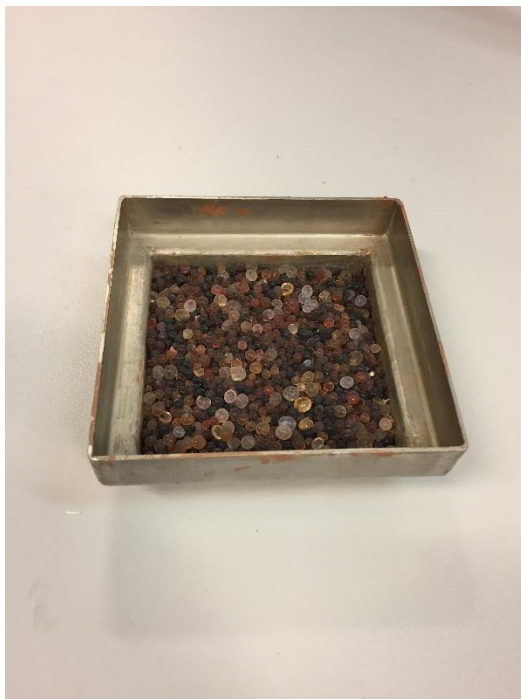
Váhy

Komora se stálou teplotou a vlhkostí

### 10.3.1.2 Popis metody

Misková metoda se používá ve dvou modifikacích (dry cup – suchá miska a wet cup – vlhká miska) a používají se pro určení parametrů difuze vodní páry. Vzorky (kvádry o hraně 100mm a výšce cca 22mm) byly nejprve zalepeny po stranách epoxidovým lepidlem, aby se dosáhlo difuze páry pouze v jednom směru. Poté byly zkušební misky naplněny silika gelem (v případě dry cupu) nebo vodou (v případě wet cupu). Poté byly vzorky uloženy do misek a spáry byly zaplněny těsnící hmotou, viz. Obrázek . Silika gel vytvořil uvnitř misky prostředí s relativní vlhkostí okolo 5%, zatímco relativní vlhkost v okolním prostředí byla 50%. Toto bylo zabezpečeno umístěním vzorků do komory, která udržovala stálou teplotu 25°C a RV 50%. V případě vlhké misky, voda uvnitř

vytvořila prostředí o relativní vlhkosti cca 95%, okolní podmínky zůstaly stejné. Hmotnost misek byla měřena cca každý 1-2 dny a hodnoty byly zaznamenány do tabulky.



Obrázek 20 - Miska naplněná silika gelem



Obrázek 21 - Vzorky utěsněné a připravené na vložení do komory



Obrázek 23 - Vážení vzorku



Obrázek 24 - Vzorky v komoře



## 10.3.2 Dry cup

	Vzorek	Černý	Černý	Černý	Světlý	Světlý	Světlý	Tmavý	Tmavý	Tmavý
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Dry cup	tl.1	21,90	21,85	21,67	24,47	21,33	21,46	20,77	21,30	20,88
	tl.2	21,91	21,86	21,52	21,18	21,72	21,32	21,16	21,34	21,86
	tl.3	21,96	21,96	22,05	21,28	21,40	21,31	20,84	21,22	20,98
	tl.4	21,66	22,16	21,63	21,45	21,41	21,46	20,90	22,05	21,03
	Průměr tl.	<b>21,86</b>	<b>21,96</b>	<b>21,72</b>	<b>22,10</b>	<b>21,47</b>	<b>21,39</b>	<b>20,92</b>	<b>21,48</b>	<b>21,19</b>
6.10.2016	16:00	727,95	734,22	647,62	630,64	727,51	741,27	642,35	732,83	718,39
7.10.2016	12:00	727,96	734,35	647,69	630,76	---	741,33	646,48	732,91	718,49
10.10.2016	15:30	728,33	734,74	647,96	631,22	---	741,60	646,89	733,15	718,90
11.10.2016	14:00	728,42	734,87	648,04	631,36	---	741,67	647,01	733,21	719,01
12.10.2016	15:00	728,53	734,99	648,13	631,51	---	741,75	647,15	733,31	719,15
13.10.2016	14:30	728,64	735,11	648,20	631,65	---	741,76	647,27	733,37	719,26
14.10.2016	12:20	728,74	735,22	648,29	631,79	---	741,81	647,37	733,44	719,37
17.10.2016	14:10	729,06	735,58	648,55	632,22	---	742,04	647,74	733,68	719,74

Tabulka 19 - Záznamy měření Dry cup

Propustnost vodní páry  $\delta$  [s] byla vypočtena z naměřených dat podle vzorce:

$$\delta = \frac{\Delta m d}{S \tau \Delta P_p}$$

Kde  $\Delta m$  [kg] je množství vodní páry, které proniklo přes vzorek,  $d$  [m] je tloušťka prvku,  $S$  [m<sup>2</sup>] povrch prvku,  $\tau$  [s] je doba, korespondující průniku vodní páry  $\Delta m$  a  $\Delta P_p$  je rozdíl mezi parciálními tlaky.

Koeficient difuze vodní páry  $D$  [m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>] byl poté spočítán podle následujícího vzorce:

$$D = \frac{\delta R T}{M}$$

Kde  $R$  [J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>] je univerzální konstanta pro plyn,  $M$  [kg mol<sup>-1</sup>] je molární hmotnost vody a  $T$  [K] je teplota.

Na základě koeficientu difuze vodní páry  $D$  můžeme dopočítat faktor difuzního odporu  $\mu$  [-]

## 10.3.3 Wet cup

Wet cup	Vzorek	Černý 1	Černý 2	Černý 3	Světlý 1	Světlý 2	Světlý 3	Tmavý 1	Tmavý 2	Tmavý 3
	tl.1	21,90	21,85	21,67	24,47	21,33	21,46	20,77	21,30	20,88
	tl.2	21,91	21,86	21,52	21,18	21,72	21,32	21,16	21,34	21,86
	tl.3	21,96	21,96	22,05	21,28	21,40	21,31	20,84	21,22	20,98
	tl.4	21,66	22,16	21,63	21,45	21,41	21,46	20,90	22,05	21,03
Průměr tl.	<b>21,86</b>	<b>21,96</b>	<b>21,72</b>	<b>22,10</b>	<b>21,47</b>	<b>21,39</b>	<b>20,92</b>	<b>21,48</b>	<b>21,19</b>	
20.10.2016	12:50	676,10	745,00	776,23	772,64	751,09	777,34	668,70	682,21	650,53
21.10.2016	10:40	676,02	744,88	776,18	772,44	750,97	777,05	668,59	682,07	650,44
24.10.2016	9:55	675,63	743,24	775,98	771,88	750,64	776,46	667,99	681,25	650,03
25.10.2016	14:35	675,47	742,94	775,88	771,64	750,42	776,19	667,75	680,99	649,78
26.10.2016	15:10	675,25	742,74	775,76	771,41	750,26	775,97	667,52	680,68	649,45
27.10.2016	13:40	674,83	742,55	775,67	771,22	749,98	775,73	667,30	680,24	649,21

Tabulka 20 - Záznamy měření Wet cup

Výsledné průměrné hodnoty z měření jsou uvedeny v tabulce 21.

Vzorek	Dry cup			Wet cup		
	$\delta$ [s]	D [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$\mu$ [-]	$\delta$ [s]	D [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$\mu$ [-]
Černý	1,81E-12	2,50E-07	125	5,15E-12	7,09E-07	66
Světlý	1,86E-12	2,56E-07	157	4,90E-12	6,74E-07	41
Tmavý	5,77E-12	7,94E-07	131	5,44E-12	7,49E-07	42

Tabulka 21 - Výsledné průměrné hodnoty

## 10.3.4 Závěr

Miskovou metodou bylo stejně zkoušeno i smrkové dřevo. Výsledné hodnoty jsou zaznamenány v Tabulce 22.

Vzorek	Dry cup			Wet cup		
	$\delta$ [s]	D [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$\mu$ [-]	$\delta$ [s]	D [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	$\mu$ [-]
Dřevo kolmo	1,77E-12	2,43E-07	102	2,62E-12	3,60E-07	73
Dřevo rovnoběžně	2,45E-11	3,37E-06	7	3,16E-11	4,34E-06	5

Tabulka 22 - Výsledné hodnoty smrkového dřeva

Z porovnání tabulek 20 a 21 je možné vyčíst, že co se týče difuze vodní páry je na tom dřevoplastový kompozit podobně (o trochu lépe) než smrkové dřevo ve směru kolmém na vlákna. Řádově nižší hodnota vyšla u smrkového dřeva ve směru rovnoběžném s dřevními vlákny. To je pochopitelné, protože v rostlém stromě právě ve směru vláken probíhá transport vody. Měření difuze vodní páry bylo zatíženo poměrně velikou chybou a bylo by vhodné jej zopakovat pro získání přesnějších výsledků. Na to již v tomto případě nebyl bohužel dostatek času.

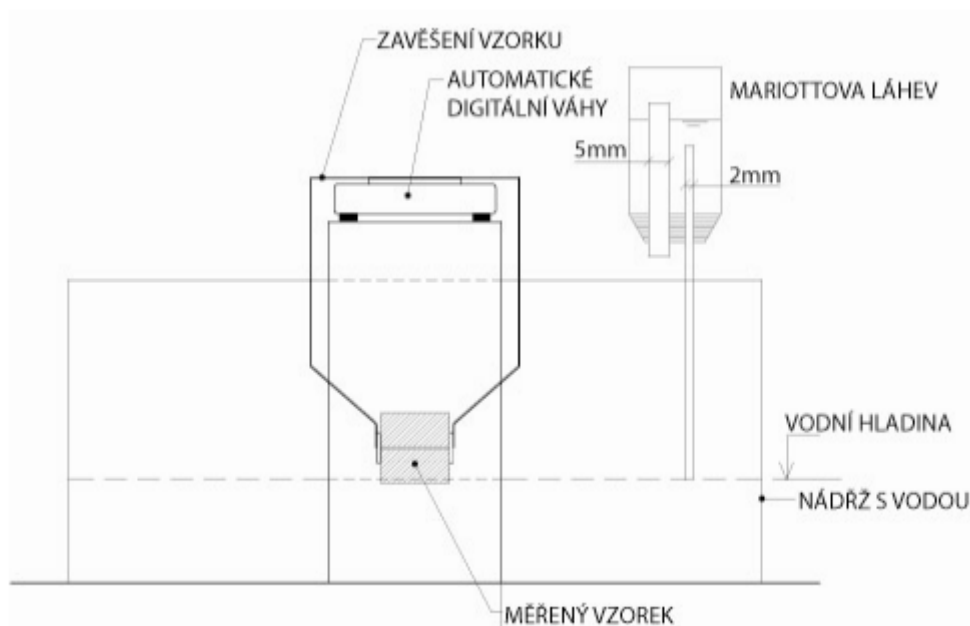
#### 10.4 Koeficient absorpce vody

Vzorky (destičky o hraně 100mm 100mm a 20mm) byly nejprve vysušeny ve vysoušecí peci tak, dokud se jejich hmotnost neustálila na konstantní hodnotě (teplota při vysoušení byla nastavena na 50°C).

Zařízení na měření se skládalo ze skleněné nádoby naplněné vodou a vah se závěsným zařízením. Vzorek byl upevněn do závěsného zařízení tak, že jeho spodní část byla ponořena cca 1-3mm ve vodě. Váha byla připojena k počítači, který

zaznamenával přírůstek hmotnosti v čase. Počítačový software umožňoval nastavit interval měření, ten byl nastaven na 15 vteřin.

Konstantní výšky vodní hladiny bylo dosaženo tzv. „Mariottovou trubicí“. To je láhev naplněná vodou s dvěma kapilárními trubičkami. Jedna z nich (vnitřní průměr 2mm) byla ponořena do vody, druhá (vnitřní průměr 5mm) ústila nad vodní hladinou v nádobě. Pokud hladina vody v nádobě klesla, bublinka vzduchu vnikla dovnitř lahve a z druhé trubičky odteklo tolik vody, aby vrátila hladinu na původní výšku.



Obrázek 25 - Schéma sestavy

#### 10.4.1 Absorpční koeficient

K výpočtu absorpčního koeficientu použijeme následující vzorec:

$$A = \frac{m_v}{S t^{1/2}}$$

Kde  $m_v$  [g] je přírůstek hmotnosti  $S$  [m<sup>2</sup>] je smáčená plocha vzorku a  $t^{1/2}$  [s].

##### 10.4.1.1 Pomůcky

Mariottova láhev

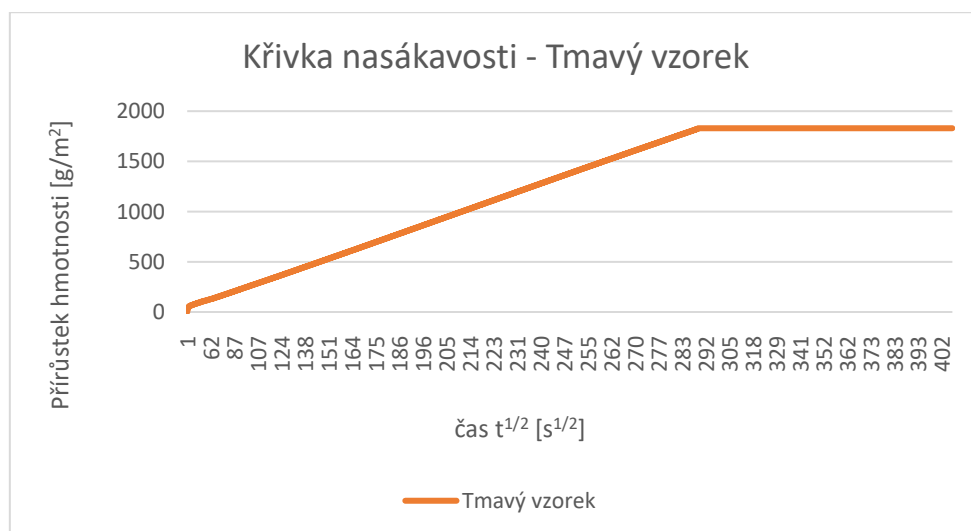
Vzorky 10x10cm

Automatické digitální váhy se závěsným zařízením

Nádrž s vodou

Počítač pro zaznamenávání měření

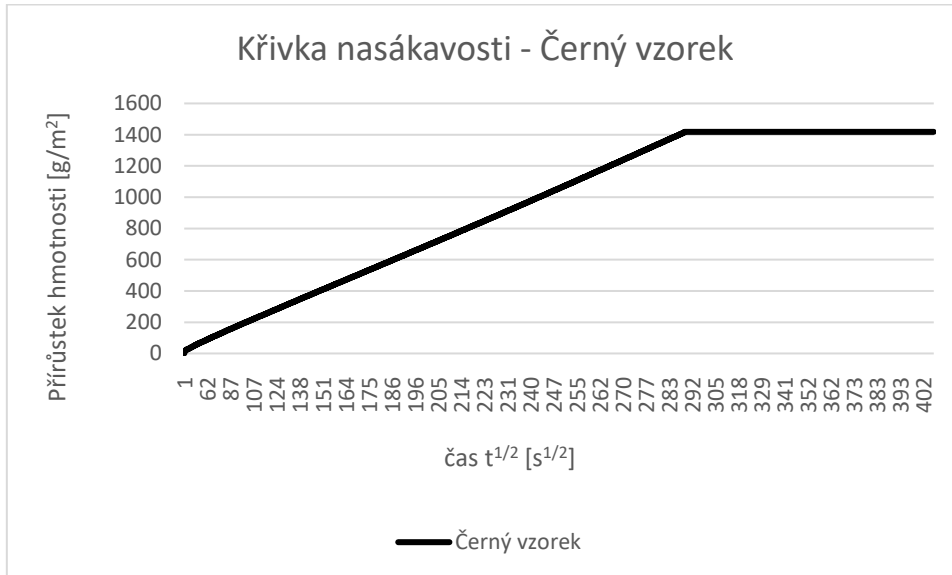
#### 10.4.1.2 Výpočet



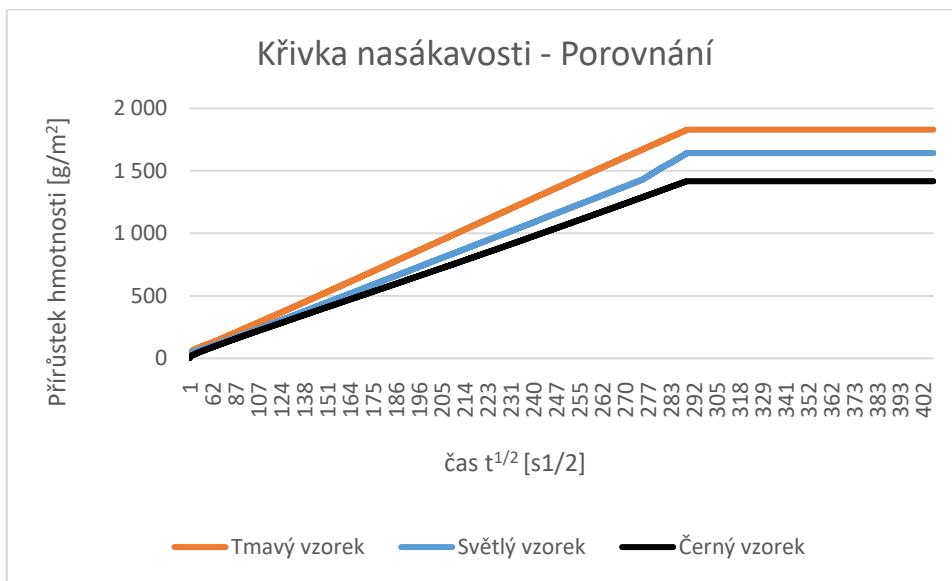
Graf 1 - Křivka nasákavosti - Tmavý vzorek



Graf 2 - Křivka nasákavosti - Světlý vzorek



Graf 3 - Křivka nasákavosti - Černý vzorek



Graf 4 - Křivka nasákavosti - Porovnání

Jednotlivé hodnoty absorpčních koeficientů jsou vidět v tabulce 23.

Absorpční koeficient [kg/m $^2$ * s- $^{1/2}$ ]	
Tmavý	0,00632
Světlý	0,00567
Černý	0,00489

Tabulka 23 - Absorpční koeficienty

### 10.4.1.3 Závěr

Z hodnot v tabulce 23 a také z grafu 4 je patrné, že černý vzorek absorbuje nejméně vody, poté následuje světlý vzorek a nejvíce vody absorbuje vzorek Tmavý.

## 10.4.2 Součinitel vlhkostní vodivosti

Výpočet součinitele vlhkostní vodivosti se provede pomocí následujících vztahů

$$w_{\text{cap}} = \frac{m_{\text{cap}} - m_0}{V}$$

$$\kappa_1 = \left( \frac{A}{w_{\text{cap}}} \right)^2$$

Kde  $m_{\text{cap}}$  je hmotnost nasáknutého vzorku [kg],  $m_0$  [kg] je hmotnost vysušeného vzorku,  $V$  [m<sup>3</sup>] je objem zkoušeného tělesa,  $A$  [kg/m<sup>2</sup> \* s<sup>-1/2</sup>] je absorpční koeficient.

Výsledné hodnoty pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v tabulce 24.

Součinitel vlhkostní vodivosti [m <sup>2</sup> /s]	
Tmavý	4,76349E-09
Světlý	4,29905E-09
Černý	4,07576E-09

Tabulka 24 - Součinitele vlhkostní vodivosti

## 10.5 Mrazuvzdornost

Stanovení mrazuvzdornosti je zkouška střídavého zmrazování a rozmrazování vodou nasycených prvků. Ke zkoušce byly použity vzorky o velikosti cca 160x21,5x65mm.

Zmrazování a rozmrazování zkušebních těles se koná ve zmrazovacích cyklech, při kterých musí být teplota mrazicího prostředí v rozmezí mezi -15°C až -20°C pro prvky vystavené mrazu do -20°C. Jeden zmrazovací cyklus se skládá ze 4 hodin zmrazování a dvou hodin rozmrazování. Při zmrazování se zkušební tělesa ukládají do prostoru, který musí mít předem požadovanou teplotu, při rozmrazování se zkušební tělesa ukládají do vody +20°C teplé. Po ukončení každé zmrazovací etapy se vždy jedna sada těles zkouší tak, že se povrchově usuší a zjistí se jejich rozměry, hmotnost a objemová hmotnost. Pak se zkušební tělesa zkoušejí na pevnost v tahu za ohybu. Prvky se



považují za mrazuvzdorné, pokud jejich pevnost na konci (75 cyklů) není nižší, než 75% referenční pevnosti.

#### 10.5.1 Pomůcky

Vzorky

Mrazicí komora

Snímače teploty

Zařízení na zkoušení v trojbodovém ohybu



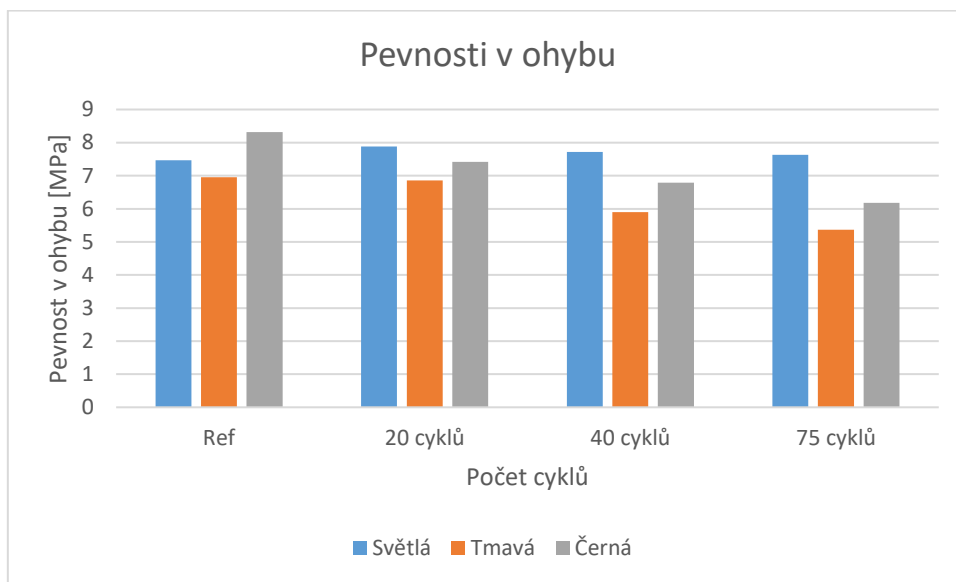
Obrázek 26 - Vzorky uložené v zmrazovací komoře



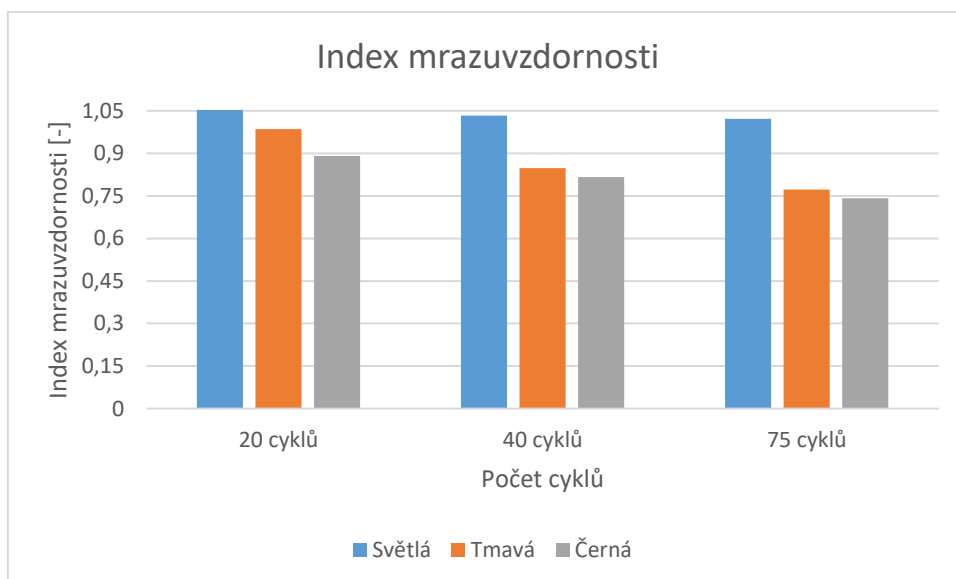
Obrázek 27 - Vzorky uložené v zmrazovací komoře2

## 10.5.2 Výsledné hodnoty

V grafu 5 jsou vyneseny průměrné hodnoty naměřených pevností (naměřené hodnoty jsou přiloženy v příloze). V grafu 6 je poté vyneseny indexy mrazuvzdornosti, který se vypočte jako podíl pevnosti po x cyklech ku referenční pevnosti.



Graf 5 - Průměrné pevnosti prvků



Graf 6 - Index mrazuvzdornosti

### 10.5.3 Závěr

U světlých vzorků se žádný pokles pevnosti v závislosti na zmrazovacích cyklech neprojevil, index mrazuvzdornosti byl vždy dokonce větší než 1.

U tmavých vzorků jsme mohli pozorovat pravidelný pokles pevností, avšak i po 75 cyklech se index mrazuvzdornosti nedostal pod hodnotu 0,75, tím pádem můžeme materiál považovat za mrazuvzdorný.

Černé vzorky měly sice největší referenční pevnost ze všech vzorků, pokles jejich pevností byl však nejstrmější a po 75 cyklech se index mrazuvzdornosti dostal těsně pod hodnotu 0,75, konkrétně na 0,742. Tím pádem nemůžeme černý vzorek považovat za mrazuvzdorný na 75 cyklů.

## 10.6 Cenové srovnání

V této části bych chtěl srovnat náklady, které vzniknou při realizování klasických prvků na rodinném domku z WPC nebo z klasického dřeva. Pro toto srovnání jsem si vybral menší rodinný dům, který můžeme vidět na obrázku 28.



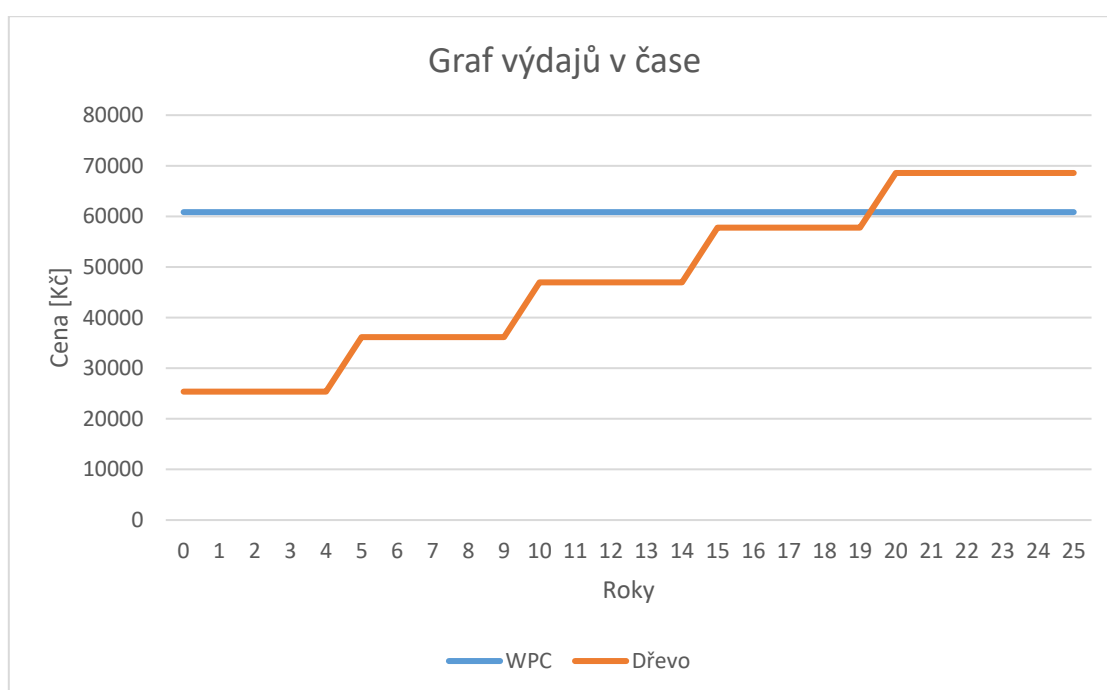
Obrázek 28- Vybraný vzorový dům [26]

Tento dům jsem si vybral, protože obsahuje prvky, které se zhotovují jak ze dřeva, tak z WPC. Jedná se o podlahu terasy a plot, který na obrázku sice není, ale můžeme si ho domyslet. Terasu budeme uvažovat velikosti 5x6m, celkem tedy 30m<sup>2</sup>. Plochu podhledů například cca 20m<sup>2</sup>. A jako plot budeme uvažovat 8 polí, 15 plotových planěk 90cm vysokých, 90mm širokých v každém poli, tj. celkem 120 plotových planěk. Cenový odhad bude proveden pouze zjednodušeně. Ceny za WPC variantu budou převzaty ze stránek jednoho z prodejců [21]. Cena za m<sup>2</sup> dřevoplastové terasy se pohybuje okolo 1500,- za. Zatímco u klasického dřeva (Sibiřský modřín) je pouze 590,- za m<sup>2</sup>. V ceně nebudeme zohledňovat montáž, pouze cenu materiálů. Pokud přejdeme na plot, cena za jednu plotovku o délce 90cm je podle [22] 132,-, zatímco podobná plotovka ze sibiřského modřínu dle [23] pouze

64,-. U Sibiřského modřínu se udává životnost 15-20 let, bez povrchové úpravy však povrch zešedne a estetický dojem není příliš uspokojivý. Budeme tedy uvažovat, že terasu i plot budeme muset opatřit povrchovou ochranou a tu obnovovat cca každých 5 let, protože prvky jsou vystaveny neustále nepříznivým povětrnostním vlivům. Životnost WPC je na druhé straně mnohem delší. Většina výrobců garantuje 25 letou záruku, přičemž není nutné povrch jakkoliv upravovat. Celková plocha terasy plus plotových planěk je tedy  $120 \times 0,9 \times 0,09 \times 2 + 5 \times 6 = \text{cca } 50 \text{m}^2$ . Jako nejlepší ochranu sibiřského modřínu je doporučován finský olej OSMA, jeho cena 2,5l balení, které by vystačilo zhruba na  $30 \text{m}^2$  je cca 2000,-. [24] Znamená to tedy, že při údržbě každých 5 let by se za dobu 25 let muselo koupit těchto balení 8,33. Všechny výpočty jsou zaneseny do tabulky a poté byl vyhotoven graf závislosti investic v čase. V neposlední řadě je také nutné zohlednit práci, kterou nás bude stát demontáž, obroušení starého laku, nános nového a následná zpětná montáž. Pokud bychom počítali, že bychom pracovní sílu, která by toto prováděla odměňovali 120,- za hodinu práce. Práce na jedné plotové plaňce by mohla trvat celkem zhruba 15 minut, na 120 plaňkách je to dohromady tedy 30 hodin. (do času započítáváme odmontování, obroušení, nátěr 2 vrstvami a zpětné namontování). U terasy budeme uvažovat že  $1 \text{m}^2$  by kompletně dělníkovi trval 45 minut, celkem pro terasu je tedy čas 22,5h. Kompletní čas je tedy 52,5 hodin za jednu údržbu, přičemž za 25 let se údržeb bude muset udělat 5 (včetně úvodního nánosů laku, montáž v první údržbě nepočítáme). Celkem tedy za práci  $4 \times 52,5 = 210 \text{h}$ . Výdaje ilustruje tabulka 25 (celkové výdaje po době 25ti let. Graficky pak graf číslo 7 (výdaje v čase).

		Počet	Jednotka	Jednotková cena	Celková cena
<b>WPC</b>	Plot	120	ks	132	15 840
	Terasa	30	m2	1500	45 000
					60 840
<b>Dřevo (sib. Modřín)</b>	Plot	120	ks	64	7 680
	Terasa	30	m2	590	17 700
	Ochrana (počet plechovek)	9	ks	2000	18 000
	Údržba (celkem)	210	h	120	25 200
					68 580

Tabulka 25 - Cenové srovnání na konci životnosti WPC



Graf 7 - Graf výdajů v čase Dřevo / WPC

### 10.6.1 Závěr

Z tabulky a hlavně z grafu je patrné, že počáteční výdaje jsou jednoznačně vyšší, pokud bychom se rozhodli realizovat plot a terasu z WPC. Tyto výdaje se ovšem po 20ti letech vyrovnají, kdy výdaje u WPC zůstávají na 60 840,-, kdyžto u varianty ze dřeva se cena vyšplhala již na 68 580,-. Z tohoto pohledu se jeví varianta zhotovení z WPC jako jednoznačně výhodnější. Nejen co se týče finanční stránky, ale také nám odpadne starost s tím každých 5 let zajišťovat údržbu a nebudeme se muset obejít pár dní bez terasy nebo bez plotu.

## 11 Závěr

Dřevoplastový kompozit (WPC) je poměrně moderní materiál, který vizuálně velmi dobře imituje přírodní dřevo, je však méně nasákavý, tím pádem rozměrově stálejší. To je výhoda hlavně ve venkovních podmínkách, kde jsou prvky vystaveny nepříznivým vnějším vlivům počasí. Další výhodou je možnost přidávání aditiv. Oproti tomu, dřevo je možné také impregnovat a různě ošetřovat. Z mého pohledu je však zakomponování složky do materiálu efektivnější, než aplikovat povrchovou úpravu. Velikou výhodou WPC oproti dřevu je jeho trvanlivost a s tím spojené víceméně nulové nároky na údržbu. Další výhodou je možnost využití také recyklovaných polymerů.

Vzhledem k výše uvedeným vlastnostem, WPC se čím dál více uplatňuje na vnějších menších konstrukcích jako jsou ploty, podlahy teras, podhledy, obklady kolem bazénů a podobně.

U základních fyzikálních vlastností vycházela objemová hmotnost i hustota matrice takřka podobná. Větší rozdíl se však objevil například u pórovitosti. Například rozdíl v pórovitosti mezi černým a tmavě hnědým vzorkem byl 2%. Tyto vzorky se liší pouze ve složení aditiv. Tento rozdíl musí být tedy způsoben právě jimi. Nejvíce nasákavý byl černý vzorek, který nasákl cca 15% vody. Výsledky jsou velice podobné těm, které byly zveřejněny ve vědeckém článku. [25] Černý vzorek byl tím pádem také nejvíce nasákavý. S tím souvisí také výsledky testů na mrazuvzdornost. Černý vzorek nasákne nejvíce vody a tím pádem ho více rozruší působení zmrazovacích cyklů a je u něj pozorován největší úbytek pevnosti. Na druhou stranu i přes největší úbytek, jeho zbytková pevnost zůstala vyšší, než pevnost tmavě hnědého vzorku. Nejlépe v testu mrazuvzdornosti dopadl světle hnědý vzorek. U toho nebyl pozorován žádný úbytek pevnosti. Což úplně nekoresponduje s daty o nasákavosti, nicméně zřejmě výměna aditiv oproti černému vzorku má právě na tuto vlastnost příznivý vliv.



Dále také můžeme říci, že celistvost povrchové vrstvy má výrazný vliv na nasákavost, potažmo na mrazuvzdornost. Tedy, prvek s neporušenou úpravou nenasákne tolik vody, zmrazovací cykly nemají takový účinek na materiál a materiál je tím déle odolný.

Co se týče cenového srovnání, jednoznačně bych volil WPC. A myslím, že také stále více lidí se nebude bát zvolit tento materiál. V dnešní hektické době se totiž zvyšují nároky na bezúdržbovost. Lidé jsou rádi, když dostanou něco, co si udrží estetickou kvalitu po celou dobu životnosti bez nutnosti údržby. Nehledě na to, že z dlouhodobého hlediska je to i finančně výhodnější. Upřímně musím říct, že se zatím s WPC ve svém okolí nesetkávám tolik, jak bych čekal. Většina rodinných domů v okolí stále používá dřevěné prvky. Podle mého názoru je to způsobeno hlavně nedostatečnou informovaností a možná také strachem vyzkoušet něco nového.

Ačkoliv dřevo je přírodní a 100% obnovitelný materiál, WPC je také částečně recyklovatelný materiál a bude získávat větší a větší prostor na trhu. Na druhou stranu WPC je částečně také recyklovatelný.

## 12 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Polyethylen [2] .....	14
Obrázek 2 - Polypropylen [2] .....	14
Obrázek 3 - Schéma měkkého dřeva [8].....	17
Obrázek 4 - Schéma tvrdého dřeva [9].....	17
Obrázek 5 - Termogravimetrická křivka pro borovicovou dřevní moučku [2] .....	22
Obrázek 6 - Trojúhelník výbuchu [11] .....	27
Obrázek 7 - Pneumatický dopravní systém [12].....	28
Obrázek 8 - Metoda plnění úbytkem hmotnosti [15].....	29
Obrázek 9 - Pásový plnič [16].....	30
Obrázek 10 - Přehled systémů směšovačů – extruderů [14] .....	31
Obrázek 11 - Schéma jednoduché šroubovice [17] .....	33
Obrázek 12 - Schéma dvojité šroubovice rotující proti sobě [18] .....	34
Obrázek 13 - Linka s dvojitou šroubovicí rotující ve stejném směru [19] .....	34
Obrázek 14 – Povrch s použitím lubrikantu [26] .....	38
Obrázek 15 - Povrch bez použití lubrikantu [26] .....	38
Obrázek 16 - Připravené zaepoxidované vzorky .....	45
Obrázek 17 - Připravené obroušené vzorky .....	46
Obrázek 18 - Kompletní sestava .....	46
Obrázek 19 - Vzduch "vysávaný" ze zkušebních vzorků .....	47
Obrázek 20 - Miska naplněná silika gelem .....	55
Obrázek 21 - Vzorky utěsněné a připravené na vložení do komory .....	55
Obrázek 22 - Miska naplněna silika gelem .....	55
Obrázek 23 - Vážení vzorku .....	56

Obrázek 24 - Vzorky v komoře.....	56
Obrázek 25 - Schéma sestavy .....	60
Obrázek 26 - Vzorky uložené v zmrazovací komoře.....	66
Obrázek 27 - Vzorky uložené v zmrazovací komoře2.....	66
Obrázek 28- Vybraný vzorový dům [26].....	69

### 13 Seznam Tabulek

Tabulka 1 - Teploty skelného přechodu a teploty tání [2] .....	14
Tabulka 2 - Vlastnosti polymerů [2].....	15
Tabulka 3 - Chemické složení různých druhů dřeva [2].....	18
Tabulka 4 - Obsah vlhkosti ve dřevě [2] .....	20
Tabulka 5 - Typické vlastnosti pro rostlé dřevo [10] .....	24
Tabulka 6 - Výhody a nevýhody systémů [2].....	31
Tabulka 7 - Percentuální zastoupení aditiv Polyethylen [2].....	36
Tabulka 8 - Percentuální zastoupení aditiv Polypropylen [2].....	36
Tabulka 9 - Percentuální zastoupení PVC [2].....	37
Tabulka 10 - Hmotnosti vysušených vzorků .....	48
Tabulka 11 - Hmotnosti plně nasycených vzorků.....	48
Tabulka 12 Archimédovy hmotnosti .....	49
Tabulka 13 - Percentuální nárůst hmotnosti .....	49
Tabulka 14 - Objemy jednotlivých vzorků .....	50
Tabulka 15 - Celková průvitost vzorků .....	51
Tabulka 16 - Objemová hmotnost vzorků .....	51

Tabulka 17 - Hustota matrice vzorků.....	52
Tabulka 18 - Průměrné hodnoty jednotlivých veličin.....	52
Tabulka 19 - Záznamy měření Dry cup .....	57
Tabulka 20 - Záznamy měření Wet cup .....	58
Tabulka 21 - Výsledné průměrné hodnoty .....	58
Tabulka 22 - Výsledné hodnoty smrkového dřeva .....	59
Tabulka 23 - Absorpční koeficienty .....	63
Tabulka 24 - Součinitele vlhkostní vodivosti .....	64
Tabulka 25 - Cenové srovnání na konci životnosti WPC.....	71

## 14 Seznam grafů

Graf 1 - Křivka nasákavosti - Tmavý vzorek.....	61
Graf 2 - Křivka nasákavosti - Světlý vzorek.....	62
Graf 3 - Křivka nasákavosti - Černý vzorek .....	62
Graf 4 - Křivka nasákavosti - Porovnání.....	63
Graf 5 - Průměrné pevnosti prvků .....	67
Graf 6 - Index mrazuvzdornosti .....	67
Graf 7 - Graf výdajů v čase Dřevo / WPC.....	71

## 15 Reference

- [1] (HORÁKOVÁ, Ing. Jana. Perspektivy aplikací kompozitů s polymerní matricí II. Praha, 1989. SIVO 2286. Prognostická studie. ÚVTEI/UTEIN. Vedoucí práce Miloš Vočadlo, prom. chem..
- [2] OKSMAN, Kristiina a Mohini SAIN. Wood-polymer composites. Cambridge: Woodhead, 2008. ISBN 978-1-84569-272-8..
- [3] (KŘÍŽ, Eman. Dřevoplast, jeho výroba a použití. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1960. ISBN DT 674.8..
- [4] Osswald T. A., Menges, G. Materials Science of Polymers for Engineers . New York: Carl Hanser Verla; 1996..
- [5] Kissel W. J., Han, J. H., Meyer, J. A. Polypropylene: structure, properties, manufacturing processes, and applications. In Karian H.G., ed.: The Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites , 2nd edn, New York: Marcel Dekker, In, 2003..
- [6] Wangaard F.F., ed. Wood: Its Structure and Properties . University Park, PA: Pennsylvania State Universit, 1981. [191-223]..
- [7] Stokke D. D., Gardner, D. J. Fundamental aspects of wood as a component in thermoplastic composites. Journal of Vinyl and Additive Technology . 2003; 9(2):96–104..
- [8] Softwood [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: [http://www.furniturelinkca.com/images/softwood\\_1.png](http://www.furniturelinkca.com/images/softwood_1.png).

- [9] Hardwood [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: [http://www.furniturelinkca.com/images/hardwood\\_1.png](http://www.furniturelinkca.com/images/hardwood_1.png).
- [10] KLESOV, A. A. Wood-plastic composites. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2007. ISBN 0470148918..
- [11] Explosion triangle [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://artidor.com/en/assets/images/Explosion%20triangle.jpg>.
- [12] Pneumatic system [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.trimechindia.com/images/pneumatic1.jpg>.
- [13] Vytlačovací stroj WPC, [online], [Cit. 2016-09-09], Dostupné z: <http://www.wpcextruder.com/PP-PE-Wood-Profile-Production-Line.html>.
- [14] Stark, N. M., Matuana, L. M., Clemons, C. M., Effect of Processing Method on Surface and Weathering Characteristics of Wood-flour/HDPE Composites, Journal of Applied Polymer Science, 2004, vol. 93, iss. 3, p. 1021-1030.
- [15] Constant rate feeding diagram [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.rospen.com/images/constantratefeedingdiagram.jpg>.
- [16] Continuous taring [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.ktron.com/images/imagelib/graphics/2-WBFwithContinuousTaring.jpg>.
- [17] Single screw extruder [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: [http://isac.wikidot.com/local--files/intelligent-control-of-single-screw-polymer-extruder/diagram\\_of\\_single\\_screw\\_extruder.png](http://isac.wikidot.com/local--files/intelligent-control-of-single-screw-polymer-extruder/diagram_of_single_screw_extruder.png).

- [18] Twin screw extruder [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Abbas\\_Zolfaghari/publication/236260692/figure/fig2/AS:299528193363969@1448424494134/Figure-2-A-laboratory-counter-rotating-twin-screw-extruder-with-a-screw-d](https://www.researchgate.net/profile/Abbas_Zolfaghari/publication/236260692/figure/fig2/AS:299528193363969@1448424494134/Figure-2-A-laboratory-counter-rotating-twin-screw-extruder-with-a-screw-d).
- [19] Twin-screw\_Extruder [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: [http://image.ec21.com/image/njkaiyou/oimg\\_GC04838331\\_CA04838332/China\\_Kaiyou\\_Co-rotating\\_Twin-screw\\_Extruder\\_HKY35\\_50\\_65\\_75.jpg](http://image.ec21.com/image/njkaiyou/oimg_GC04838331_CA04838332/China_Kaiyou_Co-rotating_Twin-screw_Extruder_HKY35_50_65_75.jpg).
- [20] Wood Species - Moisture Content and Weight [online], [Cit. 2016-09-09] Dostupné z: [http://www.engineeringtoolbox.com/weight-wood-d\\_821.html](http://www.engineeringtoolbox.com/weight-wood-d_821.html).
- [21] Ceník - Dřevěné terasy - Design Compact [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.design-compact.cz/Cenik/Terasy>.
- [22] Plotové prkno 90 Embossované- Cihla- délka 90 cm [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.wpc-shop.cz/ploty/plotove-prkno-90-brousene-cihla-delka-90-cm>.
- [23] MODŘÍNOVÁ PLOTOVKA 21X95X1000 S OBLOUČKEM - SIBIŘSKÝ MODŘÍN [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <https://www.artisan.cz/modrinova-plotovka-21x95x1000-s-oblouckem-sibirsky-modrin-w>.
- [24] Terasové oleje - speciální oleje na dřevo, barevně přizpůsobené jednotlivým typům exotických i jehličnatých dřevin [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.au-mex.cz/terasove-oleje-specialni-oleje-na-drevo-barevne-prizpusobene-jednotlivym-typum>.
- [25] Long-term Water Absorption Behaviour of Polypropylene/Wood Flour/Organoclay Hybrid Nanocomposite [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: [http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J\\_pdf/813200911101.pdf](http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/813200911101.pdf).

- [26] Variabilní projekt rodinný dům 6+1/kk, valbová střecha, 007 [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.projektydomu.cz/projekty-domu/zdene-rodinne-domy/projekt-rodinneho-domu-007.htm>.
- [27] Aditives [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://pas.ce.wsu.edu/CE537-1/Lectures/537%20Additives.pdf> strana 13.



## 16 Přílohy