

Možnosti recyklace odpadního PVC s obsahem vláken

Tomáš Petříček

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš Petříček**
Osobní číslo: **T19318**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Možnosti recyklace odpadního PVC s obsahem vláken**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte rešerši na dané téme
2. Shrňte získané poznatky a zvolte postup pro způsoby přepracování odpadu
3. Připravte základní sadu vzorku a proměřte zvolené charakteristiky
4. Sunarazujte výsledky a informace z teoretické i experimentální části
5. Navrhněte možné uplatnění přepracovaného odpadu

Forma zpracování bakalářské práce: **tisková/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Scheirs, John, Polymer recycling : science, technology and applications, Chichester : John Wiley, 1998, ISBN 0471970549

Kumar Thakur, Vijay., Recycled Polymers : Properties and Applications, Smithers Rapra 2015, ISBN 9781910242308

Kumar Thakur, Vijay., Recycled polymers. chemistry and processing Volume 1 ;, Shropshire, England : Smithers Rapra, 2015, ISBN 9781909030961

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Dagmar Měřinská, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 24. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Předložená bakalářská práce je zaměřená na možnosti recyklace PVC fólií obsahující PES, nebo skleněná vlákna. Pro tento typ odpadu byla navržena recyklační metoda, tak, aby bylo možné materiál znovu zpracovávat, nejlépe do výrobku, z nějž pochází. Značný vliv na možnosti recyklace má právě obsah vláken, který značně mění výsledné vlastnosti materiálu. Pro ověření vlivu vláken na výsledné vlastnosti byly připravené vzorky PVC směsí s příměsí recyklátu získaného popsanou recyklační metodou a u těchto vzorků byly srovnávány změny fyzikálně mechanických vlastností v porovnání s čistou PVC směsí.

Klíčová slova:

PVC, PES, hydroizolační fólie, podlahové krytiny, recyklace, vlákna

ABSTRACT

The presented bachelor thesis is focused on the possibilities of recycling PVC foils containing PES or glass fibers. A recycling method has been designed for this type of waste so that the material can be reprocessed, preferably into the product from which it comes. The fiber content, which significantly changes the resulting properties of the material, has a significant effect on the possibilities of recycling. To verify the effect of fibers on the resulting properties, samples of PVC mixtures with recycled admixtures obtained by the described recycling method were prepared and changes in physical and mechanical properties in comparison with pure PVC mixtures were compared.

Keywords: PVC, PES, waterproofing foils, floor coverings, recycling, fibers

Na tomto místě bych rád poděkoval paní prof. Ing. Dagmarě Měřínské, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce. Dále kolegům za odborné rady a pomoc při měření. Společnosti Fatra, a.s. děkuji za možnost využití laboratorního zařízení a poskytnutí materiálů pro praktickou část.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 RECYKLACE	11
1.1 GREEN DEAL	11
1.2 RECYKLACE PLASTOVÉHO ODPADU	12
1.3 MECHANICKÁ RECYKLACE PVC	13
1.4 CHEMICKÁ RECYKLACE PVC	14
1.5 RECYKLACE PVC ODPADU S VLÁKNY	15
2 POLYVINYLCHLORID (PVC)	17
2.1 VÝROBA PVC	17
2.1.1 Suspenzní polymerace.....	18
2.1.2 Emulzní a bloková polymerace.....	18
2.2 VLASTNOSTI PVC	18
2.3 POUŽITÍ PVC.....	19
3 VÝROBA VÍCEVRSTVÝCH MĚKČENÝCH PVC FÓLIÍ	20
3.1 ROZDĚLENÍ DLE TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ	20
3.1.1 Vytlačování	20
3.1.2 Válcování a laminace	21
3.2 ROZDĚLENÍ DLE VÝSLEDNÉ APLIKACE.....	22
3.2.1 Výroba a skladba střešní hydroizolační fólie (HIF).....	23
3.2.2 Výroba a skladba podlahové krytiny (PK).....	26
4 MECHANICKÁ RECYKLACE PVC ODPADU S VLÁKNY	28
4.1 RECYKLACE PRŮMYSLOVÉHO ODPADU.....	28
4.1.1 Třídění.....	28
4.1.2 Před-mletí.....	28
4.1.3 Mletí a separace vláken.....	30
4.1.4 Zpracování směsí PVC a vláken	33
4.2 NÁVRH UPLATNĚNÍ	35
4.3 RECYKLACE VÝROBKŮ PO SKONČENÍ JEJICH ŽIVOTNOSTI.....	35
5 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI	38
6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
7 MATERIÁL A PŘÍPRAVA VZORKŮ	41
7.1 POUŽITÉ MATERIÁLY	41
7.1.1 Referenční směs	41
7.1.2 Drť K1 a PES cupanina	41

7.1.3	Regranulát z PES cupaniny	41
7.1.4	Směsi pro srovnání FMV	41
7.2	STANOVENÍ MNOŽSTVÍ VLÁKEN V DRTI A CUPANINĚ	42
7.2.1	Příprava vzorku	42
7.2.2	Naměřené hodnoty	43
7.2.3	Výsledky	43
7.3	STANOVENÍ DÉLKY VLÁKEN	44
7.3.1	Příprava vzorků	44
7.3.2	Naměřené hodnoty	45
7.3.3	Výsledky	45
7.4	STANOVENÍ FYZIKÁLNĚ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	46
7.4.1	Příprava vzorků	46
7.4.2	Stanovení pevnost v tahu a protažení.....	47
7.4.3	Stanovení tvrdosti.....	49
7.4.4	Stanovení hustoty	50
7.4.5	Výsledky FMV	53
ZÁVĚR		54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		60
SEZNAM OBRÁZKŮ		61
SEZNAM TABULEK.....		62
SEZNAM PŘÍLOH.....		63

ÚVOD

Z důvodů stále se zvyšujících cen surovin, sílícímu tlaku na recyklaci a s tím spojeným nárůstem cen za skládkování je nutné hledat možnosti recyklace stále složitějších materiálových kompozitu a směsí.

Jedním z materiálů, pro které se velmi těžko hledá další uplatnění, jsou měkčené PVC fólie s příměsí vláken, která v průběhu životnosti výrobku slouží především jako stabilizace rozměrů. Tento materiál vzniká například při výrobě heterogenních hydroizolačních střešních krytin, ale také při výrobě luxusních podlahových krytin v dílcích. Vláknata obsažená v PVC materiálu ale velmi stěžují možnost recyklace, a to jak průmyslového odpadu, tak odpadu z výrobků po skončení jejich životnosti.

Vhodnou možností dalšího využití takového materiálu se z ekonomického hlediska jeví jako nejlepší co nejjednodušší mechanická recyklace a opětovné využití recyklátu do výrobku, z něž pochází. Toto je však možné pouze u průmyslového odpadu, případně u odpadu vznikajícího při instalaci daného výrobku. Odpad vznikající z výrobků po skončení jejich životnosti je nutné použít do méně náročných aplikací, případně jako alternativní zdroj energie, nebo příměs do betonových směsí.

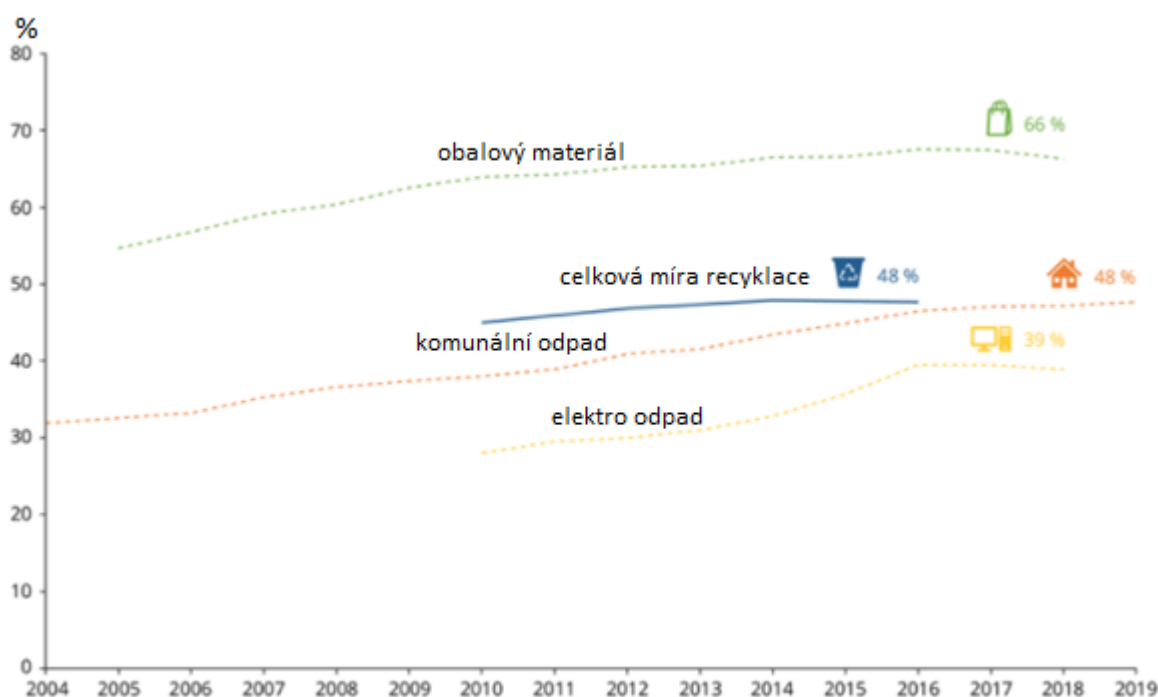
V této bakalářské práci je popsána teoretická možnost recyklace těchto PVC materiálů s obsahem PES vláken. V praktické části jsou pak vyhodnoceny vlivy PES vláken, v materiálech získaných popsanou recyklační metodou, na výsledné vlastnosti PVC směsí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 RECYKLACE

Recyklace je proces sběru a zpracování materiálu, který by jinak byl vyhozen jako odpad, a jeho přeměna na produkty nové. Obecně zahrnuje tři základní kroky, a to sběr odpadu, jeho třídění a následné zpracování a přeměnu na výrobek nový. Recyklace je strategie, která opětovným využitím odpadů šetří přírodní zdroje a současně omezuje zatěžování životního prostředí.

Míra recyklace výroby v Evropě roste, nicméně tempo pokroku je poměrně pomalé a množství recyklovaného materiálu je stále méně než polovina celkového vyprodukovaného odpadu. Nejvyšší míru recyklace můžeme zaznamenat v oblasti obalových materiálů, o poznání hůře je na tom pak například komunální odpad a elektro odpad. [1]



Obrázek 1: Míra recyklace v Evropě podle toku odpadu [1]

1.1 Green Deal

Cílem Zelené dohody Evropské unie, která byla oznámena v prosinci 2019, je učinit Evropu do roku 2050 prvním klimaticky neutrálním kontinentem. Jde o stanovení cílů pro snížení emisí uhlíku, zlepšení lesů, zemědělství, rozšíření ekologické dopravy, recyklace a využívání obnovitelných zdrojů energie. Myšlenkou je ukázat zbytku světa, jak být udržitelný a konkurenceschopný.

Jedním z důvodů pro vznik této dohody je fakt, že každý obyvatel Evropské unie vyprodukoval v roce 2017 přes 170 kg obalového odpadu, z čehož necelých 20 % tvoří plasty. Z rostoucích obav o environmentální dopady těchto spotřebitelských návyků vznikl jeden z hlavních akčních plánů Zelené dohody, tzv. Akční plán cirkulární ekonomiky. Tento akční plán mimo jiné stanovuje cíle pro 100 % opakovatelně použitelné nebo recyklovatelné obaly v celé Evropské unii do roku 2030.

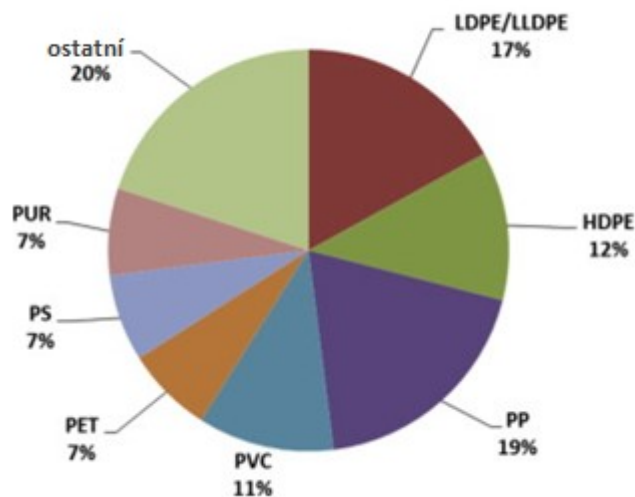
Konečným výsledkem by mělo být plošné snížení vzniku plastových odpadů, ať to hledáním alternativ nebo omezením plýtvání v podobě zbytečně velkých obalů na malé výrobky, optimalizace tvaru apod., a také vyřešení možnosti recyklace a znovuvyužití již dosluhujícího plastového produktu. Firmy i společnost budou postupně k tomuto opatření vedeny a bude to pro všechny strany značně finančně náročné. Výrobky z recyklátů budou dražší než z primárních plastů z důvodů náročnosti recyklace a většina firem bude muset zavádět nové standardy s ohledem na cirkulární ekonomiku.

Slabou stránkou této politické iniciativy je její nedostatečná rozpracovanost, její rozsah omezený pouze na Evropskou unii a nízká informovanost. V současné chvíli neexistují jednotlivé dopadové studie, nejsou vyčísleny finanční dopady, které se odhadují až na 1,8 bilionů Eur v Evropské unii, mnohé země, jakož i ČR nemají zastřešující instituce a také chybí vysvětlovací kampaně. [2], [3]

1.2 Recyklace plastového odpadu

Recyklace plastového odpadu, zejména po spotřebitelích, začala pomalu a doposud je její míra o poznání nižší než u jiných běžných materiálů, jako je papír, kovy a sklo. To je z velké části způsobeno velkou rozmanitostí plastů a různorodostí přísad a kompozit. Možnost různě modifikovat plasty a na míru upravovat jejich schopnosti je přední vlastností těchto polymerních materiálů, a to jak pro výrobce, tak spotřebitele, ale zároveň je velkým problémem recyklace.

Plasty jsou pro svou zpracovatelnost a vlastnosti materiálů velmi atraktivní, ne jinak je tomu u PVC. Využití polyvinylchloridu bylo za poslední léta omezeno například v obalovém průmyslu, nicméně stále je jedním z klíčových materiálů používaným ve stavebnictví a po polyolefinech je druhý nejpoužívanější plast v Evropě. Právě pro potřeby stavebnictví se do výrobků z PVC, ale i jiných plastů, přidávají různé přísady a vrstvy materiálů, které pozitivně zlepšují vlastnosti celého výrobku, ale současně se stávají překážkou v recyklaci. [4]



Obrázek 2: Klíčové typy plastů používané v EU v roce 2011 [4]

V Evropské unii je největší podíl recyklovaného odpadu u plastových obalů, kde se recykluje zhruba 76 % tohoto odpadu. Jiná situace je pak ve stavebnictví. Mnoho plastů, které se zde využívají, končí v budovách s dlouhou životností. Tyto plasty budou v budoucnu sloužit jako odpad, po rekonstrukcích nebo po zbourání budov. Další část odpadu vzniká již při výrobě, a jak je výše uvedeno, mnohdy se jedná o obtížně recyklovatelné materiály, především z důvodů vložených vrstev. U zmíněných PVC výrobků používaných ve stavebnictví to mohou být různé typy výztuh – PES filc, skelné rouno, PES mřížka apod.

1.3 Mechanická recyklace PVC

Při mechanické recyklaci PVC je třeba na vstupu materiál vytrídít, případně již mít vytríděný. Toho třídění obvykle probíhá ručně, což způsobuje horší ekonomickou proveditelnost recyklace a stále více se tedy hledají automatizované metody třídění. V případě post-consumer materiálu, jehož součástí může být materiál získaný například i z demolice staveb (PVC trubky, podlahové krytiny, různé typy hydroizolací apod.), je součástí třídění i částečné odstranění cizích příměsí. Vytríděný odpad je pak nejprve hrubě a následně, mnohdy v kryogenních podmínkách (tzn. v prostředí kapalného dusíku při velmi nízké teplotě), jemně rozmlétý na dále zpracovatelnou velikost částic. Takto vzniklý materiál lze pomocí sít a separátorů dále třídít a poté zpracovat pomocí extruze (při rozdrčení na drť o velikosti částic přibližně 5–10 mm), případně přimícháním prášku vzniklého při kryogenním mletí do hotové směsi nového výrobku. Využívá se této technologie například při zpracování podlahových krytin, které se po rozemletí na jemný prášek o velikosti zrna

zhruba 0,2 mm mohou přidávat zpět do spodních vrstev podlahových krytin. V takovém případě je však nutné před využitím znát chemizmy použité v původní podlahovině.

Mechanická recyklace PVC bude podrobněji popsána dále v této bakalářské práci, kde bude rozvedeno její využití u PVC s obsahem vláken. [5], [6], [7]

1.4 Chemická recyklace PVC

Chemická recyklace je přeměna PVC zpět na kratší řetězce pro opakované použití v petrochemickém průmyslu, nebo polymeračních procesem. Nejdůležitějšími technikami pro chemickou recyklaci odpadu z PVC jsou hydrogenace, pyrolýza, zplyňování a spalování.

Spalování při vysokých teplotách se provádí v rotačních pecích a funguje na principu oxidačního praskání při teplotě 1200–1300 °C. Lze také provést zplyňování v kovové lázni při teplotě 1400 °C. Produktem spalování a zplyňování je chlorovodík.

Pyrolýza je další metodou chemické recyklace PVC. Teplota zpracování je zde 700–900 °C a produkty jsou oxid uhelnatý a chlorovodík jako je tomu u technologie Akzo Se, případně pouze chlorovodík jako je tomu u společnosti Kraftanlagen Heidelberg Energie und Umwelttechnik, která vyvinula proces pyrolýzy PVC s následným spalováním.

Výzkumné středisko NKT A/S (NRC) vyvinulo nový environmentálně udržitelný proces chemického zpracování PVC odpadu. Proces využívá vysokého množství plniva ve výrobcích a hlavním produktem je chlorid vápenatý, energeticky bohatý koks a olej. Proces se skládá ze třech hlavních kroků, a to je předúprava, zpracování v reaktoru a navazující separace a čištění. V prvním kroku jde o odstranění nežádoucích nečistot, vytrídění a drcení. V druhém kroku procesu dochází k tepelné degradaci při nízkém tlaku 2-3 bary a teplotě maximálně 375 °C. V případě nízkého obsahu plniv ve vstupním PVC odpadu se do procesu přidává vápenec. Po reakci se vytvoří hlavní produkty, a to je koks bohatý na chlorid vápenatý, kondenzát a plynná fáze složená především z oxidu uhličitého a lehkých uhlovodíků. Chlorid vápenatý a koks jsou od sebe odděleny v dalším kroku, separaci, a produktem je chlorid vápenatý, kondenzát lze využít jako palivo pro proces zpracování a lehké plyny se uvolní po absorpci malého množství chlorovodíku ve vodě. Výslednými produkty celého procesu jsou chlorid vápenatý (využitelný jako rozmrazovací sůl), koks a organický kondenzát (použitelné jako energeticky bohaté palivo).

Chemická recyklace je stále ve fázi vývoje, je energeticky velmi náročná a stále nese velké množství technických, environmentálních a ekonomických výzev. V současné chvíli je stále ještě mechanická recyklace atraktivnější ekologickou cestou. [8], [9], [10]

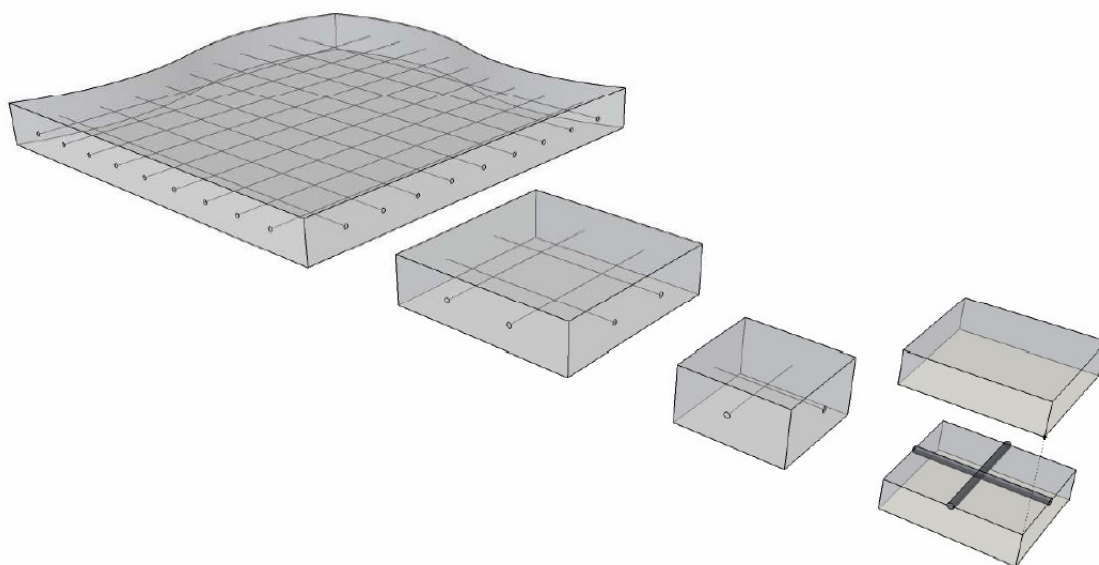
1.5 Recyklace PVC odpadu s vlákny

Nízké náklady a vysoký výkon PVC výrobků v kombinaci s velkou škálou vlastností, které lze získat různými recepturami, přispěly k velké oblíbenosti tohoto materiálu ve stavebních výrobcích. Stávající míra recyklace měkčeného PVC po konci životnosti je jen přibližně 3 % a odpadu před použitím jen 12 %. Tento trend však bude muset být, i s ohledem na chystaný zákaz skládkování, rostoucí.

Při zpracování odpadního materiálu, ať už v podobě technologického odpadu, nebo materiálu po konci jeho životnosti, ať už s obsahem vláken, nebo bez něj, je třeba uvažovat dopředu a roztrdit tento odpad dle plánovaného postupu přepracování a následného uplatnění. Toto třídění bude mnohem jednodušší u technologického a průmyslového odpadu, který vniká přímo ve výrobě a jsme schopni nakládání s ním řídit, nicméně je nutné vytrdit i materiál po skončení jeho životnosti.

Vytríděný materiál bude následně potřeba upravit do lépe zpracovatelné podoby, kdy bude potřeba materiál podrtit, rozemlet a převést tuto drť nebo prášek do podoby granulátu pro lepší dávkovatelnost, případně pro zkrácení vláken, které by mohly zhoršovat výsledné vlastnosti.

V dalších částech se bude tato bakalářská práce zaměřovat především na mechanickou recyklaci plošných útvarů z PVC s obsahem vláken, využitelných především ve stavebnictví. Jedná se především o podlahové krytiny se skelným rounem a různé typy hydroizolačních fólií se skleněnou nebo polyesterovou výztuhou. Jak je výše uvedeno, recyklace těchto materiálů není ještě zcela zavedená z důvodu obtížnosti recyklace a jejich dlouhé životnosti na a v budovách. Tímto materiálem je a bude nutné se zabývat, protože může sloužit jako surovina, nicméně v začátcích je potřeba začít s recyklací průmyslového odpadu, tuto zavést jako standard a postupně dále rozšiřovat o možnosti recyklace odpadu po skončení životnosti. Se vzrůstajícím tlakem na cirkulární ekonomiku, který vytváří Zelená dohoda Evropské unie, budou zajisté vznikat nové a nové recyklační metody, které budou nahrazovat doposud známe, mnohdy velmi složité a neekonomické způsoby recyklace výrobků po skončení jejich životnosti. [11]



Obrázek 3: Schématické znázornění průběhu mechanické recyklace – zmenšení velikosti částic a otevření struktury [12]

2 POLYVINYLCHLORID (PVC)

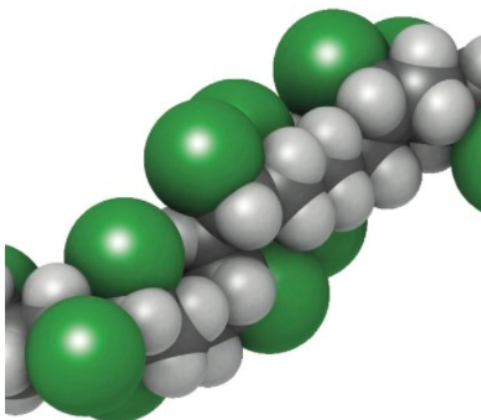
Začátky polyvinylchloridu (PVC) jsou datovány k roku 1835, kdy francouzský fyzik Liebig a jeho pomocník Regnault, syntetizovali monomer vinylchlorid (VCM). V roce 1878 Baumann poprvé pozoroval světlem indukovanou polymeraci vinylchloridu. Základy výrobní technologie položil Fritz Klatte v roce 1912, kdy zjistil, že je možné zpracovávat PVC pod vlivem tlaku a tepla a navrhl tento materiál jako náhradu na výrobu vláken, fólií a přírodních laků. S dalším zásadním objevem přišel o 14 let později Semon ze Spojených států, který získal při jeho zkoumání, plastické PVC – ohebný výrobek, který byl elektricky i chemicky inertní.

V současnosti je jedním z nejrozšířenějších plastů, co se vyrobeného objemu týče, a má široké využití v automobilovém, stavebním a spotřebním průmyslu. [13], [14]

2.1 Výroba PVC

PVC se vyrábí polymerací monomeru vinylchloridu a lze jej vyrábět polymerací radikálovou a také iontovou, která je však citlivější na nečistoty a změnu polaritu prostředí. Z tohoto důvodu je častěji používána radikálová polymerace.

V 30. letech 20. století byla zahájena výroba PVC emulzní polymerací, kdy se využívalo zkušeností z emulzní polymerace butadienu. Dnes se touto metodou vyrábí přibližně 12–15 % celkové produkce polyvinylchloridu. V současnosti nejvíce využívaná pro výrobu PVC je polymerace suspenzní, a to až v 80 % případů. Použitý způsob polymerace má pak vliv na výsledné vlastnosti produktu. [14], [15]



Obrázek 4: Polymer vinylchloridu [16]

2.1.1 Suspenzní polymerace

Prvním krokem je naplnění reaktoru vinylchloridem spolu s vodou a suspenzačními činidly. Následně se vysokorychlostním mícháním vytvoří drobné kapičky vinylchloridu. Dále je do reaktoru přiváděn iniciátor rozpustný právě ve vinylchloridu, poté se pod vlivem tlaku a teploty (40–60 °C) začne polymerovat vinylchlorid na PVC. Polyvinylchlorid získaný touto metodou má velikost částic v průměru od 50 do 200 μm.

V konečné fázi procesu je S-PVC, jak se také nazývá PVC vyrobené suspenzní polymerací, vypouštěno z polymerizačního reaktoru a zbaveno nezreagovaného vinylchloridu. Voda je pak odstraněna pomocí odstředivky a následně jsou částice bílého PVC prášku sušeny. Veškeré množství nezreagovaného vinylchloridu je recyklováno a použito znovu jako surovina. [16]

2.1.2 Emulzní a bloková polymerace

Jsou alternativními metodami výroby polymeru z vinylchloridu. Emulzní polymerace produkuje výsledné PVC s menšími částicemi, které jsou vyžadovány pro určité aplikace, jako jsou třeba nátěrové hmoty.

Bloková polymerace pak poskytuje podobné PVC jako při suspenzní polymeraci, nicméně celý proces probíhá bez vody. Výsledný polymer je pak používán ve výrobě, kde je potřeba velmi vysoká průhlednost a dobré plastické vlastnosti. [16]

2.2 Vlastnosti PVC

Polyvinylchlorid se nejčastěji vyskytuje ve formě tvrdé (PVC-U) a měkčené (PVP-P), tato forma pak určuje výsledné vlastnosti.

Tvrký polyvinylchlorid je čirý a lesklý, má značnou tvrdost, pevnost a odolnost vůči odírání. Tepelná odolnost proti vysokým teplotám je vyšší než u měkčeného, není však nikterak vysoká – dlouhodobě do 65 °C, krátkodobě pak do 85 °C. Odolnost proti nízkým teplotám je zde horší než u PVC-P.

PVC je stálý vůči vodě, zásadám i kyselinám, olejům a některým organickým látkám. Při zpracování je nutná tepelná stabilizace z důvodu odštěpování chlorovodíku a při používání je vyžadována UV stabilizace. Slouží jako dobrý elektroizolační materiál a při hoření je samozhášivý.

Měkčené PVC vzniká přidáním změkčovadel, většinou estery kyseliny ftalové a fosforečné. Změkčováním klesá pevnost a tvrdost, naopak se zlepšují vlastnosti jako tažnost, ohebnost, pružnost, odolnost nízkým teplotám. Změkčením se také velmi usnadňuje jeho zpracovatelnost. [17]

2.3 Použití PVC

PVC má díky svým vlastnostem velmi široké využití. Ve stavebnictví jde o nejpoužívanější plastový materiál, využívá se pro výrobu trubek, izolaci kabelů, okenních profilů, podlahovin a různých hydroizolačních fólií sloužících pro izolaci od spodní vody, izolaci jezírek a nádrží až po fólie sloužící jako střešní krytina.

V chemickém průmyslu a strojírenství se využívá PVC k ochraně proti korozi, a to na nejrůznějších nádobách, potrubí, armaturách apod. Ve zdravotnictví se pak tento materiál využívá na výrobu nejrůznějších hadiček, chirurgických rukavic, nafukovacích dlah, krytů na matrace a dalších podobných aplikacích.

Polyvinylchlorid má organoleptické vlastnosti čili neovlivňuje chuť balených potravin, a to jej přímo předurčuje k využití pro výrobu obalů. Díky možnosti využití radiační sterilizace se využívá pro balení jednorázových injekčních stříkaček a zdravotnických prostředků. Ve farmaceutickém průmyslu se používá k balení tablet.

Další neméně důležité uplatnění nachází PVC v automobilovém průmyslu, kde slouží jako součást povlaků spodních částí automobilů, vyrábí se z něj interiérové části jako dveřní panely, části sedadel, opěrky rukou a jiné. Na vnější straně automobilů se využívají ochranné lišty, profily těsnění oken a další díly vyrobené z PVC. [16]



Obrázek 5: Profily z PVC [18]

3 VÝROBA VÍCEVRSTVÝCH MĚKČENÝCH PVC FÓLIÍ

Fólie jsou plošné, tenké útvary vyráběné především z plastů nebo kovu. Používají se v mnoha průmyslových odvětvích a k různým účelům.

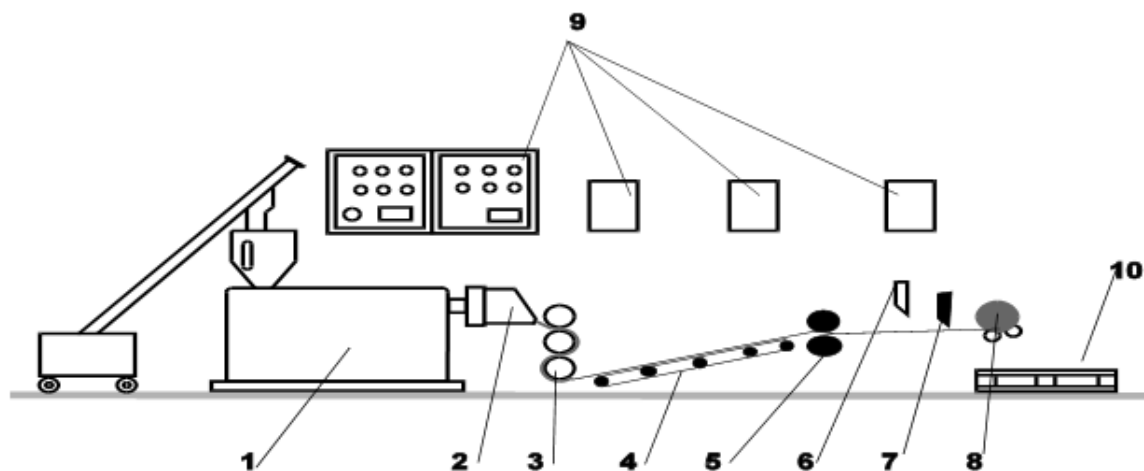
Plastové fólie můžeme rozdělit na obalové, technické a dekorační. Laminováním jednotlivých vrstev, lze vyrobit vícevrstvé fólie s lepšími FMV. Jednotlivé vrstvy se vyrábí vytlačováním, nebo válcováním a jsou spojovány působením tepla a tlaku na laminačních linkách.

3.1 Rozdělení dle technologie zpracování

Vícevrstvé PVC-P fólie jsou vyráběny tak, že jsou k sobě spojovány pomocí tepla a tlaku jednotlivé vrstvy. Tyto vrstvy mohou obsahovat, mimo jednotlivé fólie z měkčeného PVC, také různé druhy výztuh jako například polyesterovou (PES) mřížku, ať už tkanou či netkanou, skelné rouno, polyesterový filc, případně kombinaci výše uvedeného. Vyrábí se většinou vytlačováním a válcováním s následnou laminací.

3.1.1 Vytlačování

V případě prvního uvedeného dochází v míchacím uzlu k přípravě směsi dle požadované receptury, následně k dávkování do extruderu, většinou dvoušneku, kde dojde k tavení materiálu a přes štěrbinu vytlačovací hlavy požadované šířky, dojde k rovnoměrnému výtlaku PVC na žehlicí tříválec. Zde dochází jednak k laminaci dalších vrstev, ale také ke sjednocení tloušťkového profilu výrobku, získání jakosti povrchu a opatření finálním dezénem. Produkt je poté kontrolován bezdotykovým měřičem tloušťky. Na závěr ořezán na požadovanou šíři a namotáván na hřídele buďto jako polotovar pro převíjení, nebo jako produkt ve finální délce. Počet jednotlivých vrstev je závislý na počtu extruderů, žehlicích tříválců a odvíjecích stolic pro výztuhy.



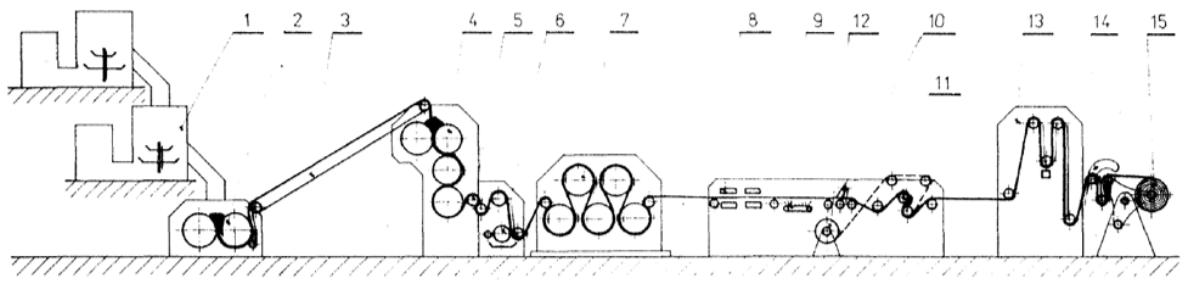
Obrázek 6: Zjednodušené schéma vytlačovací linky [19]

1 – extruder, 2 – vytlačovací hlava (hubice), 3 – žehlicí tříválec, 4 – vodící válečky, 5 – odtahovací zařízení, 6 – rezačka okrajů, 7 – sekačka konce návinnu, 8 – navíječka, 9 – ovládání linky, 10 – paleta na uložení návinnů

3.1.2 Válcování a laminace

Druhou, neméně významnou výrobní metodou, je válcování s následnou laminací. Zásadní výhodou tohoto typu výroby je možnost připravit širší portfolio výroby a výrobky s větším počtem jednotlivých vrstev. Prvním krokem je příprava válcované PVC fólie, polotovaru. Ten se připravuje na válcovací lince složené z míchacího uzlu, kde jsou jednotlivé komponenty dávkovány většinou do fluidní míchačky, kde dochází k syčení směsi změkčovadly a k jejímu míchání. Tato směs pak pokračuje přes navažovací systém do extruderu, zde jde většinou o jednošnekový vytlačovací stroj, který otáčením šneku vytváří oscilační pohyb a díky hnětadlům na vnitřní straně komory dochází k plastifikaci a homogenizaci materiálu, takový vytlačovací stroj je nazýván KO hnětičem. Dalším krokem systému je dvouválec, kde dochází k další homogenizaci, vlivem rozdílné obvodové rychlosti válců a prohřátí materiálu. Při správném dimenzování KO hnětiče je možné tento mezikrok vypustit. Následně je pak materiál, v podobě pásků (v případě využití dvouválce) nebo v podobě pelet (v případě přímého výstupu z KO hnětiče), dávkován na čtyř válec, obvykle typu „F“. Seřízením jednotlivých šterbin mezi válci a nastavením správných frikcí dochází k vyválcování fólie požadované tloušťky. Ta je v dalším kroku opatřena dezénem, který je důležitý pro odstranění vzduchů při následné laminaci, kontrole tloušťkového profilu, ořezu okrajů a navíjení převážně na papírové dutinky. Navinuté polotovary jsou skladovány a následně připravovány pro zpracování na laminační lince.

Laminační linka se skládá především z jednotlivých odvíjecích míst, ať už na polotovary v podobě PVC fólií, nebo na výztuhy obdobně jako u vytlačování (PES mřížky, skelné rouno, PES filc). Odvíjecí místa mají obvykle dvě pozice, aby při výměně končícího balíku mohla produkce kontinuálně pokračovat přejetím na balík nový. Polotovary jsou přes přehřívací válce dále vedeny k laminačním bubnům, válcům většího průměru temperovaných na laminační teplotu, kde dochází vlivem tepla a tlaku (přítlačných válců) ke spojování jednotlivých vrstev. Již zlamínovaný produkt je povrchově nahříván a pomocí dezénovacího (embosovacího) válce opatřen požadovaným dezénem. V případě podlahovin může být produkt opatřen vrstvou laku. Dalším krokem v hotovém výrobku je tepelná stabilizace, kontrola kvality na prohlížecím stroje a následné navíjení, formátování a balení. [20]



Obrázek 7: Schéma válcovací linky [21]

1 – fluidní míchačka, 2 – dvouválec, 3 – dopravník, 4 – čtyřválec, 5 – odtah, 6 – dezénování, 7 – chladicí válce, 8 – měřič tloušťky, 9 – prosvěcovací stůl, 10 – ořez okrajů, 11 – tažné válce, 12 – navíjení okrajů, 13 – zásobník, 14 – příčné řezání, 15 – navíjecí zařízení

3.2 Rozdělení dle výsledné aplikace

Podle výsledné aplikace PVC fólie můžeme rozdělit na hydroizolační fólie, podlahové krytiny a technické fólie.

Hydroizolační fólie jsou určeny pro vytvoření povlakových izolací všech typů plochých i šikmých střech, teras, balkonů a spodních částí staveb proti negativním účinkům vody, radonu a také některých chemických látek. Dále je možné je použít k izolaci jezírek a vodních ploch.

Podlahové krytiny můžeme dále rozdělit na homogenní, které tvoří jedna vrstva, a heterogenní, které jsou složeny z několika vrstev odlišujících se složením nebo provedením. Tyto krytiny pak mohou být dodávány v rolích (známé pod názvem Lino), nebo dílcích

(mnohdy značené jako LVT – luxury vinyl tiles). Dílce jsou pak ještě oproti rolím mnohdy vyztužené skelným rounem, které je zalaminované uvnitř struktury podlahoviny.

Posledním zmíněným zástupcem jsou technické fólie, převážně se jedná o válcované PVC fólie, které mohou být transparentní i barevné, v různých tvrdostech a s širokou řadou dezénů a parametry jsou upravovány dle požadavků zákazníka. Z těchto fólií je možné vysokofrekvenčně svařovat různé výrobky, mezi nejznámější patří nafukovací hračky.

3.2.1 Výroba a skladba střešní hydroizolační fólie (HIF)

Každý výrobce střešních fólií má mírně odlišnou konstrukci výrobku i recepturu jednotlivých vrstev. Obecně však lze říci, že se jedná o vícevrstvou hydroizolační fólii s vnitřní výztuhou, a to povětšinou PES mřížkou, skelným rounem nebo PES netkanou textilií (filcem).

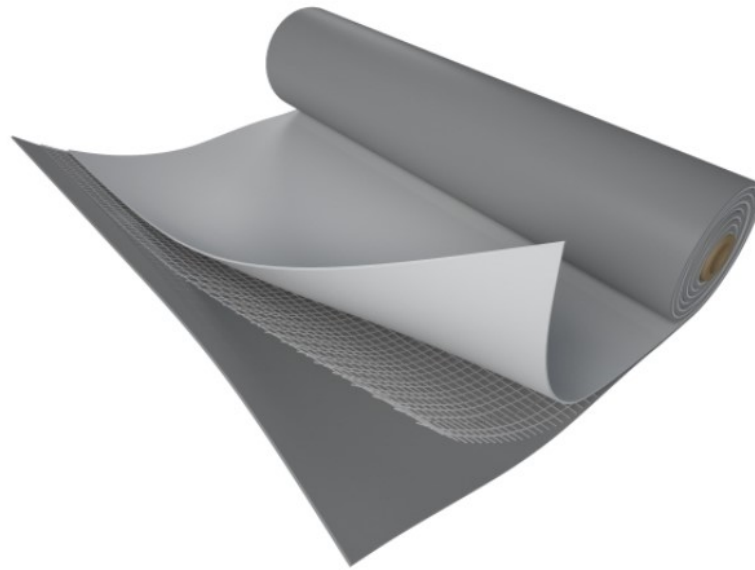
Receptury jednotlivých vrstev jsou pak dle složeny z PVC, změkčovadla a dalších složek jako jsou UV stabilizátory, tepelné stabilizátory, fungicidní činidla, zpracovatelské přísady a plniva. PVC směsi jsou propracovanou chemií s mnoha možnostmi modifikace, každá tato modifikace má dopad na průběh výrobního procesu, ceny membrány, ale také výsledný výkon dané fólie, potažmo střechy.

Důležitou vlastností je vysoká UV stabilita a odolnost nízkým i vysokým teplotám, dále pak může mít střešní hydroizolační fólie různou požární odolnost. [22]

3.2.1.1 Střešní HIF s PES mřížkou

Tato hydroizolační fólie je vyráběna válcováním s navazující laminací, nebo vícenásobnou extruzí. Mezi vrstvy PVC je zapracovaná polyesterová mřížka, která může být dle konstrukce rozdělena na tkanou, netkanou, případně tzv. opletenou. Tato vrstva je velmi důležitá pro rozměrovou stabilitu finálního výrobku, ale také pro pevnost při kotvení.

Mechanické kotvení hydroizolačních střešních fólií je nejběžnější systém fixace, a právě pro tento typ povlaků se používá HIF vyztužená PES mřížkou. [23]

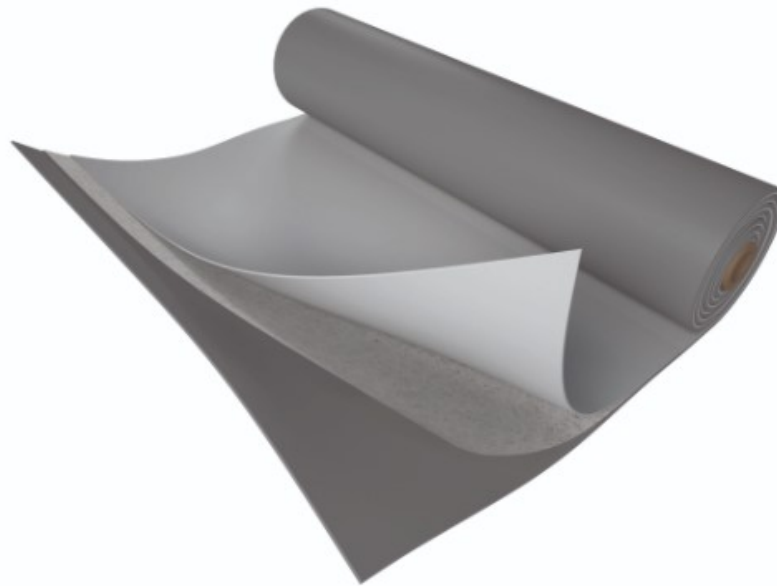


Obrázek 8: Střešní HIF s PES mřížkou [23]

3.2.1.2 Střešní HIF se skelným rounem

Výrobním procesem jde o velmi podobnou střešní fólii jako výše uvedenou s polyesterovou mřížkou, zde je však pro rozměrovou stabilizaci výrobku použito skelné rouno. Tento typ výztuhy má nízkou pevnost, proto není určen pro mechanické kotvení, ale naopak zajišťuje plošnou, rovnoměrnou oporu.

Z výše uvedeného vyplývá i výsledná aplikace tohoto typu střešní krytiny, která je určena pro přetížené střechy praným říčním kamenivem, nebo provozním souvrstvím. [23]

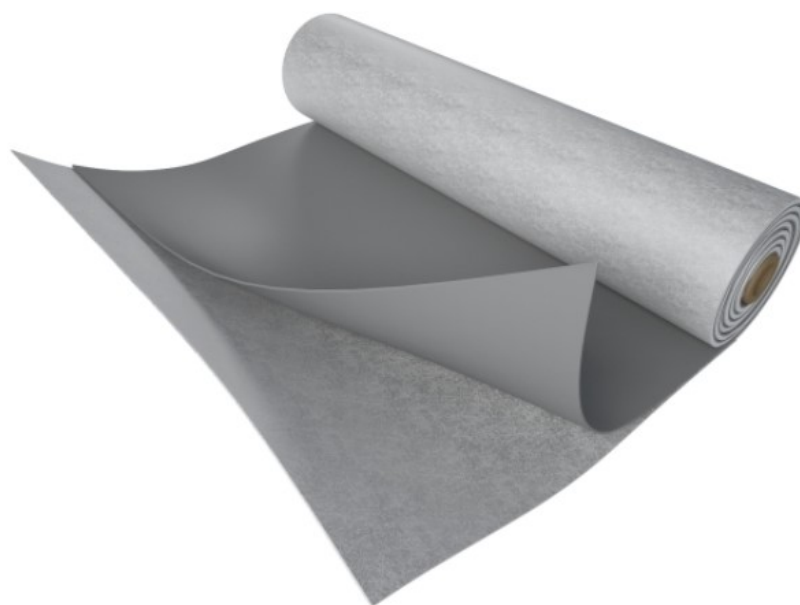


Obrázek 9: Střešní HIF se skelným rounem [23]

3.2.1.3 *Střešní HIF s PES filcem*

Fólie vyrobená na bázi měkčeného PVC s podkladní vrstvou z netkané polyesterové textilie. Vyrábět lze jak válcováním a laminací, tak také vytlačováním, se skelným rounem ve středu, nebo bez.

Tento typ střešní krytiny je určen pro lepené systémy v aplikaci na vhodnou tepelně izolační vrstvu, nebo pevnou konstrukci. Dle tloušťky filcu, lze aplikovat také na asfaltové povrchy, pro takový typ aplikace je nutná plošná hmotnost min. 300 g/m². [23]



Obrázek 10: Střešní HIF s PES filcem [23]

3.2.2 Výroba a skladba podlahové krytiny (PK)

Polyvinylchlorid je pro výrobu podlahových krytin jeden z nejběžnějších materiálů, a to pro svou vysokou odolnost, dlouhou životnost nebo pro přijatelnou cenu.

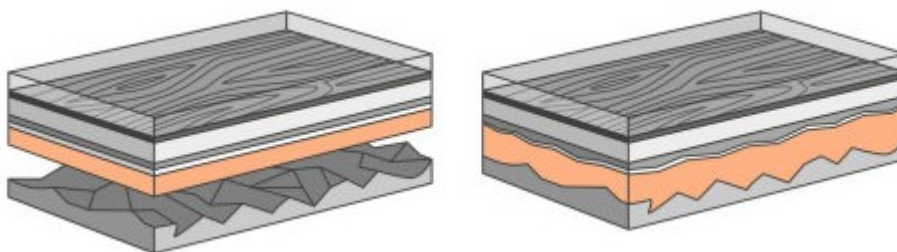
Obecně lze podlahoviny vyráběné z PVC rozdělit na homogenní, kdy jsou tvořené pouze jednou vrstvou, nebo heterogenní, které se skládají z několika vrstev, které se odlišují složením nebo provedením.

Heterogenní podlahoviny mohou být dále opatřeny vrstvou skelného rouna uvnitř skladby sloužícího jako prvek zajišťující vyhovující rozměrovou stabilitu. Toho se využívá především u podlahové krytiny v dílcích, tzv. LVT. Setkat se můžeme také s PK v rolích opatřenou polyesterovou netkanou textilií na spodní straně, ta slouží jako tepelná a hluková izolace a má schopnost vyrovnat případné nerovnosti na podkladu.

3.2.2.1 PK bez skelného rouna

Vícevrstvá podlahová krytina neobsahující ve své skladbě skelné rouno je většinou dodávaná v podobě rolí. Obvykle se skládá z několika vrstev, kde konečné použití určuje nášlapná vrstva. Další vrstvou je dekorační, potištěná fólie, která podlahovině dává požadovaný dekor a nabízí nekonečné designové možnosti. Následují spodní, obvykle velmi plněné, vrstvy.

Stále častěji se vyskytují požadavky na podlahovou krytinu, která je schopna sama o sobě srovnávat nerovnosti na podkladu a zároveň snižovat kročejovou hlučnost. Na základě toho se objevují podlahové krytiny z PVC, které jako další vrstvu mají nalaminovaný polyesterový filc, mnohdy o vysoké plošné hmotnosti až 500 g/m².

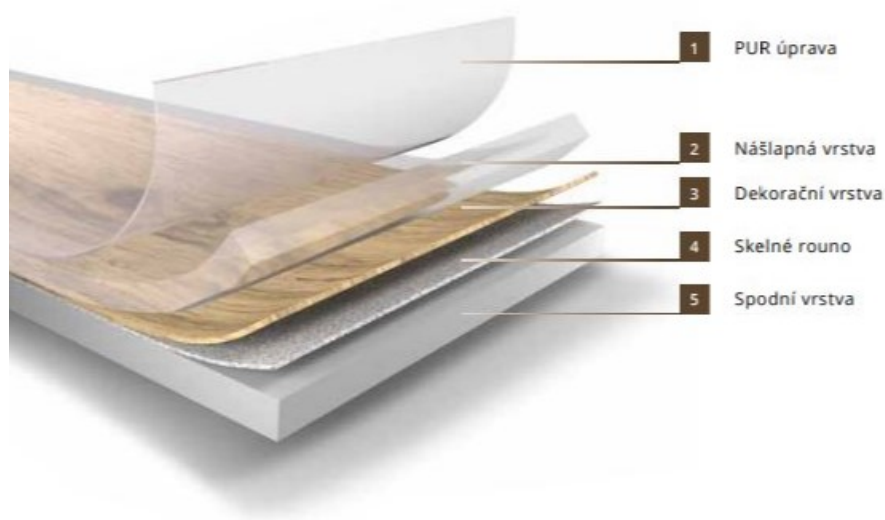


Obrázek 11: Nákres vyrovnání podkladních nerovností [24]

3.2.2.2 PK se skelným rounem

Skelné rouno u podlahové krytiny zajišťuje vyhovující rozměrovou stabilitu. Toho se využívá především u dílců, které jsou stabilizovány tak, aby při užívání podlahoviny nedocházelo vlivem roztažnosti k tvorbě mezer mezi jednotlivými dílci. Díky skelnému rounu je pak možné vinylové dílce (LVT) použít i v kombinaci s podlahovým topením, které se těší stále větší obliby.

Dílce jsou obdobně jako podlahovina v rolích vyráběné z více vrstev, navíc má vložené výše uvedené skelné rouno. Vrchní vrstva, užitná, je opatřena dezénem a vrstvou polyuretanového laku, který zvyšuje odolnost povrchu a usnadňuje jeho údržbu. [25]



Obrázek 12: Skladba podlahoviny se skelným rounem [25]

4 MECHANICKÁ RECYKLACE PVC ODPADU S VLÁKNY

4.1 Recyklace průmyslového odpadu

Průmyslový odpad pochází z více technologických operací a obsahuje jeden nebo více polymerních materiálů. U tohoto typu odpadu známe složení, stejně jako u technologického, jeho následné zpracování však bude komplikovanější z důvodu možné přítomnosti dalších polymerů, případně výztuh. Příkladem takového materiálu mohou být odpady z výroby přístrojových desek automobilů, které se skládají z vrstvy polypropylenu, na kterou je vypěněna vrstva měkkého polyuretanu, krytá plastovou fólií, ale také to mohou být podlahové krytiny se skelným rounem, případně heterogenní hydroizolační fólie. Recyklace takových materiálů je technologicky složitá a mnohdy je na hranici ekonomické smysluplnosti. [26]

4.1.1 Třídění

Proces třídění průmyslového odpadu je nevyhnutelný, ale značně jednodušší než u materiálu po skončení jeho životnosti. S recyklací je třeba počítat od začátku, kdy odpad vzniká a již v tomto kroku materiál roztřídit a řádně označit, aby nemohlo dojít k záměně s jiným odpadem.

Systém evidence odpadu mají jednotlivé firmy vlastní, ale je třeba jej interně dodržovat a respektovat v rámci všech oddělení. Stejně jako je třeba počítat s tříděním materiálu, je nutné i připravit vhodné skladovací prostory, ve kterých bude materiál uchován roztřídněný a dostatečně chráněný proti vlivům okolí – znečištění prachem, namočení apod.

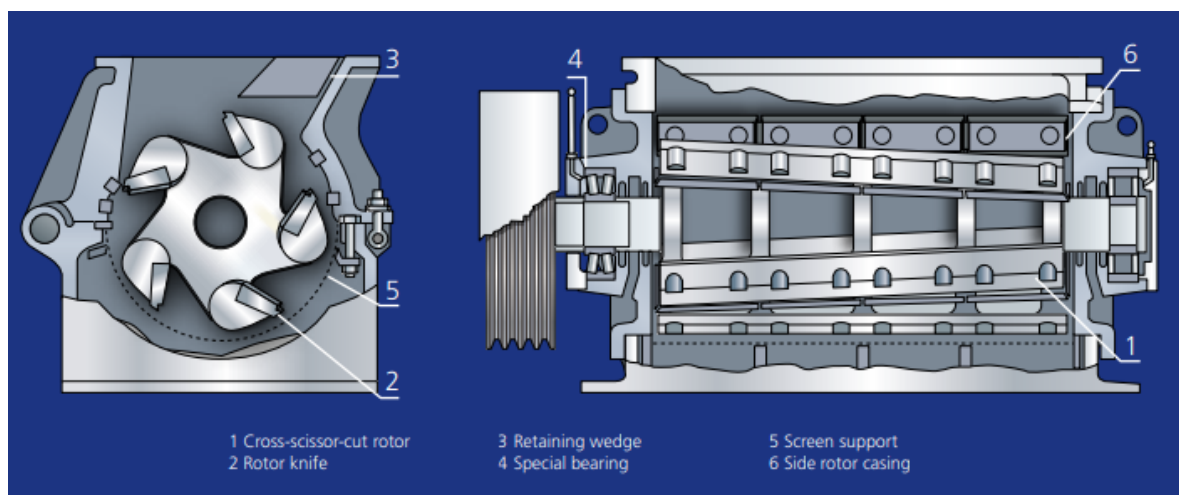
V případě zmiňovaných podlahových krytin je třeba zajistit oddělení materiálů obsahujících skelné rouno a toho, který výztuhu nemá. U hydroizolačních fólií je třeba dělit zvláště i materiál obsahující pouze PES mřížku, skelné rouno, PES filc, případně kombinace těchto výztuh.

4.1.2 Před-mletí

Cílem před-mletí je zmenšit velikost částic a tím zjednodušit následnou manipulaci a další zpracovatelský proces. Drcení může být online napojené na mletí a separaci, čehož se využívá pro materiály obsahující PES vlákna. Odpady obsahující skelné rouno neprocházejí separací vláken, pouze se upravuje jejich velikost.

Před vstupem do samotné linky je materiál dávkován na dopravní pás, který je v nastavených taktech posouván pod hydraulickou gilotinu, kde dochází ke zmenšení plošných útvarů, tak aby byly dále zpracovatelné. Odtud putuje materiál pomocí dalších dopravních pásů opatřených detektory kovu, sloužících k ochraně zařízení, dále k prvnímu nožovému mlýnu. Ten, dle použitého síta, zmenší velikost částic, většinou se používají síta o velikosti oka 5–10 mm. [27]

Nožový mlýn, určený pro zpracování plastů, vykazuje zásadní technické charakteristiky. Takový mlýn je opatřen rotující hřídelí, která je osazena několika noži. Dále jsou v mlecí komoře statorové nože a síto odpovídajícího děrování. Odkrajovaný materiál je v komoře dále rozmělněn až na velikost, která propadne zvoleným sítem, a takto pomletý materiál pokračuje dále k dalším technologickým krokům. Nožové mlýny jsou pro tento typ materiálu vhodným řešením, protože vykazují výhodný poměr cena/výkon a při pravidelné a řádné údržbě i nízké provozní náklady. Jako i u jiných technologiích je třeba i zde na začátku zvolit vhodnou velikost stroje dle kapacitních požadavků. Drobnou nevýhodou nožových mlýnů je vyšší hluk při provozu a vznikající prach, nicméně toto je dnes řešitelné pomocí odhlučňovací komory a odlučovačů prachu. [28]



Obrázek 13: Schéma nožového mlýna Alpine Hosokawa [27]

V případě podlahových krytin materiál putuje do druhého nožového mlýna, bez předchozí separace, a zde je drcen na jemnější frakci, obvykle 3–4 mm, takto vzniklá drť již může putovat přes detektory kovu do vaků, případně do regranulační linky.

U hydroizolačních fólií, obsahujících výztuhu, je materiál do druhého, opět nožového mlýna, veden přes turniketový podavač a přes tzv. cik-cak separátor, kde dochází k oddělení PVC drtě a PES shluků vláken.

K oddělení drtě PVC od zmíněných PES shluků vláken dochází v cik-cak separátorech za principu rozdílného odporu částic vůči proudícímu vzduchu, jak ukazuje obrázek 13. Vznosnější PES vlákna jsou unášena přes separátor k odlučovacímu filtru, zatímco PVC drť padá do spodní části separátoru, odkud putuje dále k mletí a další separaci vláken. Zařízení cik-cak separátoru bývá obvykle provozováno v režimu recirkulace vzduchu, kdy vyčištěný vzduch se vrací dmychadlem zpět do separátoru. Požadovaný průtok a tlak vzduchu je regulován na ventilátoru. [29]



Obrázek 14: Schéma cik-cak separátoru [29]

4.1.3 Mletí a separace vláken

Separaci vláken dosáhneme vzniku drtě, kterou lze následně použít do středních a spodních vrstev produktu, z něž vznikla. Takto vzniklá drť nemá zásadní vliv na fyzikálně mechanické vlastnosti (FMV). Aby mohlo dojít k hlavní separaci vláken, je nutné nejdříve otevřít strukturu produktu – obnažit tato vlákna (viz obr. 3).

K otevření struktury dochází pomocí talířového mlýnu (pulverizátoru). Pulverizátor využívá rotace jednoho ze dvou proti sobě orientovaných mlecích kotoučů (talířů), které

mají na svém povrchu jemné ozubení. Materiál je násypkou přivádět do středu stacionárního kotouče a odstředivou silou je tlaček k okraji, kde je nastavená minimální štěrbina. Takto dochází ke zmenšení částic a k otevření struktury.

Současně při otevření struktury fólie dochází vlivem smykových sil i k uvolnění PES vláken. V této fázi vzniká již relativně čistá PVC drť a shluky PES vláken nazývané též jako „cupanina“.

Drť je opět od cupaniny odlučována pomocí cik-cak separátoru. Dávkování materiálu do separátoru je zajištěno turniketem, který jednak slouží jako dávkovač, ale zároveň odděluje separátor od předchozí pneudopravy. Průchod vzduchu v separátoru je nastavitelný dle velikosti částic a množství PES vláken. Pro zajištění větší výtěžnosti PVC z PES shluků je možné separátory sériově navyšovat a opakovat tento krok, kdy do separátoru bude opakovaně vstupovat pouze cupanina, ze které budou získávány další částice PVC.

Zatímco je cupanina pneudoprovou foukána do PE pytlů, případně do jiných zachytných nádob nebo přímo do navazující technologie, PVC drť propadáva cik-cak separátorem na vibrační síto. Odtud je dopravována do potrubí, kde je pneudoprovou přemístěna na rotační síto a přes detektor kovu spadá do připraveného obalu. Zachycené zbytky vláken z vibračního a rotačního síta jsou opět odváděny jako cupanina. [28]

Výsledkem je drť s obsahem PES vláken do 1 % a PES cupanina s obsahem 20-30 % těchto vláken. PES cupanina může být zachytávána i jako jednotlivé frakce, ale vzhledem k dalšímu zpracování to není účelné.

Délka PES vláken v cupanině je přibližně od 2 do 10 mm, takto dlouhá vlákna značně zhoršují požadované FMV a zároveň prakticky znemožňují dávkování tohoto materiálu do technologií a je tedy nutné je ještě více zkrátit. Aby mohlo dojít ke zkrácení vláken, je třeba PES vlákna zapracovat do PVC drti, která je v cupanině také obsažena.



Obrázek 15: Výsledná drť PVC po separaci PES vláken



Obrázek 16: PES cupanina vzniklá separací od PVC drti

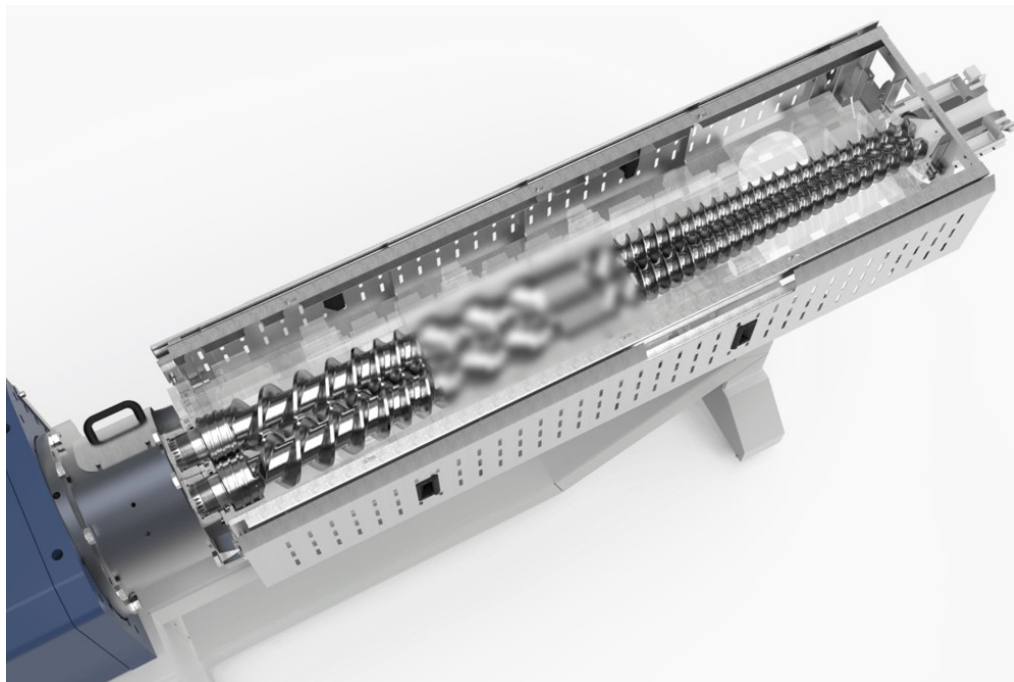
4.1.4 Zpracování směsí PVC a vláken

Vlákna PES cupaniny, stejně jako skelná vlákna z podlahovin, je třeba zpracovat do PVC materiálu, k čemuž je vhodné využít ko-rotací dvoušnek, případně pro zajištění vyššího a stabilnějšího tlaku na výtlačné hlavě, odstranění dalších kroků předúpravy jako je aglomerace, vyššího výkonu a stability celého procesu je možné využít kónický ko-rotací dvoušnek.

Před samotnou extruzí je nutné materiál dopravit do násypky. S ohledem na poměrně vysokou prašnost a potřebu zachování čistoty materiálu i prostředí je vhodné materiál dopravovat k extruzi uzavřeným systémem za využití pseudopravy. Další výhodou takového online systému výroby je eliminace slehnutí a následného mostování/klebování materiálu při dávkování.

Cupanina je pomocí pseudopravy přivedena do zásobníku, ve kterém je pomocí pomalu běžného míchadla promíchávána tak, aby nedocházelo ke slehnutí. Zde se vytváří předzásoba materiálu, aby bylo zaručeno kontinuální dávkování do šneku. Zásobník je opatřen hladinovým čidlem, informujícím o množství materiálu obsluhu a systém stroje. Ze zásobníku je materiál pomocí dvou spirál dopravován na pásový dopravník, který je uložen na tenzometrech a je schopen gravimetricky, rovnoměrně dávkovat materiál do násypky vytlačovacího stroje. Pásový dopravník je zároveň opatřen detektorem kovu, který upozorňuje obsluhu na případnou kontaminaci kovem a chrání tak extrudér před poškozením. Z dopravního pásu je materiál veden do kónického pýchovacího dvoušneku, odkud jde do vyhřáté komory vytlačovacího stroje.

Vytlačování a následná granulace probíhá optimálně na kónickém korotujícím dvoušnekovém extrudéru s podvodní granulací s možností řízení velikosti výsledných granulí. Výše uvedený systém extrudéru se začíná na trhu objevovat po roce 2007 a přináší mnoho výhod specifických právě pro kónické dvoušneky. Mezi hlavní výhody patří dobrá plastifikace a homogenizace, možnost plnění přes velké vstupní otvory, stabilní tlak taveniny a v neposlední řadě nižší spotřeba energie než při klasickém korotačním dvoušneku. Všechny výše uvedené výhody lze výhodně využít při zpracování směsí PVC s vlákny. Materiál je do vstupní komory dávkován v dostatečném množství díky velkému vstupnímu otvoru, a to i přes nízkou sypanou hmotnost, následně jsou vlákna velmi dobře zpracována do PVC matrice a pod konstantním tlakem dopravována na výtlačnou hlavu. [30], [31]



Obrázek 17: Kónický dvoušnekový extrudér [30]

Přeměna taveniny v granule probíhá pomocí podvodní granulace na tepelně izolované, děrované vytlačovací hlavě s průměrem otvorů přibližně 2 mm. Zde je podvodně materiál odřezáván pomocí rotující nožové hlavy a jednotlivé granule jsou chlazeny a zároveň dopravovány vodou do odstředivky. Voda je filtrována a znovu cirkulačně využita v systému. Vzniklé granule, které mají díky kónickému dvoušneku a podvodní granulaci zkrácená vlákna do délky, která umožňuje další zpracování, jsou odváděny a dosušovány pomocí systému vzduchotechniky [32]



Obrázek 18: Systém podvodní granulace (řezací hlava vlevo, vytlačovací hlava vpravo) [32]

Hotové, vysušené granule jsou sypány do přepravních obalů, skladovány a dále využívány ve výrobním procesu, případně expedovány k externímu zpracovateli.

4.2 Návrh uplatnění

Materiál, granulát, vyrobený výše uvedeným způsobem, má již poměrně krátká vlákna obsažená v PVC matrici a jejich koncentrace je méně než 30 % hmotnostního poměru, tudíž ho lze uplatnit do středních a spodních vrstev výrobků, z něž odpad vzešel.

Další možností je uplatnění při vstřikování různých silnostěnných výrobků, jako jsou různé typy dlaždic, poklopů apod. Lze jej použít také na lisování různých typů dlaždic a desek a také je možné uplatnit tento materiál při vytlačování jednoduchých profilů s tloušťkou stěny minimálně 2 mm. U všech výše uvedených aplikací lze zapracovaná vlákna uvažovat jako výztuhu, která zvyšuje celkovou tuhost výrobku.

4.3 Recyklace výrobků po skončení jejich životnosti

Celosvětová produkce plastů dosahuje průměrného ročního růstu téměř 4 % a související tlak na životní prostředí dosahuje kritického bodu. Míra recyklace plastového odpadu po skončení jeho životnosti není ani zdaleka dostačující z důvodu mnohých výzev, které sebou nese. Mezi hlavní výzvy patří třídění, kdy mnoho plastového odpadu stále končí v tom směsném, komunálním, další výzvou je vysoká míra znečištění a různorodost plastů, které vyžadují rozsáhlé procesy třídění a úprav. Třídění stále obnáší velké množství ručních prací, které jsou velmi nákladné a bude třeba do budoucna hledat cestu pro usnadnění tohoto nezbytného kroku recyklace. Pro usnadnění recyklace jakéhokoliv plastového odpadu po skončení životnosti a vlastně vůbec její možnosti, může zajistit zavedení systému databáze rodných listů výrobků a jednoznačné spárování s daným výrobkem – značení pomocí stanoveného kódu odkazujícího právě na tuto databázi. Zavedení systému by značně usnadňovalo třídění materiálu, kdy bychom od začátku věděli, s jakým materiálem, jakého složení pracujeme. Na základě kompletních dat bude možné materiál vhodně roztřídit a určit správný směr následné recyklace. Dalším úskalím je znečištění materiálu, u něž jsou již metody více zavedené a lze je odstraňovat praním, ať už mokrým, nebo suchým, případně aplikovat znečištěné materiály do výrobků, kde nám daná míra kontaminace nevádí. [33]

V případě možnosti samotné recyklace je třeba podívat se zvlášť na odpad vznikající z podlahových krytin a odpad vznikající ze střešních hydroizolačních fólií. U každého z těchto materiálu existují jiné vlivy okolního prostředí čili bude i zcela jiná výsledná čistota a kvalita tohoto odpadu.

Podlahové krytiny z PVC jsou velmi často lepené k podkladní vrstvě. Lepení však činí mechanickou recyklaci méně příznivou kvůli problematické demontáži a vysokému stupni kontaminace lepidlem a podkladních zbytků. Pokud je materiál takto kontaminován, je třeba nežádoucí části odstranit, případně využít tuto podlahovou krytinu jako zdroj tepelné energie, nebo aplikovat recyklát do výrobku u něž vysoká míra kontaminace negativně neovlivňuje kvalitu výsledného produktu.

Staré podlahové krytiny, které nebyly kontaminovány lepidly a podkladní vrstvou, získané z bytových domů, staré 30–40 let, byly zkoumány z hlediska důležitých vlastností PVC podlahy, kdy bylo cílem získat obecné informace o degračních procesech v PVC podlahách, které by mohly ovlivnit recyklační metody. Studie ověřovala především úbytky stabilizačních systémů a změkčovadel. Výsledkem této studie bylo, že materiál vzniklý z odpadních PVC podlahovin není nutné považovat za náhradu nízké kvality a je možné jej mechanicky recyklovat, stejně jako je možné tento odpad použít jako energetický zdroj se stejnou hodnotou jako nově vzniklá podlahovina. Mechanická recyklace je možná bez modernizace změkčovadla a stabilizátoru, je však nutné tento materiál zkontrolovat na typy použitých změkčovadel a stabilizátorů, aby se zabránilo jakýmkoliv antagonistickým účinkům s novou směsí, do níž bude recyklát přidáván. Lze tedy mechanické recyklační procesy uplatnit za dodržení určitých, zmíněných podmínek. [11]

Hydroizolační fólie jsou pro proces recyklace ještě značně složitější než podlahové krytiny. Fólie byly dlouhá léta aplikovány na střešních systémech a vystavovány každodennímu vlivu počasí a následně byly demontovány na samém konci své životnosti, kdy již materiál nevykazuje potřebné fyzikálně mechanické vlastnosti. Další velkou nevýhodou tohoto materiálu je jeho kontaminace, která mnohdy sahá hlouběji do struktury materiálu a není tudíž mechanicky odstranitelná. Všechny výše uvedené fakty řadí tento materiál mezi velmi obtížně recyklovatelné výroby a prakticky z něj dělá pouze potenciální zdroj tepelné energie, případně ho předurčuje pro skládkování. Vhodnou alternativou by mohlo být využití pomletých hydroizolačních fólií do betonového, respektive cementového kompozitu.

V posledních desetiletích byl proveden četný výzkum použití tzv. plastového agregátu (PAG) jako náhrady v betonových směsích, který prokázal jejich potenciálně příznivý vliv na vlastnosti betonu, jako jsou: tažnost, ohybová houževnatost, hustota a tepelný odpor. V jedné z mála výzkumných prací zkoumajících vliv PAG na trvanlivost betonu zjistili, že PVC významně snížil smrštění při sušení a pronikání chloridových iontů do betonu, což je

důležité pro eliminaci šíření trhlin v betonu a zvýšení strukturální trvanlivosti. V průzkumech bylo prokázáno, že lze použít PVC drcený odpad jako náhradu kameniva až v 30 %. Bylo zjištěno malé snížení pevnosti v tlaku i v tahu, ne však více než 8 %, je však třeba zajistit obdobnou velikost částic, jako u běžně používaného kameniva v dané betonové směsi. Zmiňované studie ukazují, že použití PVC jako druhotné suroviny pro výrobu betonových kompozit je vhodnou náhradou kameniva, což vytváří nový životní cyklus odpadu z polyvinylchloridu. Využitím tohoto materiálu pro civilní výstavbu, činí tyto stavby sociálně a environmentálně udržitelnějšími. [33] [34]

5 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Odpadní PVC materiál lze zpracovávat různými způsoby, z nich některé jsou popsány v kapitolách výše. Obtížnější je pak recyklace PVC s obsahem vláken, a to jak PES, tak skleněných. Tuto problematiku jsem řešil i jako člen vývojového týmu společnosti Fatra, a.s., která je významným producentem hydroizolačních a podlahových krytin obsahujících ve své struktuře vlákna, a tudíž bylo nutné řešit i recyklaci odpadů vznikajícího při výrobě těchto produktů.

Z ekonomického hlediska se stále jeví jako nejlepší využití mechanické recyklace, a to jak v případě čistého PVC, tak v případě, že obsahuje vlákna. Z tohoto důvodu a z osobní praktické zkušenosti se v popisu zabývám především mechanickou recyklací PVC s PES vlákny. Technologie popsaná v kapitole 4 byla ověřena při poloprovozních zkouškách, ze kterých pochází vzorky využití v praktické části bakalářské práce.

6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bakalářská práce je rozdělena do dvou hlavních částí, tou první je vypracování literární rešerše k tématu: Možnosti recyklace odpadního PVC s obsahem vláken. Ve druhé části, praktické, bylo připraveno množství PVC směsí s příměsí PVC recyklátů obsahujících různé množství a délky PES vláken.

U těchto směsí byly provedeny tyto zkoušky:

- Stanovení množství vláken
- Stanovení délky vláken
- Stanovení FMV
 - Napětí při přetržení
 - Protažení při přetržení
 - Tvrdost
 - Hustota

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 MATERIÁL A PŘÍPRAVA VZORKŮ

7.1 Použité materiály

Byly připraveny vzorky drtě získané drcením na nožových a talířových mlýnech s odloučením PES cupaniny pomocí ZIG-ZAG separátorů, označované K1 a vzorek právě této cupaniny a upravené cupaniny, pak převeden do podoby granulátu pomocí technologie popsané v odstavci 4.1.4. Jako referenční materiál byla připravena směs PVC.

7.1.1 Referenční směs

Zvolena směs používaná pro střední vrstvy střešních PVC fólií.

Tabulka 1: PVC směs pro zkoušky FMV

Materiál	Množství	Navážka pro 200 g dávku
	[%]	[g]
Suspenzní PVC K70	55	110,00
Stabilizátor Ca/Zn	1,5	3,00
Plnivo CaCO ₃	5,5	11,00
TiO ₂	1,75	3,50
Změkčovadlo	36	72,00
Barevná směs	0,25	0,50

7.1.2 Drť K1 a PES cupanina

Jsou to materiály vzniklé při recyklaci střešních heterogenních hydroizolačních PVC fólií. Během procesu popsaném 4.1.2 a 4.1.3 dochází k odloučení PVC drti s nízkým obsahem polyesterových vláken a PES cupaniny. Z této drti a cupanina byly odebrány vzorky pro laboratorní zkoušky. Vzorky byly dodány společností Fatra, a.s.

7.1.3 Regranulát z PES cupaniny

Vzorek regranulátu z PVC drti byl připraven laboratorní zkouškou na technologii popsané v bodě 4.1.4 a dodán společností Fatra, a.s.

7.1.4 Směsi pro srovnání FMV

Pro porovnání fyzikálně mechanických vlastností byly vytvořené směsi materiálů dle Tabulka 2: Směsi pro srovnání FMV

Tabulka 2: Směsi pro srovnání FMV

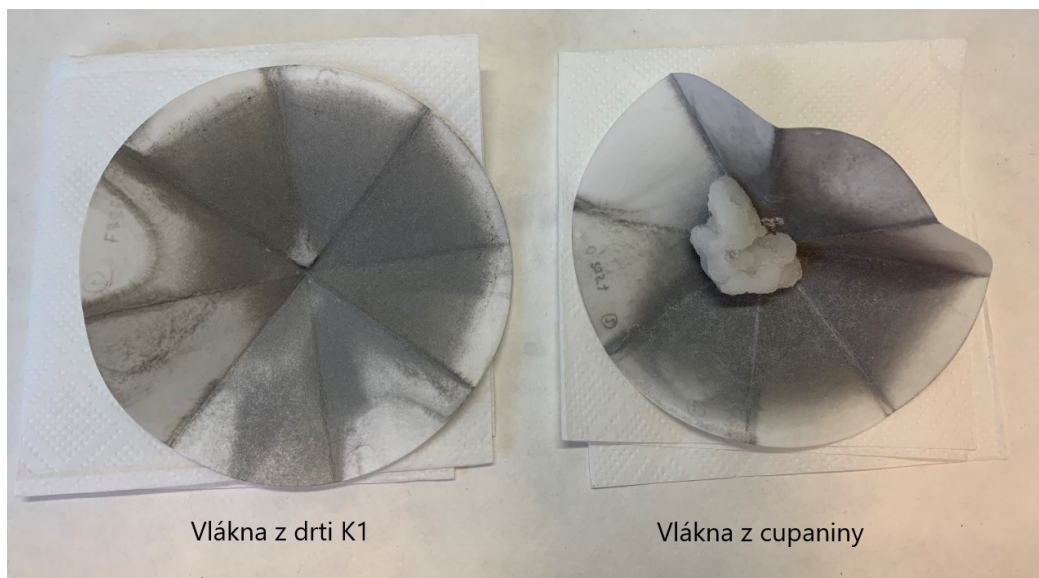
	1. složka	2. složka
1.	100 % PVC směs	
2.	95 % PVC směsi	5 % drti K1
3.	90 % PVC směsi	10 % drti K1
4.	75 % PVC směsi	25 % drti K1
5.	50 % PVC směsi	50 % drti K1
6.	95 % PVC směsi	5 % regranulátu z cupaniny
7.	90 % PVC směsi	10 % regranulátu z cupaniny
8.	75 % PVC směsi	25 % regranulátu z cupaniny
9.	50 % PVC směsi	50 % regranulátu z cupaniny
10.	95 % PVC směsi	5 % PES cupaniny
11.	90 % PVC směsi	10 % PES cupaniny
12.	75 % PVC směsi	25 % PES cupaniny
13.	50 % PVC směsi	50 % PES cupaniny

7.2 Stanovení množství vláken v drti a cupanině

Pro ověření celkového množství polyesterových vláken v drti K1 a v cupanině vzniklé ze střešní hydroizolační PVC fólie vyztužené polyesterovou mřížkou bylo provedeno následující měření.

7.2.1 Příprava vzorku

Připravené vzorky byly naváženy na analytických vahách OHAUS PX224M s váživostí 220 g do Erlenmeyerovy baňky s navázkou přibližně 2,5 g. Pomocí odměrného válce bylo odměřeno 75 ml rozpouštědla tetrahydrofuranu a tímto množstvím byly navážené vzorky zality. Baňky byly za stálého míchání pomocí elektromagnetické míchačky uloženy v digestoři a přiklopeny Petriho miskou. Vzorky byly po 12 hodinách přefiltrovány, za průběžného proplachování tetrahydrofuranem, přes předem zvážený kruhový filtr Ahlstrom Munksjö 84 g/m² průměru 110 mm. Filtrační papír se zachycenými PES vlákny a plnivem byl následně sušen v laboratorní sušárně při teplotě 80 °C po dobu 4 hodin. Následně byly filtrační papíry zváženy na analytických vahách, nejprve včetně vláken a následně i bez odejmutých vláken pro stanovení množství plniva.



Obrázek 19: Filtry s PES vlákny po přefiltrování rozpuštěného PVC

7.2.2 Naměřené hodnoty

Navážené hodnoty byly zaneseny do tabulky (Tabulka 3). Z navážených hodnot bylo vypočítáno množství polyesterových vláken jak v PES cupanině, tak v drti K1 dle rovnice 1

$$w_{vl} = \frac{(m_v - m_p)}{m_n} * 100 [\%] \quad (1)$$

Tabulka 3: Navážené a vypočtené hodnoty

	Gran. Cupaniny [g]	Drť K1 [g]
Navážka (m_n)	2,5586	2,5275
Filtr před filtrací (m_f)	0,8058	0,7887
Filtr po filtraci a vysušení (m_v)	1,4919	0,8473
Filtr s plnivem, bez vláken (m_p)	0,8675	0,8444
Vlákna	0,6244	0,0029
Plnivo	0,0617	0,0557
Mn. vláken v hm. %	24,40	0,11
Mn. plniva v hm. %	2,41	2,20

7.2.3 Výsledky

Z naměřených hodnot bylo vypočítáno množství PES vláken ve vzorku cupaniny a vzorku drti K1. V prvním zmiňovaném materiálu bylo zjištěno 24,4 hm.% a v druhém 0,11

hm. % polyesterových vláken. Získaná vlákna byla dále použita pro vyhodnocení jejich délek.

7.3 Stanovení délky vláken

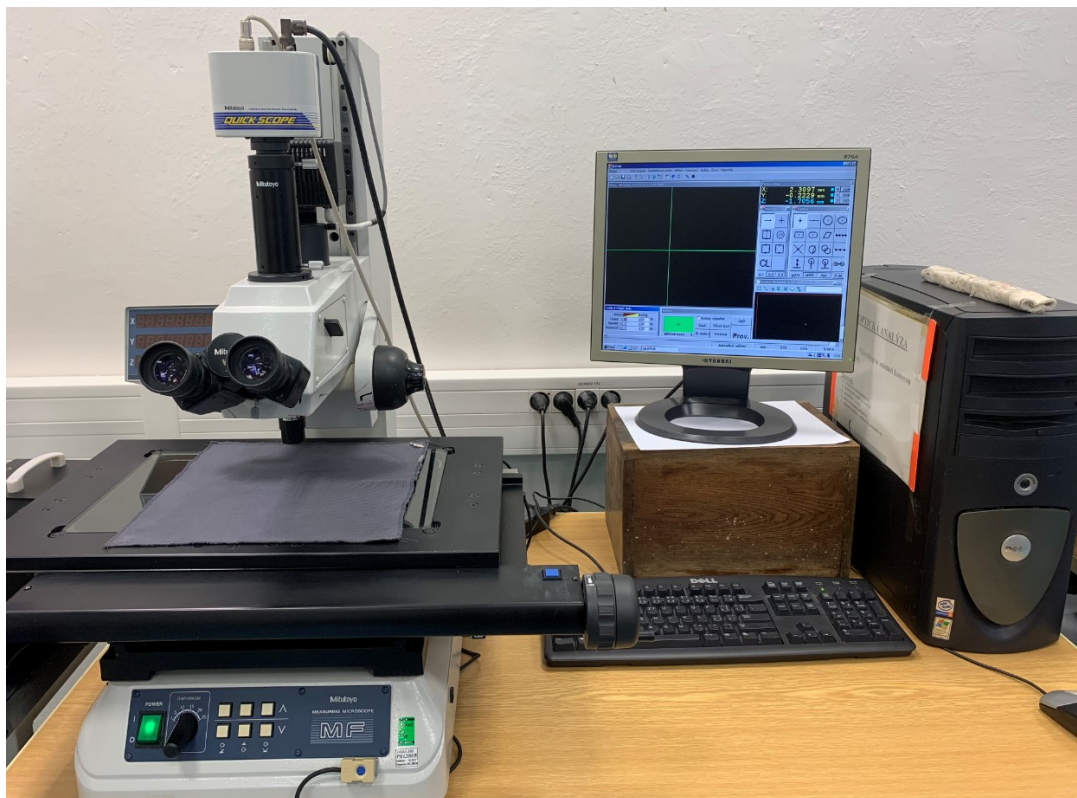
Z důvodu následné zpracovatelnosti recyklátu s vlákny na výrobních technologiích je třeba docílit co nejkratších vláken, ideálně délky kolem 1 mm. Byla ověřována délka vláken u granulátu z cupaniny a drti K1. Vzorčky těchto recyklátu byly rozpuštěny a u vyfiltrovaných a vysušených vláken byla změřena jejich délka.



Obrázek 20: Vzorek PES cupaniny odebraný na výstupu drtící linky

7.3.1 Příprava vzorků

Příprava vzorků vláken z granulátu cupaniny a drti K1 je popsána v kapitole 6.2.1., z takto připravených vzorků byla vlákna rozložena na čistou fólii. Stejně tak byla na fólii rozložena vlákna získaná z čisté cupaniny odebrané přímo z výrobního cyklu. Následně byly vzorky postupně vkládány do měřicího mikroskopu Mitutoyo MF se zvětšením 120x. Mikroskopem bylo zaměřeno vždy 5 dlouhých a 5 krátkých referenčních vláken. Z naměřených hodnot byl následně stanoven rozsah délky vláken v jednotlivých vzorcích.



Obrázek 21: Měřicí mikroskop Mitutoyo

7.3.2 Naměřené hodnoty

U připravených vzorků byly naměřeny minimální a maximální délky vláken. Naměřené hodnoty byly zaneseny do tabulky (Tabulka 4)

Tabulka 4: Naměřené minimální a maximální délky vláken

Číslo měření	Granulát cupaniny		Drť K1		Cupanina	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1.	0,25	1,15	0,62	2,55	0,91	3,43
2.	0,32	1,11	1,01	2,72	1,06	5,97
3.	0,29	1,20	0,78	2,68	1,12	5,49
4.	0,26	1,03	0,85	3,04	0,98	4,62
5.	0,31	1,12	0,94	2,83	1,21	5,03
Výsledek	0,25	1,20	0,62	3,04	0,91	5,97

7.3.3 Výsledky

Výsledky naměřených hodnot jsou v Tabulka 4: Naměřené minimální a maximální délky vláken. Z měření vyplývá, že nejkratší vlákna se vyskytují v granulátu z cupaniny, naopak nejdelší jsou pak v samotné cupanině. Délka polyesterových vláken bude mít dále značný vliv na FMV a samotné dávkování a zpracování materiálu.



Obrázek 22: Vlákna PES z granulátu cupaniny (zvětšení 120x)

7.4 Stanovení fyzikálně mechanických vlastností

Stanovení tažnosti, pevnosti, tvrdosti a hustoty u připravených vzorků a jejich srovnání s čistou referenční PVC směsí.

7.4.1 Příprava vzorků

Na začátku byly naváženy suroviny a připraveny PVC směsi dle receptury uvedené v tabulce (Tabulka 1). Do směsí promíchaných do podoby aglomerátu byly doplněny příměsi drti K1, regranulátu cupaniny a samotné cupaniny dle tabulky v odstavci 6.1.4. (dle Tabulka 2: Směsi pro srovnání FMV

Tabulka 2). Navážení materiálů probíhalo na vahách KERN EG 2200 - 2NM. Veškeré směsi byly řádně promíchány a následně zpracovány na laboratorním dvouválcí Rodolfo Comerio. Teplota válců při zpracování byla nastavena na 170 °C, rychlost 20 m/min, frikce 40 % a čas rozpracování materiálu byl 10 min. Výsledkem byla PVC fólie o přibližné tloušťce 0,5 mm, kontrolované pomocí tloušťkoměru Käffer 4 N.

Z fólie připravené výše uvedeným způsobem byly pomocí hydraulického vysekávacího stroje připraveny vzorky na jednotlivé zkoušky – tělesa ve tvaru oboustranné

lopatky, vyseknuté v podélném i příčném směru tažení fólie a kolečka pro stanovení tvrdosti a hustoty.

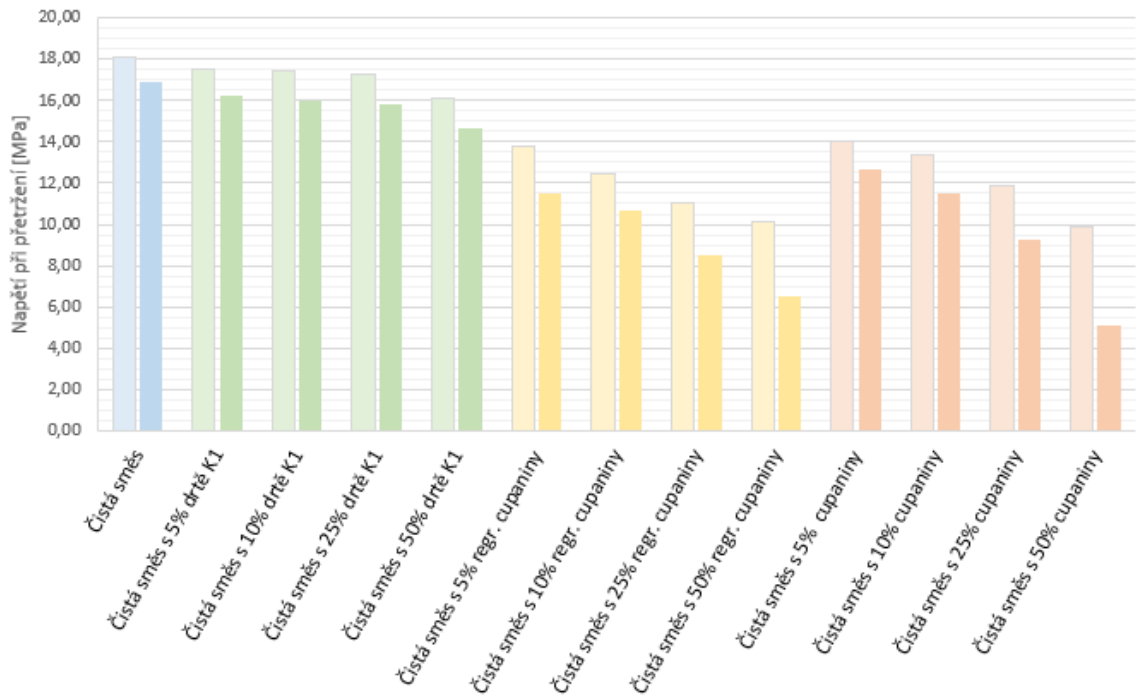
7.4.2 Stanovení pevnost v tahu a protažení

Zkouška pevnosti v tahu probíhala na vysekaných vzorcích do tvaru oboustranné lopatky. Od každého materiálu bylo připraveno 6 lopatek vyseknutých v podélném směru tažení fólie a 6 v příčném směru. Vzorky byly následně zkoušeny na trhacím stroji Instron 4301 a veškerá data vyhodnocena pomocí příslušného programu. Postup měření byl dle normy ČSN EN ISO 527 – 3. Počáteční vzdálenost čelistí nastavena na 80 mm a rychlost trhání na 500 mm/min. Vzorky byly zkoušeny do momentu přetržení.

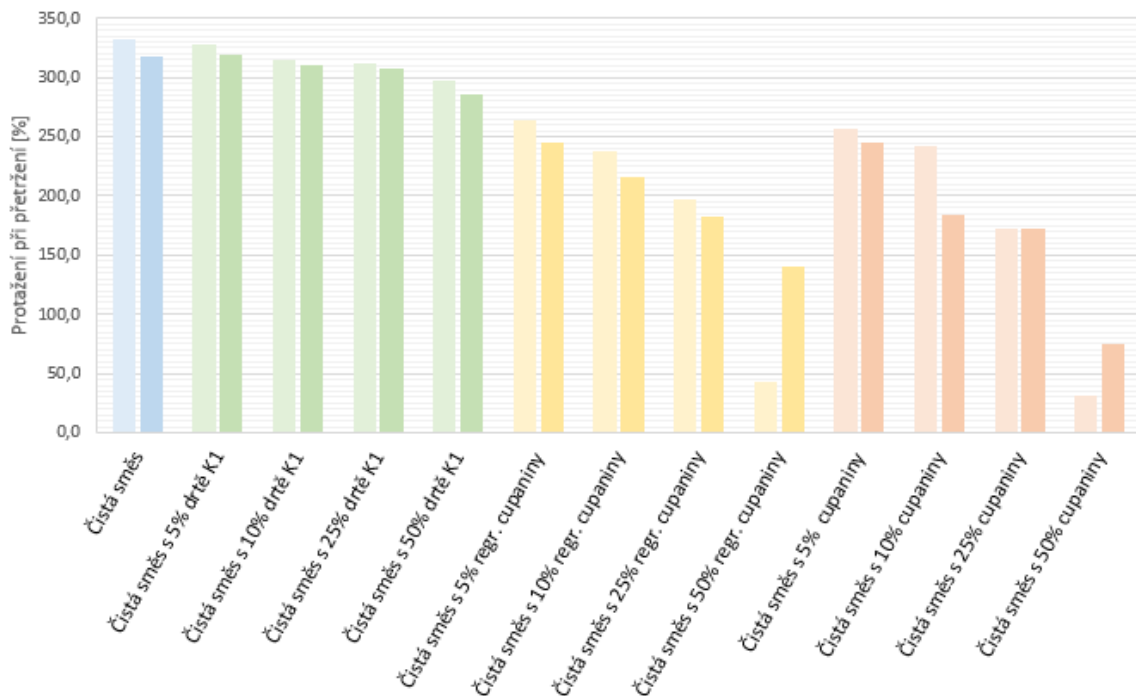
V tabulce (Tabulka 5) jsou uvedené průměrné hodnoty pro jednotlivé vzorky, tyto hodnoty jsou pak vyneseny pro větší přehlednost do grafu (Obrázek 23). Kompletní naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce v přílohách (Příloha P I)

Tabulka 5: Průměrné hodnoty napětí a protažení při přetržení

	Napětí při přetržení (podél) [MPa]	Protažení při přetržení (podél) [%]	Napětí při přetržení (napříč) [MPa]	Protažení při přetržení (napříč) [%]
Čistá směs	18,09	332,0	16,86	317,2
Čistá směs s 5 % drtě K1	17,49	328,0	16,18	319,1
Čistá směs s 10 % drtě K1	17,39	314,7	15,98	310,1
Čistá směs s 25 % drtě K1	17,28	311,7	15,79	307,5
Čistá směs s 50 % drtě K1	16,07	297,5	14,66	286,2
Čistá směs s 5 % regr. cupaniny	13,76	263,8	11,51	245,5
Čistá směs s 10 % regr. cupaniny	12,46	238,3	10,70	216,1
Čistá směs s 25 % regr. cupaniny	11,00	196,6	8,548	183,0
Čistá směs s 50 % regr. cupaniny	10,14	43,46	6,559	140,1
Čistá směs s 5 % cupaniny	14,02	256,6	12,69	245,0
Čistá směs s 10 % cupaniny	13,36	241,6	11,47	183,9
Čistá směs s 25 % cupaniny	11,86	172,3	9,232	172,3
Čistá směs s 50 % cupaniny	9,876	31,14	5,077	75,26



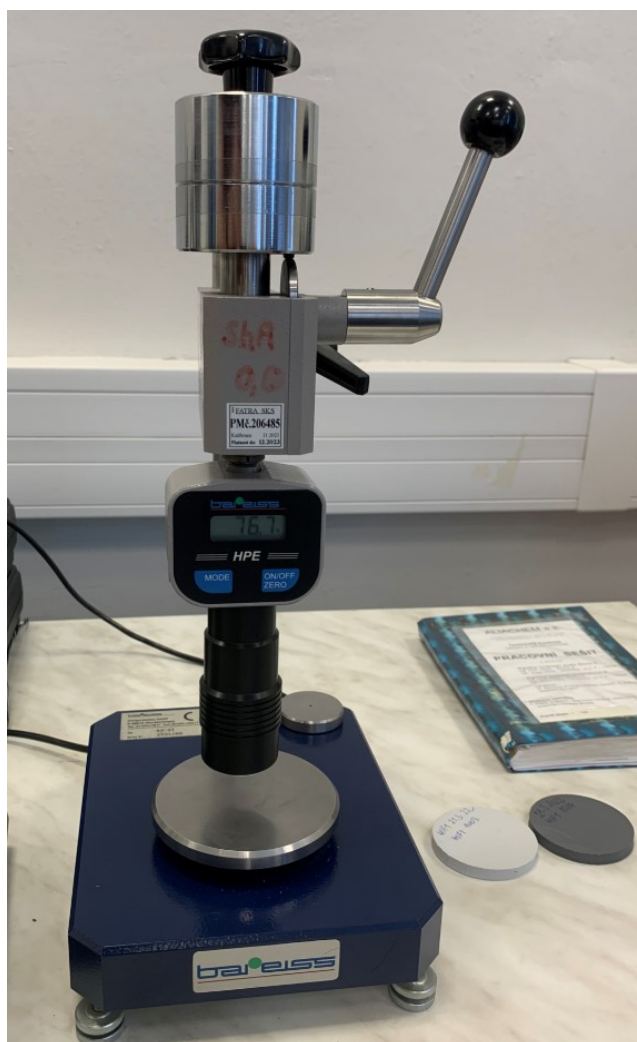
Obrázek 23: Grafické srovnání napětí při přetržení (světlé sloupce udávají podélné hodnoty a tmavé příčné)



Obrázek 24: Grafické srovnání protažení při přetržení (světlé sloupce udávají podélné hodnoty a tmavé příčné)

7.4.3 Stanovení tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla provedena na předem vylisovaných vzorcích na hydraulickém lisu Dr. Collin 400P. Pro lisování byly použity zbytky fólie po přípravě tělísek pro tahové zkoušky a tyto zbytky byly vylisovány na formě kruhového profilu o průměru 60 mm a výsledné tloušťce 6 mm. Samotné měření tvrdosti probíhalo za laboratorních podmínek při teplotě 23,0 °C na digitálním tvrdoměru Nareiss BS 61 - Shore A. Z tvrdoměru byla odečtena okamžitá hodnota tvrdost. Pro každý vzorek bylo měření pakováno 10x vždy na různých místech vzorku.

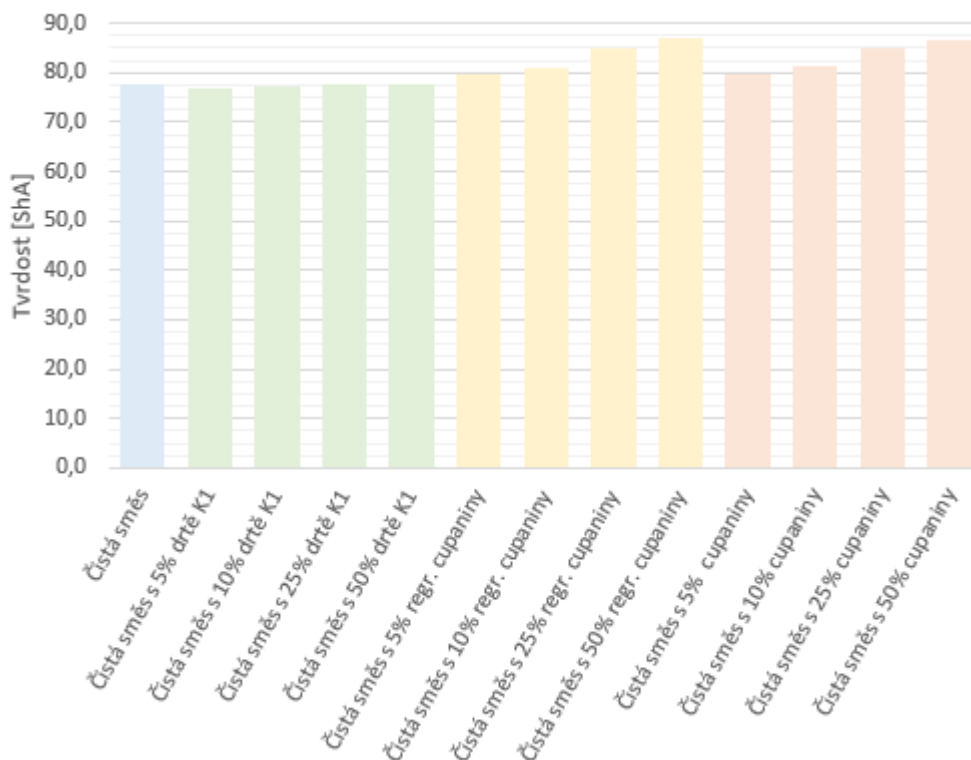


Obrázek 25: Digitální tvrdoměr Shore A

Průměrné naměřené hodnoty pro každý vzorek jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 6) a pro větší přehlednost také zaneseny do grafu. Kompletní hodnoty měření jsou uvedeny v příloze (PŘÍLOHA PII).

Tabulka 6: Průměrné hodnoty tvrdosti

Materiál	Tvrđost [ShA]
Čistá směs	77,7
Čistá směs s 5 % drtě K1	76,9
Čistá směs s 10 % drtě K1	77,1
Čistá směs s 25 % drtě K1	77,6
Čistá směs s 50 % drtě K1	77,7
Čistá směs s 5 % regr. cupaniny	79,9
Čistá směs s 10 % regr. cupaniny	81,0
Čistá směs s 25 % regr. cupaniny	85,1
Čistá směs s 50 % regr. cupaniny	87,2
Čistá směs s 5 % cupaniny	79,6
Čistá směs s 10 % cupaniny	81,2
Čistá směs s 25 % cupaniny	85,0
Čistá směs s 50 % cupaniny	86,6



Obrázek 26: Grafické znázornění průměrných tvrdostí

7.4.4 Stanovení hustoty

Stanovení hustoty probíhalo na vzorcích vyseknutých mechanickým vysekávacím strojem z vylisovaných vzorků pro stanovení tvrdosti. Postup stanovení hustoty byl proveden dle normy ČSN EN ISO 1183-1 metoda A. Teplota imerzní kapaliny (destilované vody) byla před měřením 23,5 °C, tabulková hustota destilované vody při této teplotě je

0,99744 g/cm³. Měření probíhalo za ustálených laboratorních podmínek na analytických vahách Sartorius BP 210 S.



Obrázek 27: Váhy pro stanovení hustoty nelehčených plastů

Pro každou směs byly připraveny 3 vzorky a výsledkem jsou zdánlivá hmotnost zkušební vzorku na vzduchu a zdánlivá hmotnost zkušebních vzorků v imerzní kapalině. Z těchto hodnot byla vypočtena hustota, pro každý vzorek, na základě rovnice 2. Průměrné hodnoty hustoty pro každou směs jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 1 Tabulka 7) a graficky znázorněné (Obrázek 28).

$$\rho_s = \frac{m_{S,A} \cdot \rho_{IL}}{m_{S,A} - m_{S,L}} \quad (2)$$

kde:

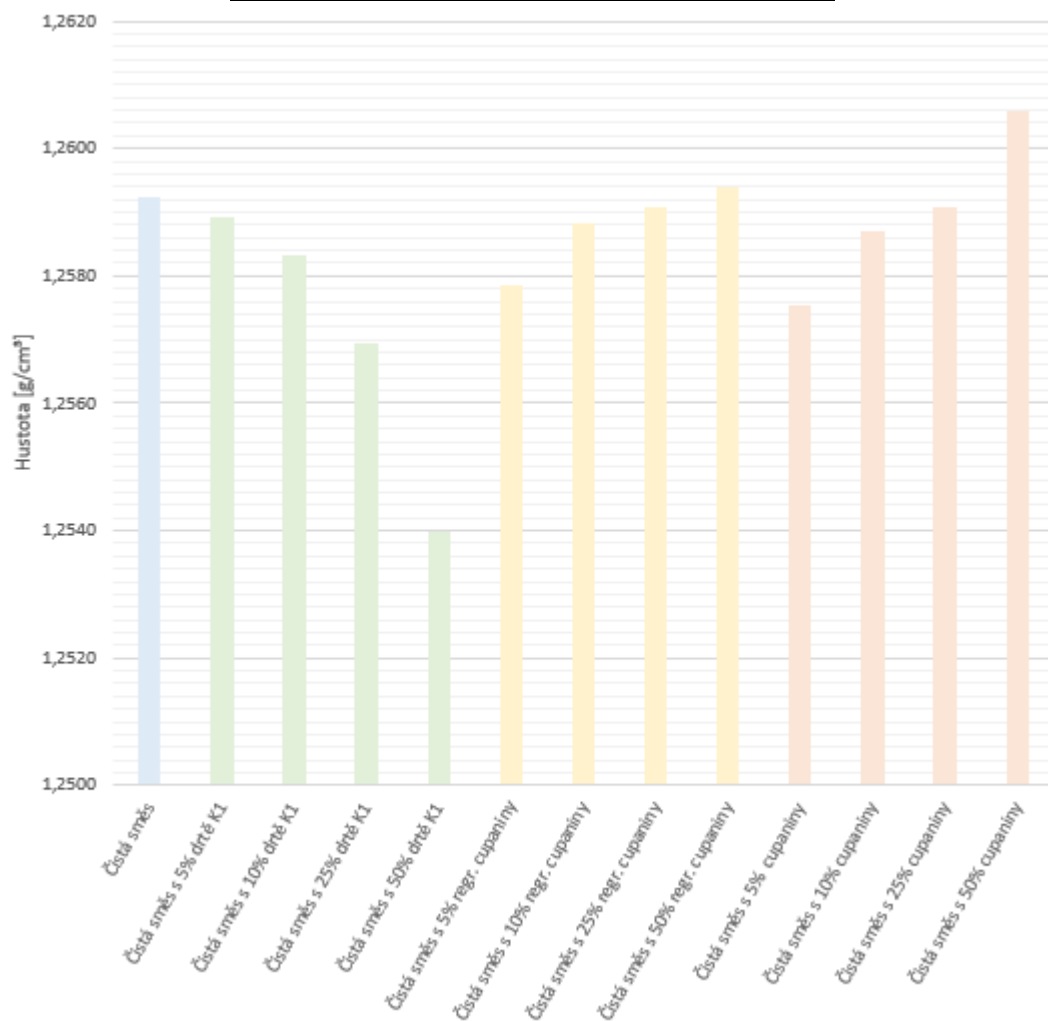
$m_{S,A}$ – zdánlivá hmotnost zkušební vzorku na vzduchu, v g

$m_{S,IL}$ – zdánlivá hmotnost zkušební vzorku v imerzní kapalině, v g

ρ_{IL} – hustota imerzní kapaliny, v g/cm³

Tabulka 7: Průměrná hustota směsí

	Průměrná hustota směsi
Materiál	[g/cm ³]
Čistá směs	1,2592
Čistá směs s 5 % drtě K1	1,2589
Čistá směs s 10 % drtě K1	1,2583
Čistá směs s 25 % drtě K1	1,2570
Čistá směs s 50 % drtě K1	1,2540
Čistá směs s 5 % regr. cupaniny	1,2578
Čistá směs s 10 % regr. cupaniny	1,2588
Čistá směs s 25 % regr. cupaniny	1,2591
Čistá směs s 50 % regr. cupaniny	1,2594
Čistá směs s 5 % cupaniny	1,2575
Čistá směs s 10 % cupaniny	1,2587
Čistá směs s 25 % cupaniny	1,2591
Čistá směs s 50 % cupaniny	1,2606



Obrázek 28: Grafické znázornění průměrných hodnot hustoty směsí

7.4.5 Výsledky FMV

Výsledky fyzikálně mechanických vlastností jsou přehledně uvedeny v tabulkách a grafech v odstavcích 6.4.2 až 6.4.4. Nejvyšší hodnoty napětí při přetržení bylo dosaženo u čisté PVC směsi, velmi dobrých hodnot také dosahovala čistá směs s příměsí drtě K1, obdobně pak vyšly i hodnoty u protažení. U cupaniny a granulátu cupaniny má protažení i napětí klesající hodnotu s množstvím příměsí. Lze se domnívat, že přítomnost PES vláken narušuje pevnost směsi. Toto narušení pevnosti je zřejmě způsobeno špatnou kompatibilitou PES vláken, a to především z důvodu jejich malé délky, kdy vlákno slouží více jako vměstek než jako pojivo.

Tvrdość materiálu má stoupající hodnotu s množstvím přidaných příměsí. Je možné se domnívat, že nárůst tvrdosti způsobuje přítomnost PES vláken s vyšší tvrdostí, než má referenční PVC směs. Obdobně jako tvrdost stoupá i hodnota hustoty s množstvím přidaného recyklátu. Lze se domnívat, že tento růst je opět způsoben přítomností PES vláken s vyšší hustotou, než má referenční PVC směs. Hustota naopak oproti čisté směsi klesá s příměsí drtě K1, v níž je nižší procentuální zastoupení plniva než ve zvolené referenční čisté směsi.

ZÁVĚR

V první, teoretické, části bakalářské práce byly formou rešerše představeny obecné možnosti recyklace a recyklačních metod. Dále bylo obecně popsáno PVC, jeho výroba, a především jeho využití.

V další kapitole teoretické části je popsána výroba vícevrstevných PVC fólií, které jakožto prvek rozměrové stability obsahují v jedné, nebo více vrstvách vlákna, a to jak PES v podobě mřížek a netkaných textilií, tak vlákna skleněná v podobě skelného rouna. Hlavními zástupci těchto vícevrstevných fólií jsou střešní hydroizolační fólie vyztužené PES mřížkou, případně skelným rounem a podlahové krytiny se zalaminovaným skelným rounem.

Navazující kapitola pak popisuje právě recyklaci těchto fólií. Zde jsou popsány jednotlivé kroky recyklace, vedoucí především ke zkrácení délky vláken, případně separaci těchto vláken a jejich zapracování do PVC matrice. Aby bylo možné vzniklý odpad recyklovat, je třeba jej na začátku vhodně vytřídit a zaevidovat. Následně projdou fólie fází předdrcení, kde dochází k prvotnímu zmenšení velikosti vláken. V případě fólií s obsahem PES vláken dochází k první separaci vláken a takto předdrcený materiál putuje do druhého nožového mlýna kde je drcen na jemnější frakci. Takto upravená podlahová krytina, obsahující skelné rouno, již může putovat přes detektory kovu do vaků, případně do regenerační linky. Drť z hydroizolačních fólií putuje přes cik-cak separátor dále do talířového mlýnu, kde dochází pomocí dvou proti sobě orientovaných mlecích kotoučů k otevření struktury vícevrstevné fólie. Drť s cupaninou je pomocí pseudopravy vedena do cik-cak separátorů, kde dochází k postupnému oddělení PVC drti (drť K1) od PES cupaniny. Drť je následně ukládána do vaků a PES cupaniny putuje opět pomocí pseudopravy do vytlačovací dvoušnekové linky. Při extruzi dochází k zapracování vláken do zbytkové PVC drti, které je v cupanině až 75 hm. % a dalšímu zkrácení vláken pomocí podvodní granulace. Vysušený granulát je pak již připraven pro další využití.

Teoretická část bakalářské práce byla zaměřena na ověření vlastností recyklátu vzniklého výše uvedeným postupem. Bylo zjišťováno množství vláken v cupanině a v drti K1 a délky vláken v drti K1, cupanině a granulátu z cupaniny. Ve zmiňované drti je pouze 0,11 hm. % PES vláken, naopak v cupanině je téměř 25 hm. % těchto vláken. Délka vláken je nejkratší u granulátu z cupaniny, a naopak nejdelší je u samotné cupaniny. To způsobuje, že cupanina jako taková není prakticky dávkovatelná do výrobní technologie. Dále byly

sledovány fyzikálně mechanické vlastnosti PVC směsi s příměsí drtě K1, cupaniny a granulátu z cupaniny vždy v poměru 5, 10, 25 a 50 hm. % a byly srovnávány vlivy těchto příměsí s čistou PVC směsí. Bylo zjištěno, že s rostoucí příměsí cupaniny a granulátu cupaniny dochází ke zhoršení hodnot pevností i protažení. Také dochází ke zvýšení tvrdosti a hustoty materiálů.

Z naměřených výsledků vyplývá, že je možné vniklou drť K1 přidávat zpět do středních vrstev výrobku z něhož pochází, a to až v 50 hm. %. Také lze použít granulát cupaniny do středních vrstev, ale maximálně do 10 hm. %. Při vyšších množstvích by již docházelo k výraznému zhoršení výsledných vlastností výrobku.

Vyrobený regranulát z cupaniny lze také zpracovávat technologií lisování, případně vstřikování, a to i bez dalších příměsí. V praxi bylo ověřeno lisování pochozích dlaždic a poklopů od vodovodních šachet a vstřikování technických dlaždic.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Waste recycling in Europe. *European Environment Agency* [online]. Copenhagen, 2021, 03 Aug 2021 [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/waste-recycling-2/assessment>
- [2] FUCHS Richard a BROWN Calum. Europe's Green Deal offshores environmental damage to other nations. *Nature* [online]. 2020, 26 October 2020, (586), 671-673 [cit. 2021-11-24]. ISSN 1476-4687. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-02991-1>
- [3] KUMAR, Parul. Reduce, Reuse, Recycle: Plastic and Packaging Waste in the European Green Deal and Circular Economy Action Plan. *IASS Discussion Paper* [online]. Postdam, 2020, April 2020, , 3-5 [cit. 2021-11-24]. Dostupné z: doi:10.2312/iass.2020.014
- [4] SHEN Li a WORRELL E. Plastic Recycling. *Handbook of Recycling* [online]. Elsevier, 2014, s. 179-190 [cit. 2021-8-26]. ISBN 9780123964595. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-396459-5.00013-1
- [5] NACHTIGAL Milan. Možnosti recyklace PVC: Je mezi plasty výjimkou? *www.odpady-online.cz* [online]. Neratovice [cit. 2021-10-26]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/moznosti-recyklace-pvc-ii/>
- [6] SEIKE T., ISOBE T., HARADA Y., KIM Y. a SHIMURA M. Analysis of the efficacy and feasibility of recycling PVC sashes in Japan. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2018, (131), 41-53 [cit. 2021-11-05]. ISSN 09213449. Dostupné z: doi:10.1016/j.resconrec.2017.12.003
- [7] PRESTES S. M., MANCINI S. D., RODOLFO A. a KEIROGLO R. C. Construction and demolition waste as a source of PVC for recycling. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* [online]. 2012, **30**(2), 115-121 [cit. 2021-11-05]. ISSN 0734-242X. Dostupné z: doi:10.1177/0734242X11413329
- [8] JANAJREH I., ALSHRAH M. a ZAMZAM S.. Mechanical recycling of PVC plastic waste streams from cable industry: A case study. *Sustainable Cities and Society* [online]. Abu Dhabi, 2015, **2015**(18), 13-20 [cit. 2021-10-22]. ISSN 22106707. Dostupné z: doi:10.1016/j.scs.2015.05.003
- [9] JAKSLAND C., RASMUSSEN E. a ROHDE T.. A new technology for treatment of PVC waste. *Waste Management* [online]. Brøndby, 2000, **20**(5-6), 463-467 [cit. 2021-10-22]. ISSN 0956053X. Dostupné z: doi:10.1016/S0956-053X(00)00012-X

- [10] BUHL R., Progress in PVC feedstock recycling. *Polimery* [online]. 2003, **48**(04), 263-267 [cit. 2021-11-05]. ISSN 00322725. Dostupné z: doi:10.14314/polimery.2003.263
- [11] YARAHMADI Nazdaneh, JAKUBOWICZ Ignacy a MARTINSSON Lars. PVC floorings as post-consumer products for mechanical recycling and energy recovery. *Polymer Degradation and Stability* [online]. 2003, **79**(3), 439-448 [cit. 2021-10-21]. ISSN 01413910. Dostupné z: doi:10.1016/S0141-3910(02)00360-9
- [12] RECYCLATION OF PLASTIC WASTES FROM PRODUCTION OF PVC ROOFING SHEETS. *www.mnet.mendelu.cz* [online]. Napajedla, 2009 [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: https://mnet.mendelu.cz/mendelnet09agro/files/articles/tech_spacek.pdf
- [13] SEMON Waldo L. a STAHL Allan G. History of Vinyl Chloride Polymers. *Journal of Macromolecular Science: Part A - Chemistry* [online]. 2006, **15**(6), 1263-1278 [cit. 2021-8-2]. ISSN 0022-233X. Dostupné z: doi:10.1080/00222338108066464
- [14] BRAUN Dietrich. PVC origin, growth, and future. *Journal of Vinyl and Additive Technology* [online]. 2001, **7**(4), 168-176 [cit. 2021-8-2]. ISSN 1083-5601. Dostupné z: doi:10.1002/vnl.10288
- [15] SAEKI Y. a EMURA T. Technical progresses for PVC production. *Progress in Polymer Science* [online]. 2002, **27**(10), 2055-2131 [cit. 2021-8-3]. ISSN 00796700. Dostupné z: doi:10.1016/S0079-6700(02)00039-4
- [16] The polymerisation process. *The European Council of Vinyl Manufacturers* [online]. 2021 [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://pvc.org/about-pvc/polymerisation-process/>
- [17] MASÁŘÍK Ivo. *PLASTY A JEJICH POŽÁRNÍ NEBEZPEČÍ*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2003. ISBN 80-86634-16-7.
- [18] Plastové profily. *www.fatra.cz* [online]. Napajedla, 2021 [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://www.fatra.cz/produkty/plastove-profily/>
- [19] POPIS TECHNOLOGIE EXTRUZE. *www.fatra-extruze.cz* [online]. Napajedla, 2021 [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://www.fatra-extruze.cz/vyroba/extruze-technologie/>
- [20] LENFELD Petr. Technologie II: Tváření kovů a zpracování plastů. *Technická univerzita Liberec* [online]. Liberec [cit. 2021-8-9]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm

- [21] MAŇAS Miroslav, STANĚK Michal a MAŇAS David. *Výrobní stroje a zařízení I: Stroje gumárenské a plastikářské I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-596-1.
- [22] FOLEY J., KOONTZ D. a VALAITIS K. Aging and Hail Research of PVC Membranes. *Citeseer* [online]. , 25 [cit. 2021-8-20]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.551.6337&rep=rep1&type=pdf>
- [23] Katalog hydroizolačních fólií. *Fatrafol* [online]. Napajedla, Fatra, 2021 [cit. 2021-8-24]. Dostupné z: https://www.fatrafol.cz/wp-content/uploads/2021/07/katalog_HIF_2021_web-1.pdf
- [24] PVC Tex-Acoustic. *www.vinylfloor.cz* [online]. Hostivice, 2021 [cit. 2021-10-21]. Dostupné z: <https://www.vinylfloor.cz/vinyl-metrazove-pvc/pvc-tex-acoustic-1801-zatezovy-vinyl-s-filcovym-podkladem.html>
- [25] Katalog LVT 2018/2020. *Fatrafloor* [online]. Napajedla, Fatra, 2018 [cit. 2021-8-25]. Dostupné z: https://www.fatrafloor.cz/wp-content/uploads/2018/04/Fatra_katalog_LVT_web.pdf
- [26] KRULIŠ Zdeněk. Recyklace plastového odpadu: Technologické možnosti a realita. *www.vesmir.cz* [online]. VESMÍR, 2019, 9. 12. 2019 [cit. 2021-9-9]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2019/cislo-12/recyklace-plastoveho-odpadu.html>
- [27] PERFECTION IN GRANULATORS: Rotoplex® Ro product line. *www.hosokawa-alpine.com* [online]. Augsburg, 2016, 2016 [cit. 2021-9-9]. Dostupné z: https://www.hosokawa-alpine.com/fileadmin/user_upload/content/Mechanische_Verfahrenstechnik/Maschinen/Schneidmuehlen_und_Shredder/Ro_-_Rotoplex/0142-EN_2016-10_-_Rotoplex.pdf
- [28] Nožový mlýn – drtič plastů a jak vybrat vhodný stroj? *www.1plastcompany.cz* [online]. [cit. 2021-9-24]. Dostupné z: <https://1plastcompany.cz/Nozovy-mlyn-drtic-plastu>
- [29] Zig Zag air separator. *www.prmwastesystems.com* [online]. [cit. 2021-9-24]. Dostupné z: <https://www.prmwastesystems.com/wp-content/uploads/JOEST-Zig-Zag-Separator.pdf>
- [30] MAS Austria: Your benefit with a MAS extrusion line. *MAS Austria* [online]. Pucking: MAS Austria, 2021, 2021 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.mas-austria.com/en/your-benefit-with-mas/with-a-mas-extrusion-line>

- [31] PRESS RELEASE from MAS–Maschinen- und Anlagenbau Schulz GmbH: Efficiency in a class of its own - the MAS Recycling Compounder. *NCA Europe* [online]. Pucking: MAS Austria [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <http://www.nca-europe.com/medias/press-release-mas-recycling-and-compounding-e266211.pdf>
- [32] Underwater Pelletizing EUP: UNDERWATER PELLETIZING EUP, PROCESS WATER AND DRYING SYSTEM EWT. *ECON* [online]. Weisskirchen: ECON, 2021 [cit. 2021-11-30]. Dostupné z: <https://www.econ.eu/eup.html>
- [33] JACOB-VAILLANCOURT Colin a SORELLI Luca. Characterization of concrete composites with recycled plastic aggregates from postconsumer material streams. *Construction and Building Materials* [online]. 2018, **182**, 561-572 [cit. 2021-12-06]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.06.083
- [34] MARQUES Diego Valdevino, CREMONA PARMA Gabriel Oscar, VALEZAN Igor Fagundes, et al. Cemental composites with polyurethane and recycled polyvinyl chloride: The influence of industrial waste addition on flammability. *Polymer Composites* [online]. 2021, **42**(8), 3799-3811 [cit. 2021-12-07]. ISSN 0272-8397. Dostupné z: doi:10.1002/pc.26094

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
FMV	Fyzikálně mechanické vlastnosti
HIF	Hydroizolační fólie
PES	Polyester
PK	Podlahové krytiny
PVC	Polyvinylchlorid
PVC-P	Měkčené PVC
PVC-U	Tvrdé PVC
UV	Ultra violet
VCM	Vinylchlorid monomer

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Míra recyklace v Evropě podle toku odpadu [1].....	11
Obrázek 2: Klíčové typy plastů používané v EU v roce 2011 [4]	13
Obrázek 3: Schématické znázornění průběhu mechanické recyklace – zmenšení velikosti částic a otevření struktury [12]	16
Obrázek 4: Polymer vinylchloridu [16].....	17
Obrázek 5: Profily z PVC [18]	19
Obrázek 6: Zjednodušené schéma vytlačovací linky [19]	21
Obrázek 7: Schéma válcovací linky [21].....	22
Obrázek 8: Střešní HIF s PES mřížkou [23].....	24
Obrázek 9: Střešní HIF se skelným rounem [23]	25
Obrázek 10: Střešní HIF s PES filcem [23].....	25
Obrázek 11: Nákres vyrovnání podkladních nerovností [24].....	26
Obrázek 12: Skladba podlahoviny se skelným rounem [25]	27
Obrázek 13: Schéma nožového mlýna Alpine Hosokawa [27]	29
Obrázek 14: Schéma cik-cak separátoru [29]	30
Obrázek 15: Výsledná drť PVC po separaci PES vláken	32
Obrázek 16: PES cupanina vzniklá separací od PVC drti	32
Obrázek 17: Kónický dvoušnekový extrudér [30].....	34
Obrázek 18: Systém podvodní granulace (řezací hlava vlevo, vytlačovací hlava vpravo) [32]	34
Obrázek 19: Filtry s PES vlákny po přefiltrování rozpuštěného PVC	43
Obrázek 20: Vzorek PES cupaniny odebraný na výstupu drtící linky	44
Obrázek 21: Měřicí mikroskop Mitutoyo	45
Obrázek 22: Vlákná PES z granulátu cupaniny (zvětšení 120x).....	46
Obrázek 23: Grafické srovnání napětí při přetržení.....	48
Obrázek 24: Grafické srovnání protažení při přetržení	48
Obrázek 25: Digitální tvrdoměr Shore A.....	49
Obrázek 26: Grafické znázornění průměrných tvrdostí.....	50
Obrázek 27: Váhy pro stanovení hustoty nelehčených plastů	51
Obrázek 28: Grafické znázornění průměrných hodnot hustoty směsí	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: PVC směs pro zkoušky FMV	41
Tabulka 2: Směsi pro srovnání FMV	42
Tabulka 3: Navážené a vypočtené hodnoty	43
Tabulka 4: Naměřené minimální a maximální délky vláken	45
Tabulka 5: Průměrné hodnoty napětí a protažení při přetržení	47
Tabulka 6: Průměrné hodnoty tvrdosti	50
Tabulka 7: Průměrná hustota směsí	52

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Naměřené hodnoty napětí a protažení při přetržení

Příloha P II: Naměřené hodnoty tvrdostí

PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÉ HODNOTY NAPĚTÍ A PROTAŽENÍ PŘI PŘETRŽENÍ

Materiál	Směr tažení	Měření	1.	2.	3.	4.	5.	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	Medián
Čistá směs	Podél	Pevnost [Mpa]	17,63	17,84	17,47	18,37	19,12	18,09	0,60	17,84
		Tažnost [%]	336,8	335,9	322,9	329,1	335,5	332,0	5,3	335,5
	Napříč	Pevnost [Mpa]	16,72	16,70	16,91	17,03	16,96	16,86	0,13	16,91
		Tažnost [%]	307,6	323,2	325,8	318,1	311,1	317,2	6,9	318,1
Čistá směs s 5 % drtě K1	Podél	Pevnost [Mpa]	16,80	17,55	17,54	17,75	17,80	17,49	0,36	17,55
		Tažnost [%]	315,0	319,4	338,3	338,1	329,4	328,0	9,5	329,4
	Napříč	Pevnost [Mpa]	15,56	16,22	16,54	16,16	16,44	16,18	0,34	16,22
		Tažnost [%]	315,0	311,8	321,2	320,3	327,4	319,1	5,4	320,3
Čistá směs s 10 % drtě K1	Podél	Pevnost [Mpa]	16,91	17,89	17,35	17,95	16,87	17,39	0,46	17,35
		Tažnost [%]	293,9	313,6	325,4	322,0	318,6	314,7	11,1	318,6
	Napříč	Pevnost [Mpa]	16,04	15,99	16,23	15,75	15,89	15,98	0,16	15,99
		Tažnost [%]	298,9	314,7	327,4	308,4	301,0	310,1	10,3	308,4
Čistá směs s 25 % drtě K1	Podél	Pevnost [Mpa]	17,10	17,55	17,30	17,35	17,10	17,28	0,17	17,30
		Tažnost [%]	304,7	318,6	313,8	318,7	302,8	311,7	6,8	313,8
	Napříč	Pevnost [Mpa]	15,23	15,85	15,85	16,28	15,75	15,79	0,34	15,85
		Tažnost [%]	300,5	299,4	312,3	319,1	306,4	307,5	7,4	306,4
Čistá směs s 50 % drtě K1	Podél	Pevnost [Mpa]	16,48	16,37	16,18	15,98	15,33	16,07	0,41	16,18
		Tažnost [%]	304,4	309,0	299,2	286,0	289,0	297,5	8,8	299,2
	Napříč	Pevnost [Mpa]	14,26	14,69	14,77	14,41	15,15	14,66	0,31	14,69
		Tažnost [%]	283,5	288,3	295,5	267,6	295,9	286,2	10,4	288,3
Čistá směs s 5 % regr. cupaniny	Podél	Pevnost [Mpa]	13,65	13,82	14,18	13,63	13,51	13,76	0,23	13,65
		Tažnost [%]	247,3	268,6	276	266,9	260,2	263,8	9,7	266,9
	Napříč	Pevnost [Mpa]	10,51	11,36	11,61	12,17	11,9	11,51	0,57	11,61
		Tažnost [%]	237,4	239,7	240,3	254,5	255,4	245,5	7,8	240,3
Čistá směs s 10 % regr. cupaniny	Podél	Pevnost [Mpa]	12,26	13,11	11,92	12,22	12,81	12,46	0,43	12,26
		Tažnost [%]	229,5	257,7	232,1	233,2	238,9	238,3	10,2	233,2
	Napříč	Pevnost [Mpa]	10,54	10,75	10,78	10,2	11,23	10,70	0,34	10,75
		Tažnost [%]	204,1	230,7	226,9	211,0	207,9	216,1	10,6	211,0
Čistá směs s 25 % regr. cupaniny	Podél	Pevnost [Mpa]	11,44	10,75	10,35	10,83	11,65	11,00	0,48	10,83
		Tažnost [%]	204,3	204,7	195,6	186,3	192,0	196,6	7,1	195,6
	Napříč	Pevnost [Mpa]	8,367	8,810	8,715	8,367	8,483	8,548	0,18	8,48
		Tažnost [%]	176,0	186,4	187,0	182,0	183,5	183,0	3,9	183,5

Material	Směr tažení	Měření	1.	2.	3.	4.	5.	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	Medián
Čistá směs s 50 % regr. cupaniny	Podél	Pevnost [Mpa]	10,86	10,28	10,25	9,60	9,72	10,14	0,45	10,25
		Tažnost [%]	43,96	39,96	48,02	40,93	44,43	43,46	2,9	44,0
	Napříč	Pevnost [Mpa]	6,708	6,822	6,577	6,577	6,109	6,559	0,24	6,58
		Tažnost [%]	137,8	148,3	139,4	144,0	131,0	140,1	5,8	139,4
Čistá směs s 5 % cupaniny	Podél	Pevnost [Mpa]	14,57	13,42	14,24	13,64	14,25	14,02	0,43	14,24
		Tažnost [%]	276,0	245,1	263,1	244,5	254,5	256,6	11,8	254,5
	Napříč	Pevnost [Mpa]	12,33	12,58	13,09	12,49	12,95	12,69	0,29	12,58
		Tažnost [%]	231,5	241,7	256,7	255,9	239,0	245,0	9,8	241,7
Čistá směs s 10 % cupaniny	Podél	Pevnost [Mpa]	13,90	13,52	13,53	13,06	12,80	13,36	0,39	13,52
		Tažnost [%]	249,1	252,4	240,6	236,7	229,3	241,6	8,4	240,6
	Napříč	Pevnost [Mpa]	11,86	11,53	11,69	10,67	11,58	11,47	0,41	11,58
		Tažnost [%]	172,2	188,3	186,5	184,1	188,2	183,9	6,0	186,5
Čistá směs s 25 % cupaniny	Podél	Pevnost [Mpa]	12,19	11,8	12,47	11,28	11,56	11,86	0,43	11,80
		Tažnost [%]	170,8	161,7	182,2	168,3	178,5	172,3	7,3	170,8
	Napříč	Pevnost [Mpa]	9,000	9,425	9,317	9,107	9,310	9,232	0,15	9,31
		Tažnost [%]	170,8	161,7	182,2	168,3	178,5	172,3	7,3	170,8
Čistá směs s 50 % cupaniny	Podél	Pevnost [Mpa]	9,972	10,72	10,4	8,21	10,08	9,876	0,87	10,08
		Tažnost [%]	32,08	36,53	28,95	36,38	21,76	31,14	5,5	32,1
	Napříč	Pevnost [Mpa]	5,367	5,244	5,089	6,522	3,161	5,077	1,08	5,24
		Tažnost [%]	60,89	84,15	74,63	83,1	73,55	75,26	8,4	74,6

PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÉ HODNOTY TVRDOSTÍ

Materiál	Měření [ShA]										Průměrná hodnota [ShA]	Medián
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.		
Čistá směs	78,6	78,3	77,7	78,2	77,8	77,1	76,2	76,6	77,9	78,1	77,7	77,9
Čistá směs s 5 % drtě K1	76,2	76,0	76,9	76,5	76,7	77,7	77,0	77,5	76,8	77,2	76,9	76,9
Čistá směs s 10 % drtě K1	76,6	77,7	77,2	76,9	77,1	76,7	77,5	77,1	76,9	77,5	77,1	77,1
Čistá směs s 25 % drtě K1	77,3	77,4	77,8	77,3	77,8	78,1	77,9	77,4	78,0	77,2	77,6	77,6
Čistá směs s 50 % drtě K1	77,5	77,3	77,8	77,8	77,9	77,4	78,1	77,5	77,8	78,1	77,7	77,8
Čistá směs s 5 % regr. cupaniny	80,1	79,4	80,3	79,5	80,4	79,8	80,1	79,7	79,5	79,9	79,9	79,9
Čistá směs s 10 % regr. cupaniny	80,4	81,6	81,7	80,9	81,4	80,5	80,5	80,8	81,2	80,9	81,0	80,9
Čistá směs s 25 % regr. cupaniny	85,3	84,6	85,4	85,4	84,4	85,4	84,8	85,3	85,1	84,9	85,1	85,2
Čistá směs s 50 % regr. cupaniny	86,8	87,7	87,1	86,8	87,2	87,5	87,6	86,9	87,1	86,8	87,2	87,1
Čistá směs s 5 % cupaniny	79,3	79,5	79,6	80,2	79,1	79,2	80,0	79,5	79,7	80,1	79,6	79,6
Čistá směs s 10 % cupaniny	80,6	81,6	81,6	81,3	81,3	80,8	81,5	80,9	81,2	81,1	81,2	81,3
Čistá směs s 25 % cupaniny	85,0	84,8	85,4	85,6	84,8	84,7	85,1	85,3	84,7	84,9	85,0	85,0
Čistá směs s 50 % cupaniny	86,8	86,5	86,9	86,3	87,0	86,2	86,4	86,8	86,2	86,6	86,6	86,6