



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

DISERTAČNÍ PRÁCE

Vliv přípravy recyklátu na vlastnosti výrobku

**Influence of recycled material preparation to
properties of product**

Ing. Vojtěch Šenkeřík

Program: P3909 Procesní inženýrství

Obor: 3909V013 Nástroje a procesy

Školitel: Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Zlín 2016

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě poděkoval mému školiteli Ing. Michalovi Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení disertační práce a za trpělivé vedení během celého doktorského studia.

Dále bych rád poděkoval svým kolegům a akademickým pracovníkům, zejména doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D., doc. Ing. Miroslavu Maňasovi, CSc., kteří mě pomáhali během studia. V neposlední řadě děkuji mojí rodině, kamarádům a spolubydlícím za podporu během celého studia.

ABSTRAKT

Při zpracování termoplastů technologií vstřikování vzniká zpravidla odpad (vtokové zbytky, neshodné výrobky, apod.), který je nutné recyklovat přímo ve výrobní firmě nebo jej nechávat ekologicky zpracovat externí firmou. Cílem disertační práce je studium vlivu způsobu přípravy recyklovaného materiálu na vlastnosti finálního výrobku. Různé technologie dělení toho odpadu produkují různě veliké částice drtě (drt' nerovnoměrných parametrů). Tyto nestejnorodé částice mohou způsobit různou rychlost tavení při dalším zpracování, což může negativně ovlivnit vlastnosti budoucího výrobku.

Disertační práce se zabývá praktickým využitím technologického odpadu, který vznikl při výrobě technologií vstřikování. Tento odpad je podrcen a je tak získána drt' s různou velikostí částic. Následným prosetím jsou částice rozděleny podle velikosti, na velmi jemné prachové částice až po velké částice, větší než původní granulát. Další způsob přípravy byla regranulace drtě, která by mohla přinést do materiálu další tepelně–mechanické namáhání. To může způsobit další ovlivnění vlastností. Vliv recyklace připravených drtí rozdělených podle velikosti na výsledné chování bylo porovnáváno z hlediska mechanických a zpracovatelských vlastností. Pro hodnocení struktury a složení látek budou použity metody DSC a FTIR.

Testované materiály jsou konstrukční polymery, semikrystalický polyamid a amorfní polykarbonát. Recyklovaný materiál je vždy stejného složení jako původní materiál. Vybrány byly materiály, které jsou hojně využívány nejenom v automobilové průmyslu. Z tohoto důvodu byly měřeny mechanické vlastnosti při pokojové teplotě 23 °C, ale i zvýšené teplotě 60 °C a 100 °C, protože výrobky v automobilu mohou být vystaveny takovýmto teplotám.

Z naměřených dat je patrné, že různá velikost recyklovaného materiálu vykazuje rozdílné výsledky. Největší změnu vlastností přináší drt' z prachových částic, naopak drt' s velkými částicemi jsou ovlivněny méně. Lze vysledovat i to, že zvolené materiály se průběhu recyklace chovají odlišně. Regranulace přinesla větší změny pouze u několika vlastností. Z výsledků jde lépe pochopit, co se děje s materiálem během recyklace a ten následně lépe využít.

Klíčová slova: polymer, recyklace, mechanické vlastnosti, prosévání, velikost částic, drcení, vstřikování.

ABSTRACT

When processing thermoplastics by injection molding technology there is always some waste produced (runners, non-identical products, ...) which should be recycled within the manufacturing company or ecologically processed by an external company. The aim of the thesis is to study the effect of preparation of recycled material on properties of a final product. Various technologies of crushing of waste produce differently sized particles of crushed material (crushed material with unequal parameters). These heterogeneous particles can cause various melting rates during further processing, which can affect the future product. The central theme of the dissertation thesis are the effects of the size of the particles on mechanical and processing properties.

This thesis deals with utilization of technological waste produced by use of injection molding technology. This waste is crushed to obtain crushed material with unequally sized particles. Consequently, the crushed material is sieved to separate particles of different sizes, from dust sized particles to particles larger than original granulated material. Alternatively, the crushed material can be re-granulated, which can cause thermo-mechanic stress and further changes to properties of material. The influence of recycling to prepared crushed material differentiated by size was compared in terms of mechanical and processing attributes. Methods DSC and FTIR were used to determine changes in structure and composition of material.

Tested materials are construction polymers – semicrystalline polyamide and amorphous polycarbonate. Recycled material was always of the same compound as the original material. These materials were specifically selected for their use in automotive industry and others. For this reason, the properties were measured during room temperature 23 °C, as well as during increased temperatures 60 °C a 100 °C, because products used from these materials can be subjected to higher temperatures.

Measures data indicates influence of particle size to changes in properties of recycled material. The biggest changes are visible in crushed material made up of dust-sized particles, conversely crushed materials made up of larger-sized particles is influenced less. It can also be seen that selected materials are influenced differently during recycling process. Re-granulation caused larger changes only for a few properties. The results can be used to determine changes to material during recycling and to better utilize recycled material.

Key words: polymer, recycling, mechanical properties, sifting, particle size, crushing, injection molding.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
2 RECYKLACE TERMOPLASTŮ	14
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERNÍHO ODPADU.....	14
2.2 DRUHY RECYKLACÍ.....	15
2.2.1 Materiálová recyklace.....	16
2.2.2 Chemická recyklace.....	20
2.2.3 Energetická recyklace.....	20
2.3 GRANULOVÁNÍ POLYMERNÍHO MATERIÁLU	21
3 VSTŘIKOVÁNÍ.....	24
3.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	24
3.2 VTOKOVÉ SYSTÉMY FOREM	25
3.2.1 Studené vtokové systémy	25
3.2.2 Vyhřívané vtokové systémy	26
4 POLYMERY	28
4.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	28
4.1.1 Termoplasty	28
4.1.2 Reaktoplasty.....	30
4.1.3 Kaučuky, pryže a elastomery.....	30
4.1.4 Polyamid	31
4.1.5 Polykarbonát.....	32
5 CÍLE PRÁCE	35
6 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ.....	37
6.1 VÝBĚR POLYMERNÍHO MATERIÁLU	37
6.2 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	37
6.2.1 Sušení.....	38
6.3 RECYKLACE	39
6.3.1 Drcení technologického odpadu	39
6.3.2 Příprava recyklátu.....	40
6.3.3 Prosévání.....	40
6.3.4 Regranulace	42
6.3.5 Skladba testovaných materiálů	42
6.4 PROVEDENÉ ZKOUŠKY	43
6.4.1 Zkouška tahem.....	43
6.4.2 Zkouška vrubové houževnatosti	44

6.4.3	Zkouška tvrdosti	44
6.4.4	Zkouška zatékavosti.....	44
6.4.5	Zkouška indexu toku taveniny.....	46
6.4.6	Diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC)	46
6.4.7	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR) 47	
6.5	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ	48
6.5.1	Způsob vyhodnocení dat.....	48
7	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE	51
7.1	VÝSLEDKY MĚŘENÍ MATERIÁLU PC	51
7.1.1	Modul pružnosti v tahu PC při 23 °C	51
7.1.2	Modul pružnosti v tahu PC při 60 °C	52
7.1.3	Modul pružnosti PC při 100°C	54
7.1.4	Mez pevnosti PC při 23 °C	55
7.1.5	Mez pevnosti PC při 60 °C	57
7.1.6	Mez pevnosti PC při 100 °C	58
7.1.7	Poměrné prodloužení PC při 23 °C	59
7.1.8	Poměrné prodloužení PC při 60 °C	61
7.1.9	Poměrné prodloužení PC při 100 °C	62
7.1.10	Vrubová houževnatost PC při 23 °C	64
7.1.11	Vrubová houževnatost PC při 60 °C	65
7.1.12	Vrubová houževnatost PC při 100 °C	66
7.1.13	Tvrdomost PC při 23 °C	68
7.1.14	Index toku taveniny PC	69
7.1.15	Délka zatečení PC.....	70
7.1.16	DSC PC.....	72
7.1.17	FTIR PC.....	73
7.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ MATERIÁLU PA.....	73
7.2.1	Modul pružnosti v tahu PA při 23 °C	73
7.2.2	Modul pružnosti v tahu PA při 60 °C	75
7.2.3	Modul pružnosti v tahu PA při 100 °C.....	76
7.2.4	Mez pevnosti PA při 23 °C.....	77
7.2.5	Mez pevnosti PA při 60 °C.....	78
7.2.6	Mez pevnosti PA při 100 °C.....	79
7.2.7	Poměrné prodloužení PA při 23 °C	81
7.2.8	Poměrné prodloužení PA při 60 °C	82
7.2.9	Poměrné prodloužení PA při 100 °C	83
7.2.10	Vrubová houževnatost PA při 23 °C	85
7.2.11	Vrubová houževnatost PA při 60 °C	86
7.2.12	Vrubová houževnatost PA při 100 °C	87
7.2.13	Tvrdomost PA při 23 °C.....	89
7.2.14	Index toku taveniny PA	90
7.2.15	Délka zatečení PA.....	91

7.2.16 DSC PA.....	93
7.2.17 FTIR PA.....	94
7.3 DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	95
8 PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI.....	106
9 ZÁVĚR.....	107
10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	109
SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA	114
CV AUTORA.....	119
SEZNAM PŘÍLOH.....	121

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Studie zabývající se vícenásobnou recyklací [1, 2]	13
Obr. 2.1 Linka na zpracování tříděného plastového odpadu [13]	18
Obr. 2.2 Nožový drtič se sítím [17]	19
Obr. 2.3 Nožový mlýn [13]	19
Obr. 2.4 Schéma recyklačního cyklu [18]	21
Obr. 2.5 Granulace z pásu [17]	22
Obr. 2.6 Granulace za studena [17]	22
Obr. 2.7 Granulace za studena [17]	23
Obr. 3.1 Vstřikovací cyklus	25
Obr. 3.2 Studený vtokový systém	26
Obr. 4.1 Vliv teploty na modul pružnosti	29
Obr. 4.2 Strukturní vzorec polyamidu 6 [30]	32
Obr. 4.3 Strukturní vzorec polykarbonátu [31]	33
Obr. 6.1 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 H	37
Obr. 6.2 Sušárna Thermolift	39
Obr. 6.3 Nožový drtič	39
Obr. 6.4 Zkušební tělesa se studeným vtokem	40
Obr. 6.5 Prosévací zařízení a síto	41
Obr. 6.6 Hmotnostní poměr velikostí částic v drti	41
Obr. 6.7 Drť o velikoti 4-3 mm a prachové částice	42
Obr. 6.8 Zkušební těleso pro tahovou zkoušku	43
Obr. 6.9 Zkušební těleso pro rázovou houževnatost	44
Obr. 6.10 Spirálová dutina formy	45
Obr. 6.11 Výtlačný plastometr	46
Obr. 6.12 DSC 1 Mettler Toledo	47
Obr. 6.13 Avatar 320	47
Obr. 7.1 Modul pružnosti v tahu PC při 23 °C	51
Obr. 7.2 Modul pružnosti v tahu PC při 60 °C	53
Obr. 7.3 Modul pružnosti v tahu PC při 100 °C	54
Obr. 7.4 Mez pevnosti PC při 23 °C	56
Obr. 7.5 Mez pevnosti PC při 60 °C	57
Obr. 7.6 Mez pevnosti PC při 100 °C	58
Obr. 7.7 Poměrné prodloužení PC při 23 °C	60
Obr. 7.8 Poměrné prodloužení PC při 60 °C	61
Obr. 7.9 Poměrné prodloužení PC při 100 °C	63
Obr. 7.10 Vrubová houževnatost PC při 23 °C	64
Obr. 7.11 Vrubová houževnatost PC při 60 °C	65
Obr. 7.12 Vrubová houževnatost PC při 100 °C	67
Obr. 7.13 Tvrdost PC při 23 °C	68
Obr. 7.14 Index toku taveniny PC	69
Obr. 7.15 Délka zatečení PC	71
Obr. 7.16 DSC PC	72

<i>Obr. 7.17 FTIR PC</i>	73
<i>Obr. 7.18 Modul pružnosti v tahu PA při 23 °C</i>	74
<i>Obr. 7.19 Modul pružnosti v tahu PA při 60 °C</i>	75
<i>Obr. 7.20 Modul pružnosti v tahu PA při 100 °C</i>	76
<i>Obr. 7.21 Mez pevnosti PA při 23 °C</i>	77
<i>Obr. 7.22 Mez pevnosti PA při 60 °C</i>	79
<i>Obr. 7.23 Mez pevnosti PA při 100 °C</i>	80
<i>Obr. 7.24 Poměrné prodloužení PA při 23 °C</i>	81
<i>Obr. 7.25 Poměrné prodloužení PA při 60 °C</i>	82
<i>Obr. 7.26 Poměrné prodloužení PA při 100 °C</i>	84
<i>Obr. 7.27 Vrubová houževnatost PA při 23 °C</i>	85
<i>Obr. 7.28 Vrubová houževnatost PA při 60 °C</i>	86
<i>Obr. 7.29 Vrubová houževnatost PA při 100 °C</i>	88
<i>Obr. 7.30 Tvrdost PA při 23 °C</i>	89
<i>Obr. 7.31 Index toku taveniny PA</i>	90
<i>Obr. 7.32 Délka zatečení PA</i>	92
<i>Obr. 7.33 Teplota krystalizace PA</i>	93
<i>Obr. 7.34 Krystalinita PA</i>	94
<i>Obr. 7.35 FTIR PA</i>	94
<i>Obr. 7.36 Modul pružnosti v tahu PC</i>	96
<i>Obr. 7.37 Mez pevnosti PC</i>	96
<i>Obr. 7.38 Poměrné prodloužení PC</i>	97
<i>Obr. 7.39 Vrubová houževnatost PC</i>	98
<i>Obr. 7.40 Modul pružnosti v tahu PA</i>	100
<i>Obr. 7.41 Mez pevnosti PA</i>	101
<i>Obr. 7.42 Poměrné prodloužení PA</i>	102
<i>Obr. 7.43 Vrubová houževnatost PA</i>	103

SEZNAM TABULEK

Tab. 6.1	Procesní podmínky vstřikování zkušebních těles	38
Tab. 6.2	Skladba testovaných materiálů	43
Tab. 6.3	Procesní podmínky vstřikování zkoušky zatékavosti	45
Tab. 7.1	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 23 °C.....	52
Tab. 7.2	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 60 °C.....	53
Tab. 7.3	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 100 °C.....	55
Tab. 7.4	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 23 °C.....	56
Tab. 7.5	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 60 °C.....	58
Tab. 7.6	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 100 °C....	59
Tab. 7.7	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 23 °C.....	60
Tab. 7.8	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 60 °C.....	62
Tab. 7.9	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 100 °C.....	63
Tab. 7.10	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 23 °C....	65
Tab. 7.11	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 60 °C....	66
Tab. 7.12	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 100 °C..	67
Tab. 7.13	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ShD při 23 °C..	69
Tab. 7.14	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ITT PC.....	70
Tab. 7.15	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí zatečení PC.....	71
Tab. 7.16	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 23 °C.....	74
Tab. 7.17	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 60 °C.....	75
Tab. 7.18	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 100 °C.....	77
Tab. 7.19	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 23 °C....	78
Tab. 7.20	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 60 °C....	79
Tab. 7.21	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 100 °C..	80
Tab. 7.22	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 23 °C.....	82
Tab. 7.23	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 60 °C.....	83
Tab. 7.24	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 100 °C...	84
Tab. 7.25	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 23 °C....	86
Tab. 7.26	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 60 °C....	87
Tab. 7.27	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 100 °C..	88
Tab. 7.28	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ShD při 23 °C..	90
Tab. 7.29	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ITT PA	91
Tab. 7.30	Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí zatečení PC.....	92

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ε_M	-	Poměrné prodloužení na mezi pevnosti
μ		Aritmetický průměr souboru
σ_M	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
ABS		Akrylonitrilbutadienstyren
A_M	[kJ/m ²]	Maximální vrubová houževnatost
ČSN		Česká technická norma
DSC		Diferenciální skenovací kalorimetrie
E	[MPa]	Modul pružnosti
FTIR		Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
F_M	[N]	Maximální rázová síla
ISO		Mezinárodní norma
ITT	[g/10min]	Index toku taveniny
M		Medián
M_n		Střední molekulová hmotnost
M_w		Hmotnostní střední molekulová hmotnost
P	[-]nebo[%]	Pravděpodobnost
PA		Polyamid
PE		Polyethylen
PMMA		Polymethylmetakrylát
PP		Polypropylen
PS		Polystyren
PVC		Polyvinylchlorid
s		Směrodatná odchylka
T_f	[°C]	Teplota toku
T_g	[°C]	Teplota skelného přechodu
T_k	[°C]	Teplota krystalizace
T_m	[°C]	Teplota tání
V		Variační koeficient
\bar{x}		Aritmetický průměr

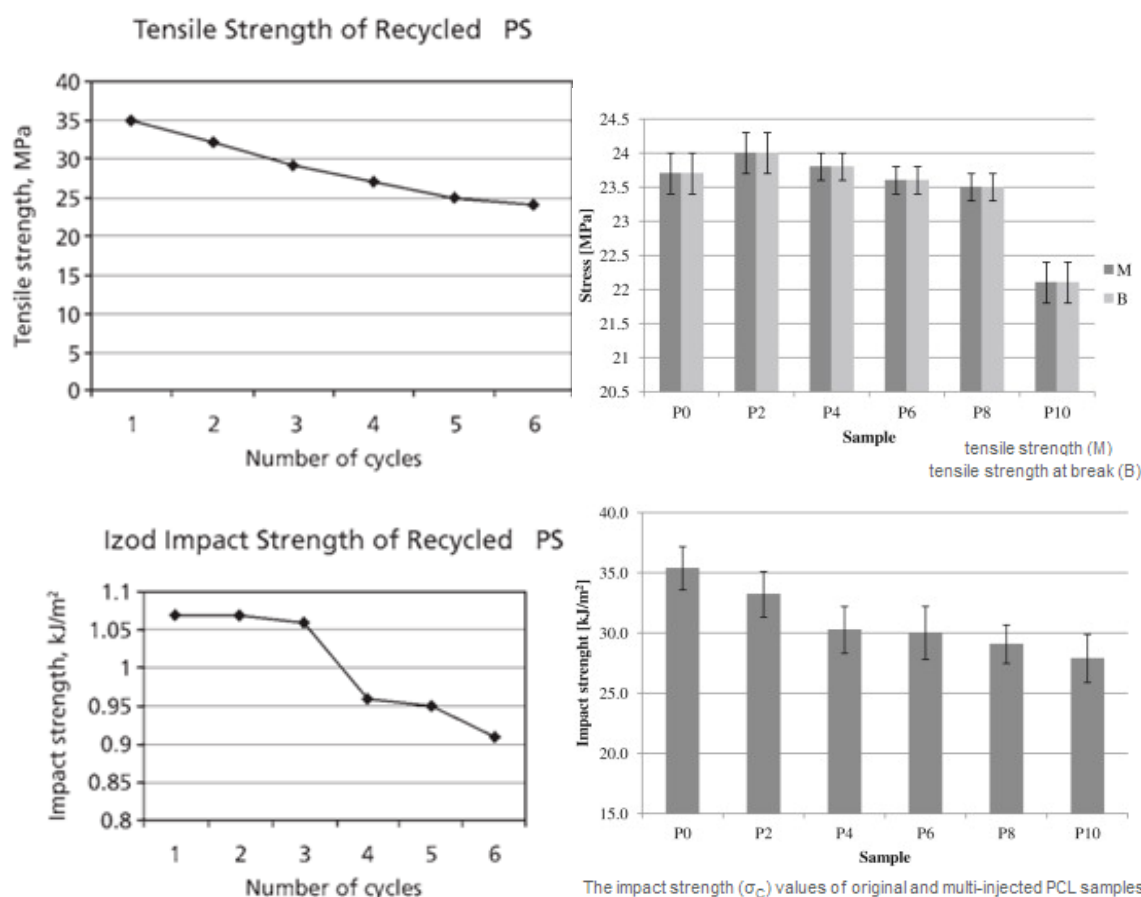
1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Recyklace termoplastů má relativně dlouhou historii, ale ochrana životního prostředí a problémy nakládání s odpady přišly do popředí až relativně nedávno. Snahou vlád, odborníků a široké veřejnosti je snížit dopad člověka na životní prostředí. Současné trendy dovolují produkovat velké množství polymerních výrobků za přijatelnou cenu. Ale při tak masové výrobě vzniká mnoho odpadu při výrobě, následně i po skončení životnosti těchto plastových výrobků. Nejpoužívanější základní surovina pro výrobu polymerů je ropa, tedy neobnovitelný přírodní zdroj. Recyklace se proto dostává stále více do popředí před ukládáním odpadu do skládek.

Do oblasti snadno recyklovatelných materiálů je možné zařadit pouze některé druhy polymerů. Avšak při použití takového recyklátu nelze vyrobit produkt s úplně stejnými vlastnostmi, jako měl původní výrobek. Proto se přistupuje k přidávání recyklátu pouze v určitém poměru k původnímu materiálu. Takto je možné znovu zpracovat technologický odpad z výroby a vyřazené neshodné výrobky. Obecné pravidlo zní, že do konstrukčně namáhaných či optických produktů lze přimíchat pouze malý nebo vůbec žádný podíl recyklovaného materiálu. Za podmínek, že není potřeba splnit tyto požadavky, lze použít větší podíl recyklovaného materiálu, či vyrábět díly ze 100 % recyklátu.

Současná praxe funguje následovně. Podniky rozdělují polymerní odpad při výrobě do nádob, který následně prodávají za zlomek ceny specializovaným firmám zabývajících se recyklací nebo za jeho odvoz dokonce platí. Tyto recyklační firmy zpracovávají odpad na další výrobky, či jej přepracují na granulát a prodávají dále výrobním podnikům, které z nich vyrábějí díly pro méně náročné aplikace. V tomto případě je nutné dodržet celou řadu podmínek, např. nesmí dojít k jakémukoliv znečištění tohoto odpadu, dále je nutné dodržet podmínky skladování apod. Další nevýhodou je prostorová náročnost při skladování. Proto se lze setkat v praxi s možností, kdy výrobní závod, používá vlastní drtiče. Na těchto strojích dochází k podrcení vzniklého odpadu a tím se výrazně sníží nároky na prostor potřebný ke skladování. Výkupní cena je u takto připraveného odpadu zpravidla vyšší.

Další možností je zpracování odpadu přímo ve výrobním podniku. Odpad je podrcen na drobné částice s následným přimícháním k původnímu materiálu v určitém poměru a znovu zpracován ve výrobě. V tomto případě je opět nutné mít vypracován systém, který řeší přípravu recyklátu. Buďto centrálně (samotná místnost s drtiči, kde dochází ke sběru odpadu a drcení z celé firmy) nebo lokálně, kdy každý výrobní stroj nebo skupina strojů, u kterého vzniká takovýto odpad má své vlastní drtící zařízení.



Obr. 1.1 Studie zabývající se vícenásobnou recyklací [1, 2]

Byly zpracovány studie [1, 3, 4, 5, 6], které ukazují, že přidáním recyklátu k původnímu materiálu či vícenásobnou recyklací dochází u takto znovu zpracovaného polymernímu materiálu k postupnému zhoršení mechanických vlastností finálního výrobku. Další studie [6, 7, 8, 9, 10, 11] se zabývají recyklací polymerních výrobků, které jsou již po skončení životního cyklu. Tento odpad je znečištěn buď samotným použitím, nebo uložením na skládkách. Zde je velmi často nutné odstranit jiné druhy plastů, které bývají součástí celého výrobku a mají jiné vlastnosti. Tyto druhy odpadu musí být roztříděny, vyčištěny či případně jinak upravovány. Dále byly zpracovány studie [1, 3, 4, 12] v nichž se řešilo přidávání stabilizátorů k zamezení tomuto postupnému zhoršování mechanických vlastností.

2 RECYKLACE TERMOPLASTŮ

Neustále zřetelnější vliv lidské činnosti na stav životního prostředí se stává čím dál závažnějším celosvětovým problémem a recyklace termoplastů je jedním z mnoha způsobů, jak tento problém řešit. Z důvodu velice krátkého životního cyklu obalů z plastů a také díky tomu, že polymery se v přírodě velmi špatně nebo vůbec rozkládají, bývají zařazovány k jednomu z největších zdrojů znečištění životního prostředí.

Metody snížení ekologické zátěže zahrnují jako preventivní opatření redukci množství vznikajícího odpadu např. využitím horkých vtokových systémů. Další možností je vývoj a použití snadno degradovatelných polymerů. Biopolymery ani biodegradabilní plasty, nemohou však v dohledné době nahradit masově používané typy plastů, navíc mohou přinést nové problémy (zpracovatelnost, cena, mechanické vlastnosti a jiné).

Jako nezbytné řešení jeví alespoň recyklování plastů. Recyklace plastů přímou přeměnou odpadu na použitelné výrobky nebo využití jeho chemického nebo alespoň energetického obsahu, se dnes jeví jako nezbytné technologické řešení. [13]

Recyklace plastů je proces opakovaného využití odpadního materiálu do nových užitečných produktů, někdy v úplně odlišné podobě od jejich původního použití. V tomto procesu je vždy recyklovaný materiál cíleně přetvářen z výroby již jinak dále nepoužitelného odpadu na (druhotnou) vstupní surovinu, která je použitelná pro další zpracování. Recyklace umožňuje šetřit obnovitelné i neobnovitelné zdroje. Využívá se proto, aby se snížilo plýtvání potenciálně užitečného materiálu, spotřeby původní základní suroviny, spotřeby energie, znečištění ovzduší (od spalování), znečištění vody (od skládkování) a emisí skleníkových plynů ve srovnání s výrobou nových plastových materiálů. [1]

2.1 Rozdělení polymerního odpadu

Významnou součástí recyklace je zpracování polymerního odpadu. Odpad musí přizpůsoben, aby mohl být použit znovu ve výrobě. Jakým způsobem a jak dobře se bude odpad zpracovávat je silně závislé na stupni jeho znečištění. Odpadní plasty je možno pro jednoduchost rozdělit do čtyř základních kategorií:

a) plasty jediného druhu neznečištěné, které mohou být opětovně zahrnuty do procesu, při kterém vznikly, je v podstatě nejkvalitnější odpad (např. odřezky fólií, pásků, trubek, profilů, desek, vtokové zbytky), který lze získat. Tento odpad nevyžaduje žádnou zvláštní úpravu. Nejčastěji je rozemlet na drť a ta je pak přidána do čerstvého polymeru v určitém poměru. Při větších objemech je rozdrcený materiál plastikován a homogenizován na kontinuálním

hnětiči. Následně je pak granulován. Recyklace tohoto typu odpadu je nejméně náročná a mnoho výrobních závodů jí provádí přímo ve vlastních provozovnách.

b) plasty jediného druhu kontaminované (např. zemědělské fólie, obalové fólie, pytle na hnojiva, přepravky na láhve, palety), které již nemohou být zahrnuty do procesů, při kterých vznikly, proto je nutno je podrobit dalšímu zpracování pro jiné koncové aplikace. Není již tak kvalitní. Je častokrát zpracováván na linkách a jeho hlavní odlišností je přidání etapy praní a sušení polymerní drtě. Podstatný rozdíl mezi čistým a znečištěným odpadem je také v zpracování před samotnou granulací. Před granulací se musí znečištěný odpad filtrovat. I z tohoto druhu odpadu je možné získat velmi kvalitní regenerovaný materiál, avšak vše závisí na dobrém odstranění nečistot.

c) směsné plastové odpady o známém složení, které prakticky neobsahují neplastové kontaminanty. Největším problémem tohoto opadu je obsah materiálů s neshodným složením a vlastnostmi. Tento nedostatek se projevuje nejčastěji při plastikaci a homogenizaci. Tento odpad je zpracováván nejčastěji na diskontinuálním hnětiči. V případě, že probíhá zpracování na kontinuální hnětiči, musí být hnětič speciálně konstrukčně upraven. Při působení třecího tlaku a tepla dochází v hnětiči k homogenizaci drtě. Granulování se příliš nepoužívá, protože tato surovina není natolik hodnotná. Jeho využití se našlo na výrobu výlisků například protihlukových stěn nebo podlahových krytin.

d) náhodně sebraný a komunální odpad, obsahující i jiné materiály než plasty. Proces zpracování tohoto typu odpadu zahrnuje zpravidla dezintegraci a třídění podle druhu materiálu a velikosti částic materiálu např. magnetickou separací, fluidní separací, flotací, elektrostatickou separací, ručním tříděním, proséváním, promýváním a patří tedy k nejhůře zpracovatelný odpad. Jeho recyklace je velice obtížná a nejméně ekonomická. To je jeden z nejvýznamnějších příčin proč tento odpad končí převážně na skládkách, kde zůstává, a zatěžuje životní prostředí. Zpracování tohoto druhu odpadu je v dnešní době stále velký problém; cena takového regenerátu přesahuje častokrát hodnotu čistého materiálu, přičemž zdaleka nedosahuje jeho vlastností. [13, 14]

2.2 Druhy recyklací

V závislosti na příslušné kategorii jsou odpadní plasty zpracovávány jako přímo recyklovatelné materiály (primární a sekundární recyklace), chemickou recyklací a jako energetická surovina jsou spalovány. Nejméně vhodnou alternativou je jejich ukládání na skládkách. [13]

2.2.1 Materiálová recyklace

Materiálová recyklace je zvláště vhodná pro termoplasty. Zahrnuje procesy od nejjednoduššího mletí opotřebovaných výrobků a následného tepelně mechanického zpracování. Obecně je materiálová recyklace založena na dodávce tepelné a mechanické energie pro přetvoření odpadních surovin na nový materiál s mechanickými a estetickými vlastnostmi blízkých původnímu polymeru. Může-li recyklát v dané oblasti nahradit v aplikační oblasti hodnotný původní materiál, tedy má-li požadovanou jakost, je ekonomická bilance této recyklace velice příznivá. [15]

Z hlediska způsobu rozdělení polymerního odpadu se materiálová recyklace dělí na dva typy:

Primární recyklace

Primární mechanická recyklace se označuje recyklace čistého nekontaminovaného odpadu jediného typu plastu. Tento typ recyklace se jeví jako nejjednodušší a nejlevnější, zvláště v případech, kdy odpad vzniká přímo ve výrobním závodě. Takovýto odpad je velmi hodnotný především proto, že není znečištěn a je známo jeho přesné složení, je to tzv. technologický odpad. Může se přidávat k originálnímu materiálu v množství zabezpečující kvalitu produkce, nebo je používán jako druhořadý materiál s nižšími požadavky na kvalitu. Tříděný odpad nevyžaduje žádnou specifickou úpravu. Nejčastěji je rozemlet na drť a ta je pak přidána do nového čistého polymeru v určitém poměru.

Přestože se zpracování nekontaminovaného odpadního plastu jediného typu jeví jako velmi jednoduché, je třeba připomenout, že v plastech při jejich zpracování mohou probíhat chemické reakce, které následně mohou ovlivnit jejich fyzikální vlastnosti.

Degradaci recyklovaných plastů při jejich opětovném zpracování lze poměrně účinně zabránit restabilizací. Ve většině případů lze dostatečné stability dosáhnout relativně malými přídávky fenolických nebo fosfitových antioxidantů. Zároveň jsou přidávány UV stabilizátory k zabránění fotooxidační degradace výrobku. Množství stabilizátoru potřebná k dosažení dostatečné stability jsou obvykle vyšší než množství používaná v původním materiálu, a to často i více než desetinásobně.

Sekundární recyklace

Odpad obsahující různé plasty je zpracováván řadou operací, které mohou zahrnovat granulaci, drcení, separaci plastů navzájem i od ostatního odpadu, čištění, sušení. V závislosti na povaze a složení odpadu, jenž má být zpracován a zároveň v závislosti na trhu, pro nějž jsou výrobky z recyklovaného materiálu

určeny, existují dva základní přístupy k sekundární recyklaci: recyklace tříděných plastů a recyklace jejich netříděných směsí.

První skupina technologických procesů spočívá v oddělení plastů od jejich kontaminantů a jejich následné separaci podle generických typů, přičemž jeden nebo několik z nich jsou recyklovány do výrobků z „panenského“ materiálu.

Separace plastů podle typů je založena na rozdílných hustotách, rozměrech, barvě, fyzikálně-chemických vlastnostech nebo rozpustnosti.

Roztavení směsi polymerů je druhým postupem sekundární recyklace, spočívajícím v oddělení nepolymerních kontaminantů od odpadních plastů a v roztavení směsi polymerů bez jejich předchozí separace. [13, 14, 16]

Druhotné suroviny jsou vhodné k méně náročným aplikacím, jako je výroba palet, sloupků oplocení, plotových dílců, cívek kabelů, koberečků a zástěrek pro automobily, průmyslových podlah a jiných výrobků.

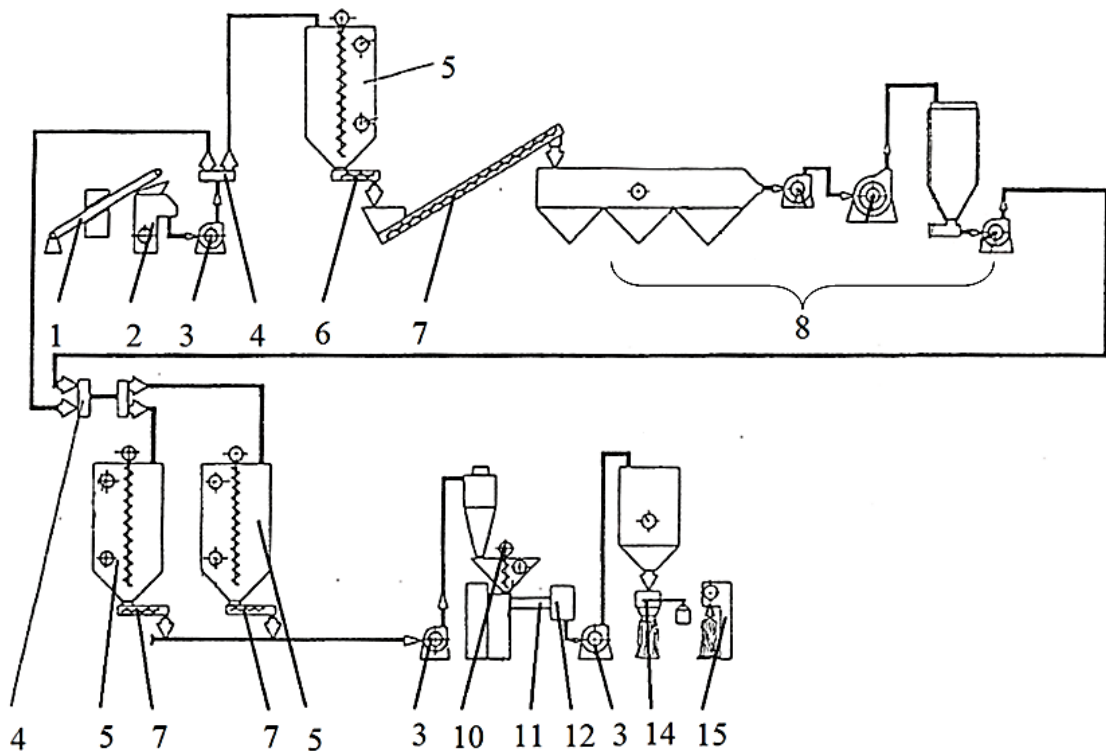
Z recyklátu uživatelského heterogenního odpadu se získá materiál nebo výrobek horší kvality a jeho vlastnosti jsou značně odlišné od původního materiálu. [10, 16]

Zařízení pro materiálovou recyklaci

Mechanická nebo také materiálová recyklace plastů zahrnuje proceduru mletí a drcení pro zmenšení velikosti plastových částic a znovu zpracování do nových plastových výrobků. Tento způsob je především vhodný pro recyklaci termoplastů. Recyklace je omezena slučitelností různých typů polymerů. Další problém s mechanickou recyklací je, že přítomnost různých barev v odpadu stejného polymerního materiálu, způsobuje většinou nežádoucí šedou barvu recyklovaného materiálu.

U potravinových obalů nelze použít recyklovaných materiálů pro obaly s přímým kontaktem. V posledních letech se stala alternativou použití vícevrstevných obalových fólií pro podporu využití recyklovaného materiálu. Střední vrstva je nejsilnější a je vyrobena z recyklovaného polymeru, zatímco tenčí vnější a vnitřní vrstvy jsou vyrobeny z původního materiálu. Při tomto přístupu je zabráněno přímému kontaktu mezi recyklovaným polymerem a potravinou zabalenou v obale.

Mechanická recyklace se provádí většinou na linkách o specifickém uspořádání. Příklad takové linky, která zpracovává znečištěný tříděný odpad je na *Obr. 2.1*. Důležitým faktorem je typ znečištění, zda se jedná o nečistoty rozpustné nebo nerozpustné ve vodě.



Obr. 2.1 Linka na zpracování tříděného plastového odpadu [14]

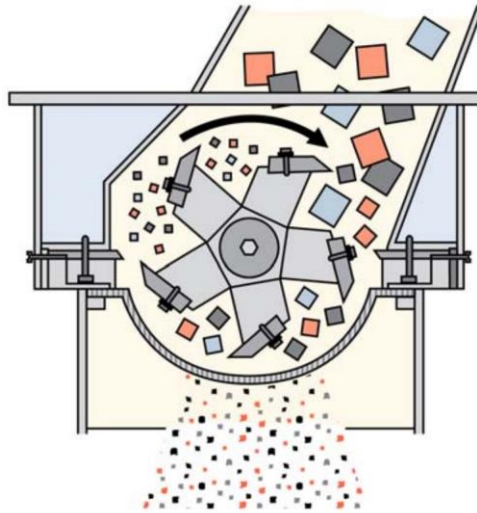
1 - dopravní pás; 2 - drtič; 3 - transportní dmýchadlo; 4 - potrubní výhybky;
 5 - zásobník; 6 - vynášecí šnek; 7 - šnekový dopravník; 8 - praní a sušení;
 10 - násypka; 11 - vytlačovací stroj; 12 - granulační zařízení; 13 - zásobník
 pytlovacího zařízení; 14 - automatická pytlovací váha; 15 - svařování pytlů.

Větší množství tohoto odpadu se zpracovává na běžných linkách zejména tak, že odpad se nejdříve drtí a potom po plastikaci a homogenizaci na kontinuálním hnětiči se granuluje. [14, 17]

Zařízení pro dělení polymerního odpadu

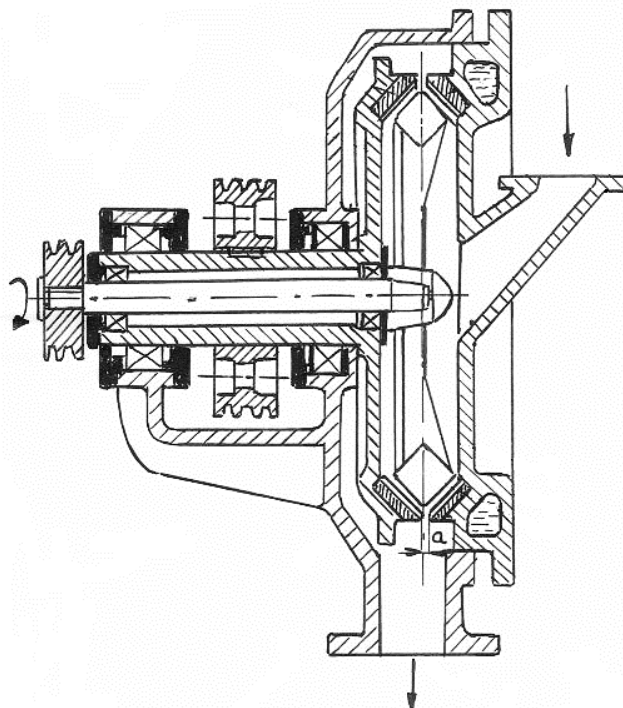
Součástí linky na zpracování plastového odpadu bývá mlecí nebo drtičí zařízení. Odpad vznikající při zpracování plastů se musí rozdrtit a rozemlít do té míry, aby jej bylo možno znovu zpracovat. K hrubému rozrušení velkých kusů odpadu se většinou používají kotoučové pily a v následující operaci nejrůznější typy mlýnů a drtičů, podle požadavku na výslednou velikost částic.

Jedním z nejvíce používaných zařízení pro tyto účely je nožový mlýn (Obr. 2.2). Mlýn sestává z několika pevných nožů, uložených radiálně kolem rotoru, který unáší na svém povrchu další nože. Rotor se rychle otáčí a mezi noži drtí a stříhá materiál přicházející z násypky na velikost odpovídající velikosti ok síta, jimiž materiál propadá. Výhodou těchto mlýnů je, že poskytují materiál rovnoměrné velikosti a nevzniká příliš mnoho prachu. Snadno se čistí a jemnost mletí lze regulovat volbou velikosti ok síta. [14]



Obr. 2.2 Nožový drtič se sítím [18]

Pro jemné mletí se používají nožové mlýny (Obr. 2.3). Materiál je vrhán rotorem proti rýhovaným bočnicím, z nichž jedna je poháněna motorem a otáčí se v opačném smyslu než rotor. Tímto způsobem je mletý materiál intenzivně namáhán (především nárazy na rotor a bočnice) až do té doby, než dosáhne velikosti obvodové štěrbiny mezi bočnicemi. Jemnost mletí se reguluje nastavením velikosti štěrbiny. Výhodou tohoto mlýnu je, že nepoužívá síta a že při mletí nedochází k přehřívání materiálu. [14, 16]



Obr. 2.3 Nožový mlýn [14]

2.2.2 Chemická recyklace

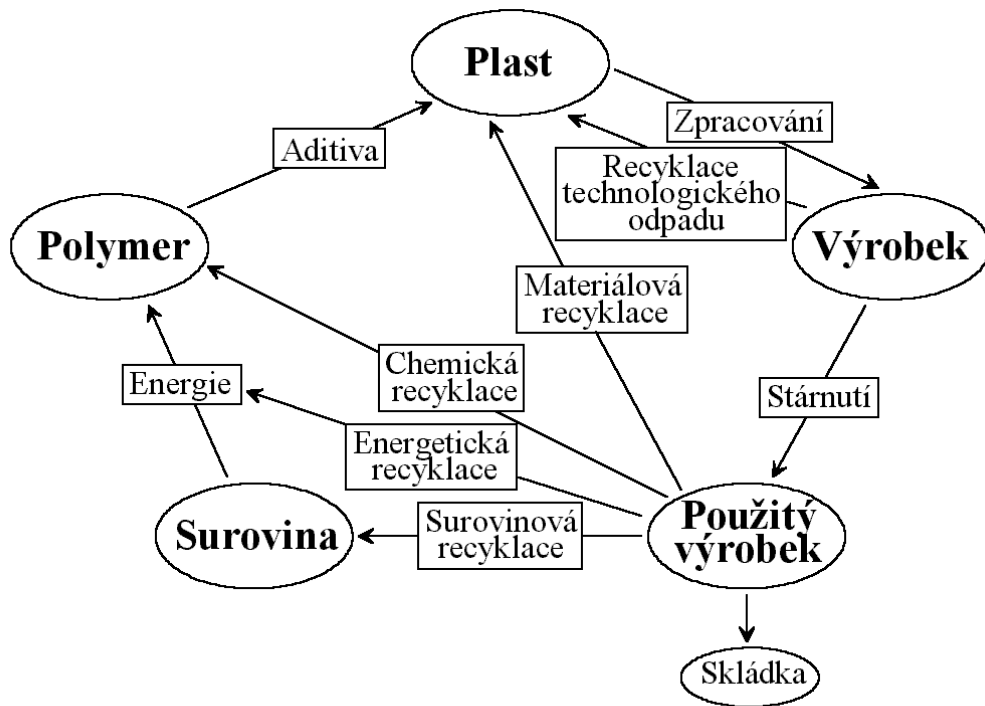
Chemická recyklace zahrnuje postupy, při nichž je polymerní materiál rozkládán na nízkomolekulární látky, vhodné k opětovnému využití jako monomery pro polymerace. Mezi tyto recyklace patří tepelná depolymerace, za působení vysokých teplot (400 °C až 500 °C) podléhá PS a PMMA tepelné degradaci, kdy se z konců polymerních řetězců postupně odštěpují monomerní jednotky; nebo solvolýza. Solvolýzou se získá výchozí monomerní jednotky postupem opačným polykondenzaci. Jedná se tedy o rozklad polykondenzátů účinkem nízkomolekulárních látek. To znamená, že tímto postupem lze recyklovat polymery vyráběné polykondenzací nebo polyadící, jakými jsou polyestery, polyamidy, polykarbonáty nebo polyuretany. Jedná-li se o solvolýzu ve vodě, tzn. rozklad chemické látky nastává účinkem vody, nazývá se tento proces hydrolýza, rozklad účinkem alkoholu je nazýván alkoholýza.

Mezi chemickou recyklací patří i surovinová recyklace, při které se přeměňuje odpad na výrobní suroviny. Principem tohoto typu recyklace jsou termicky destrukční procesy, které rozkládají polymery na směs plynných a kapalných uhlovodíků. Produktem surovinové recyklace pak jsou energeticky využitelný plyn a směs kapalných uhlovodíků, které lze následně využít jako topné oleje nebo petrochemické suroviny.

Patří sem postupy jako hydrogenace, což je vysokotlaký katalytický proces, jehož produktem jsou kapalné, nasycené uhlovodíky. Či na druhé straně pyrolýza je tepelný rozklad polymerů probíhající za nízkého tlaku a zvýšených teplot bez přítomnosti kyslíku. Produkt pyrolýzy závisí zejména na vstupním materiálu a reakčních podmínkách, avšak obecně lze říci, že produkty pyrolýzy jsou plyny a koks. [13, 14, 19]

2.2.3 Energetická recyklace

Energetická recyklace znamená získání alespoň energetického obsahu odpadního plastu spalováním, což je nepochybně lepší alternativa než zavážení plastového odpadu na skládky. Spalování s využitím tepla je dnes nejefektivnější cestou ke snížení objemu organického odpadu, který není možno recyklovat některým z výše uvedených postupů. Plasty mají vysokou energetickou hodnotu a jsou proto důležitou složkou spalovaného pevného komunálního odpadu. Energetická recyklace je často napadána a označována jako ekologicky neakceptovatelná vzhledem k možnému toxickému znečištění ovzduší z produktů spalování chlorovaných materiálů, jako je PVC. Nebezpečné mohou být i emise těžkých kovů ze spalovaných materiálů. Řešením problému je čištění spalin a vhodný režim spalování. [13, 14]



Obr. 2.4 Schéma recyklačního cyklu [19]

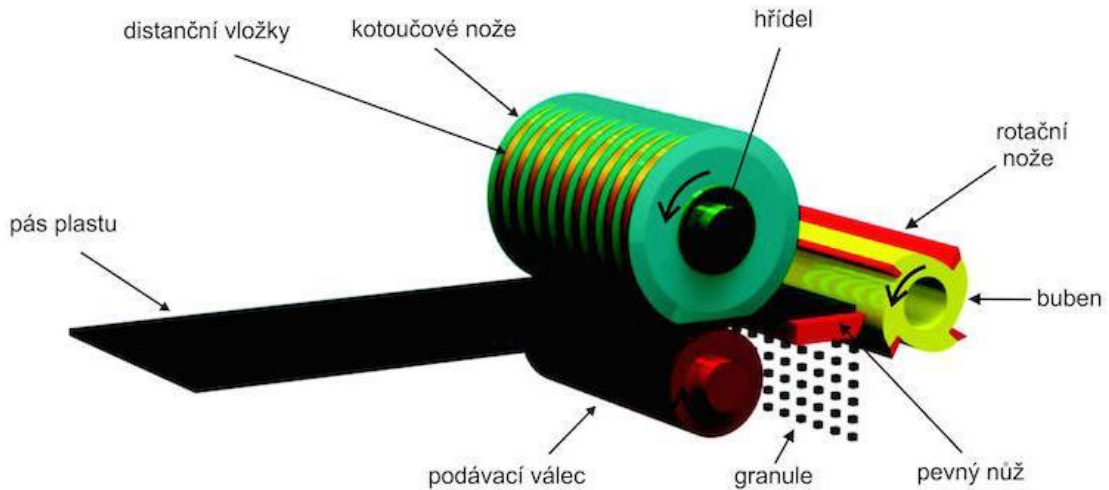
2.3 Granulování polymerního materiálu

Granulovací stroje se využívají pro přípravu granulátu, to je tělísek přibližně pravidelných tvarů (válečků, čoček a krychliček). Granulace se provádí u většiny polymerů a díky výhodám, které přináší, tvoří granulační zařízení nedílnou součást zpracovatelského procesu.

Granule lze snadno a přesně dávkovat do zpracovatelských strojů. Výhodou granulí je poměrně velká sypná hmotnost, dobré tokové vlastnosti a možnost snadného přidávání dalších materiálů, jako jsou pigmenty apod. Na granule se také zpracovává odpad, který vzniká při zpracování, např. vtokové zbytky, vadné výrobky při vstřikování, atd. Výběr metody granulace je závislý na reologických vlastnostech zpracovávané taveniny, prostoru pro granulační zařízení, na ekonomických požadavcích apod. [14, 20]

Granulace pásů

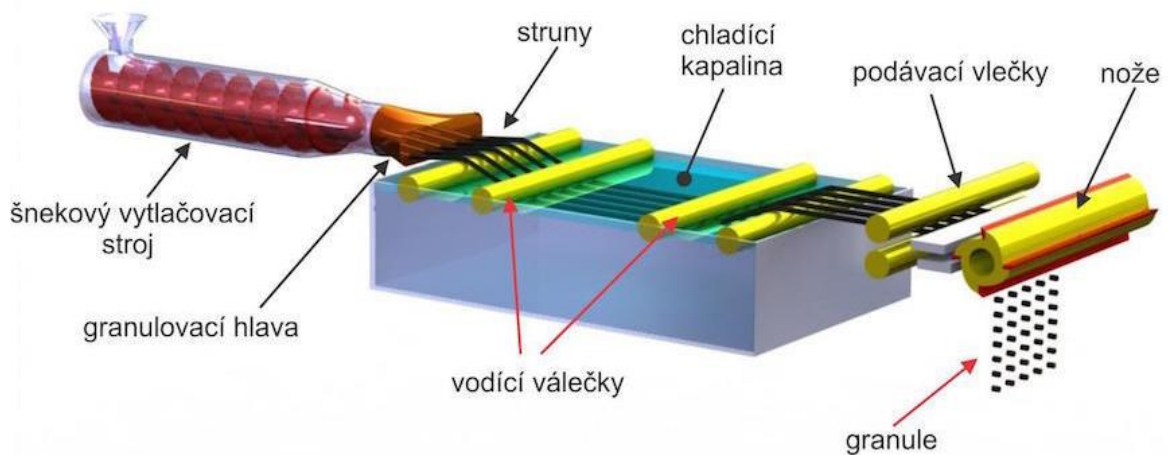
Z pásů se připravují granule ve tvaru hranolků nebo krychliček. Oddělený podélný a příčný řez pásu umožňuje použít poměrně jednoduché rezné nástroje. Podélný řez zajišťují kotoučové nože, příčný řez pak rotor s deskovými noži. Postup je nevýhodný pro málo tuhé materiály, protože mají tendenci se pěchovat v prostoru mezi noži.



Obr. 2.5 Granulace z pásu [18]

Granulace strun za studena

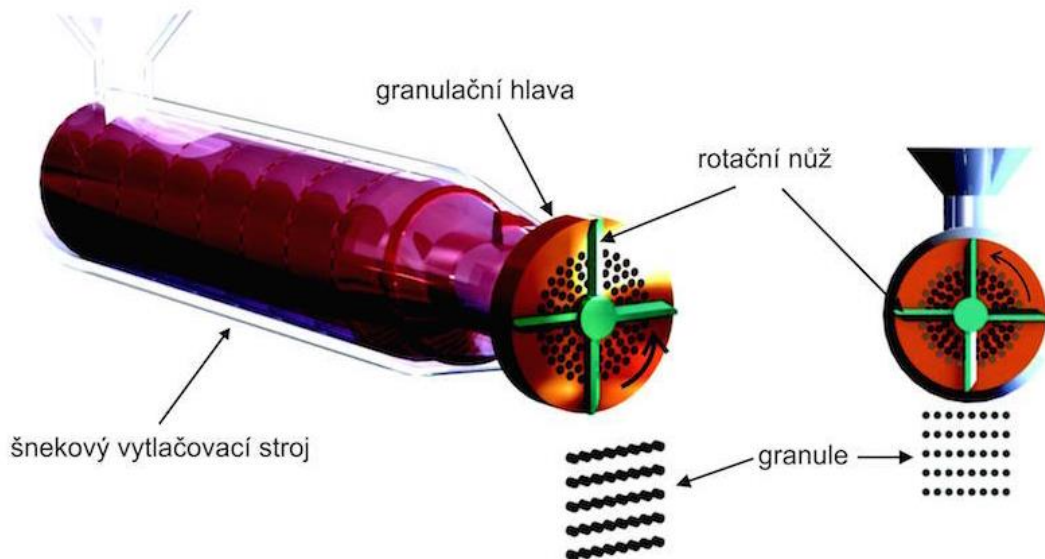
Granulací strun se připravuje válečkový granulát. Při granulaci se „za studena“ jsou struny vytlačené granulací hlavou s mnoha otvory ochlazeny ve vodní lázni a po odstranění přebytečné vody jsou kolmo rotujícími noži sekány na válečky. Granuluje se tak např. PS, PA, PC a PETP.



Obr. 2.6 Granulace za studena [18]

Granulace strun za tepla

Některé materiály lze granulovat přímo na vytlačovací hlavě „za tepla“. Vytlačovací hlava má přední část provedenou v podstatě jako děrovanou desku, po které běží nože rotoru. Stříhané válečky padají do proudící chladné vody. Voda je ve spodní nádrži, do které pak padají horké granule, chladí se a pak se granule vysuší. Uvedené zařízení je vhodná jen pro materiály, které v horkém stavu nejsou příliš lepkavé. [20]



Obr. 2.7 Granulace za studena [18]

Granulace „pod vodou“ se používá především pro polymery, které mají při granulaci za horka tendenci se roztírat, popřípadě lpět na nožích. I v tomto případě jsou struny seřezávány rotujícími noži z čela hlavy a jsou bezprostředně zchlazeny vodou. To proto, že vstupují do vody, která intenzivně chladí vzniklé granule i rotující nože, a tak lze touto metodou bezpečně granulovat nízkoviskózní i lepivé polymery. Jejich volné chladnutí ve vodě umožní, že zaujmají tvar čoček. [14]

3 VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby požadovaných dílů z plastů. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a forma. Je to velmi produktivní způsob výroby, při kterém je součást vyrobena nejčastěji za jednu pracovní operaci. Tímto způsobem lze vyrábět výrobky velmi složitých tvarů v úzkých výrobních tolerancích a v obrovských sériích. Vstřikování je charakteristické rychlým pracovním cyklem, malou náročností na obsluhu a značnou možností automatizace.

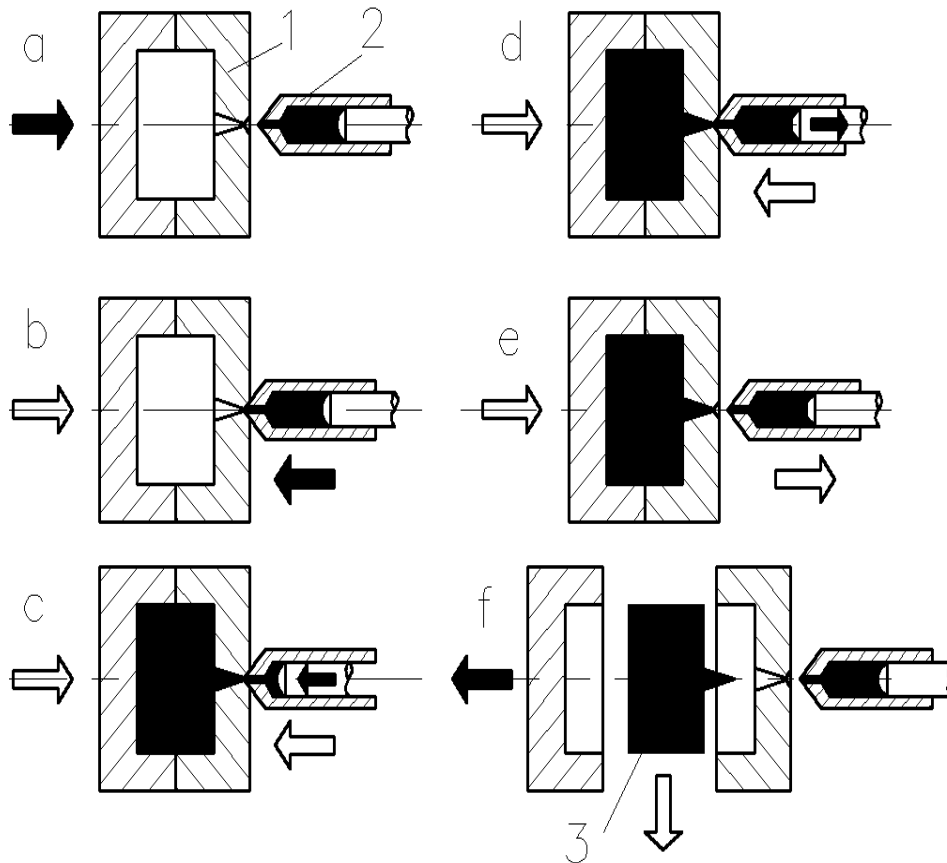
Princip vstřikování se označuje takový způsob tváření polymerních materiálů, při němž se materiál roztaví v pracovním válci či v tavící komoře vstřikovacího stroje a tavenina se vstřikuje pod tlakem do uzavřené formy. Tavenina polymeru ve formě chladne až do doby, kdy zatuhne a zafixuje ve tvaru vyráběné součásti. Zaplňovaná dutina má negativní tvar výstřiku.

Vstřikované díly se používají hlavně ve spotřebním a automobilovém průmyslu, v elektrotechnice, elektronice, obalové technice, v medicínských aplikacích a dalších.

Pro všechna tato průmyslová odvětví je typické velmi rychlé morální zastarání výrobků, dané jednak dynamikou vývoje trhu a konkurenčním prostředím, ale také módností a náročností spotřebitele. [21, 22]

3.1 Vstřikovací cyklus

Tavenina se připraví ve vstřikovací jednotce a je vstříknuta do formy, kde zatuhne. Vstřikovací cyklus je znázorněn na *Obr. 3.1*. Nejdříve dojde k uzavření vstřikovací formy 1 (a), vstřikovací jednotka 2 je ve výchozí poloze. Vstřikovací jednotka se poté přisune a dosedne na uzavřenou formu (b). Po dosednutí nastává vstřikování taveniny (c). Po naplnění dutiny formy taveninou nastává její tuhnutí. Objemové změny, kterým v důsledku ochlazování dochází, jsou kompenzovány dodávkou dalšího polymeru ve fázi dotlaku (d). Po zatuhnutí vtokového ústí ve formě pokračuje tuhnutí bez dotlaku. Následuje odsun vstřikovací jednotky do výchozí polohy (e). Po dostatečném ochlazení nastává otevření formy (f) a vyhození výstřiku 3. Ve vstřikovací jednotce mezitím probíhá příprava taveniny. Forma i vstřikovací jednotka jsou ve výchozí poloze a celý cyklus se opakuje. [20]



Obr. 3.1 Vstřikovací cyklus

1 – forma, 2 – vstřikovací jednotka, 3 – výstřik

3.2 Vtokové systémy forem

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu taveniny od vstřikovací trysky do tvářecí dutiny formy (Obr. 3.2). Naplnění dutiny taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory.

Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění, konstrukčního provedení výstřiku, materiálu plastu a také dle toho, zda je požadována konstrukce studeného nebo vyhřívaného systému. Druh, velikost a umístění vtoku má především u termoplastů podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, povrchový vzhled, orientaci plniva a makromolekul, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů a další atributy.

Vtokové systémy se dělí na dva základní systémy a to studené vtokové systémy (SVS) a vyhřívané vtokové systémy (VVS). [23, 24]

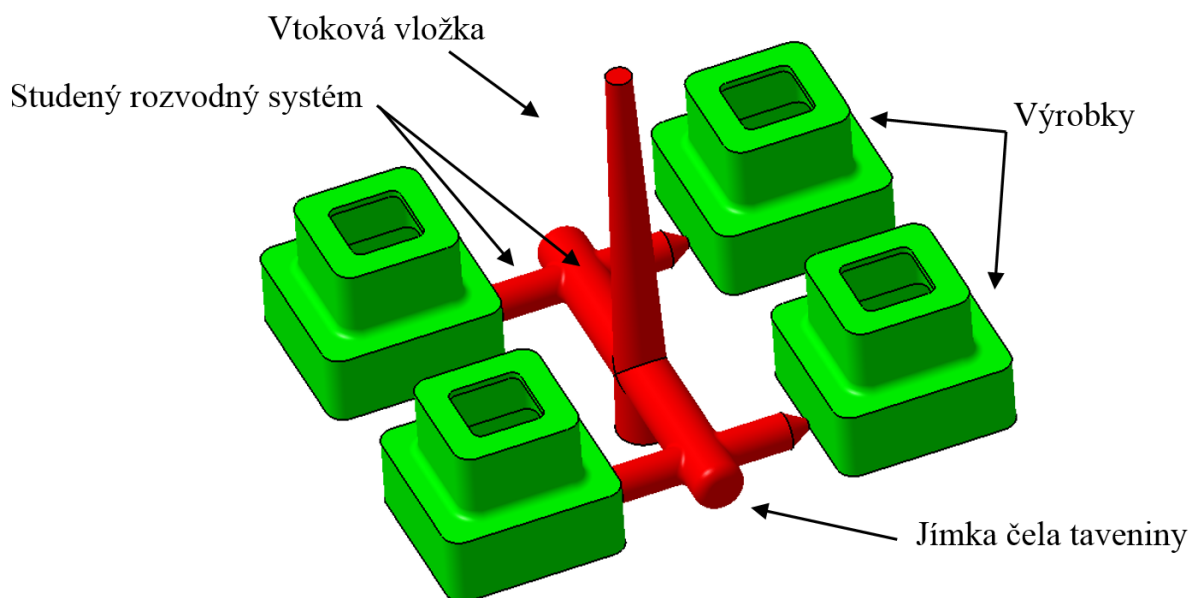
3.2.1 Studené vtokové systémy

Studený vtokový systém tvoří vtoková vložka navazující na trysky vstřikovacího stroje, rozvodné kanály a vtokové ústí. Protože síť rozvodných kanálů může být rozsáhlá, je pro průtok polymerní taveniny spotřebována

relativně značná část tlakové energie vygenerovaná vstřikovací jednotkou. Studené vtokové systémy jsou nejjednodušší a nejběžnější typ používaných ve vstřikovacích formách pro vstřikování termoplastů.

Hlavní nevýhodou studeného vtokového systému je vznik odpadu v podobě zatuhlých vtoků a stopa na výstřiku vzniklá po odstranění vtoku. V některých případech je množství materiálu ve vtokovém systému větší než hmotnost vlastního výstřiku.

Podrcený materiál může být často použit zpět do procesu, v daném poměru s původním materiálem. Směs původního materiálu a drtě z vtokových zbytků může mít rozdílné jak mechanické, tak tokové vlastnosti s porovnáním s původním polymerem. [25]



Obr. 3.2 Studený vtokový systém

3.2.2 Vyhřívání vtokové systémy

Snaha po úsporách plastu i práce vedla k metodě bez vtokového zbytku. Realizuje se za pomoci vyhřívání vtokových soustav (VVS). Dnešní VVS mají vyhřívání trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny.

Technologie vstřikování s využitím VVS spočívá v tom, že po naplnění dutiny vstřikovací formy zůstává polymer po celé délce VVS stále taveninou. Z toho vyplývá, že lze použít jen bodové vyústění malého průřezu, kde i přes malý průřez vtoku je možné pracovat s dotlakem.

Výhody VVS:

- snížení spotřeby polymeru – tzv. bezvtokové vstřikování,
- snížení nákladů na dokončovací práce s odstraňováním vtokových zbytků,
- odpadá problematika zpracování vtokových zbytků,
- celý VVS se vyznačuje snadnou montáží, demontáží, údržbou,
- umožňují automatizaci výroby – zkrácení výrobního cyklu,
- VVS má vlastní regulaci teploty ve všech svých částech.

Nevýhody VVS:

- VVS jsou energeticky a ekonomicky výrazně nákladnější než SVS,
- konstrukční provedení vstřikovacích forem s VVS je náročnější,
- je potřeba zajistit regulátory a snímače teploty VVS,
- vyšší pořizovací cena, vyšší nároky na obsluhu,
- nebezpečí teplotní degradace některých materiálů s velkou citlivostí na teplo. [17, 21]

4 POLYMERY

Pro úspěšné recyklování plastů je nutné mít znalost toho jaké má materiál vlastnosti a jak se pravděpodobně bude chovat. Plastový výrobek se skládá z polymeru a případně dalších složek, které se přidávají, aby se u daného polymeru získaly požadované vlastnosti.

Polymery mohou být látky přírodní nebo syntetické. Skládají se z makromolekul, v nichž se jako jednotlivé články řetězce mnohonásobně opakují stavební jednotky nazývané mery. Jsou tvořeny především uhlíkem a vodíkem, často obsahují kyslík, dusík a jiné prvky. Tato chemická stavebnice umožňuje neobyčejně širokou proměnlivost struktur a tím i vlastností výsledných látek. Nejčastěji jsou to materiály lehké, poměrně měkké, málo pevné a s malou tepelnou odolností oproti kovům. [1, 26]

4.1 Základní rozdělení polymerů

Polymery je možno klasifikovat podle různých hledisek:

- podle nadmolekulární struktury na amorfní plasty a krystalické (semikrystalické) plasty,
- podle aplikace na plasty pro široké použití, pro inženýrské aplikace a pro špičkové aplikace,
- podle druhu přísad na neplněné a plněné plasty,
- podle původu (přírodní a syntetické),
- na základě teplotního chování, podle působení teploty (termoplasty, reaktoplasty a kaučuky). [27]

4.1.1 Termoplasty

Jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu viskózních neneutronovských kapalin, ve kterém je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří většina zpracovávaných materiálů, jako je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), atd. [22, 27]

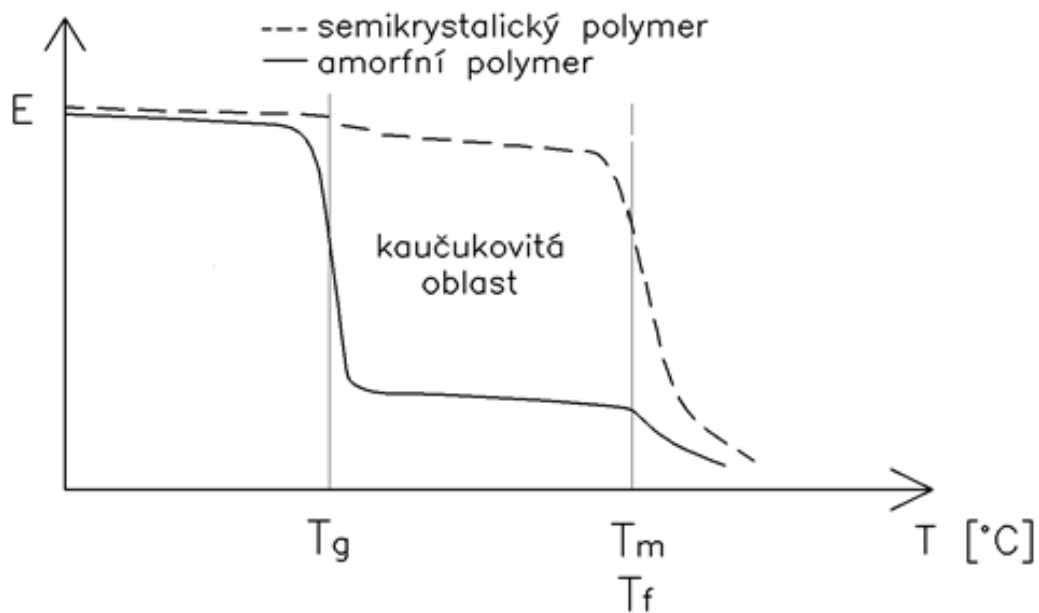
Termoplasty jsou makromolekulární látky s lineárními nebo rozvětvenými řetězci. V roztaveném stavu se pod tlakem vstříkují do forem, v nichž ochlazením ztuhnou na požadovaný tvar.

Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí na:

- amorfní, jejichž řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány,
- semikrystalické, kde je podstatná část řetězců pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary. Zbytek má amorfni uspořádání.

Amorfni termoplasty

S rostoucí teplotou se oslabují mezimolekulární soudržné síly (van der Waalovy) a modul pružnosti zpočátku mírně klesá. Pohyblivost řetězců v této teplotní oblasti je značně omezena, řetězce jsou v „zamrzlém“ stavu. Tato oblast se označuje jako sklovitý stav. Deformační a lomové chování polymerů se podobá chování anorganických skel. Při dalším zvyšování teploty prochází polymer při teplotě nad T_g (teplota skelného přechodu) přechodovým stavem, kdy modul pružnosti výrazně klesá a polymer přechází ze sklovitého do kaučkovitého stavu. Pro kaučkovitý stav je charakteristické, že u polymeru je možno vyvodit působením malých sil velké deformace, přičemž podstatnou část celkových deformací tvoří deformace vratné. Oblast teplot mezi T_g a T_f je vhodná pro zpracování polymerů tvarováním. Při dalším zvyšování teploty polymer přechází z kaučkovitého stavu do stavu viskózního toku. Teplota tohoto přechodu se obvykle označuje jako teplota toku T_f . Nad touto teplotou se polymery zpracovávají např. vstřikováním, vytlačováním, vyfukováním apod.



Obr. 4.1 Vliv teploty na modul pružnosti

Semikrystalické termoplasty

Semikrystalické polymery obsahují jak krystalickou fázi, tak amorfni fázi. Z toho důvodu se na křivce teplotní závislosti modulu pružnosti projevuje jak teplota skelného přechodu, tak teplota tání T_m krystalické fáze. Nad T_g jsou amorfni oblasti v kaučkovém stavu, podobně jako u amorfni polymerů.

Přetrvávající krystalové útvary však vyztužují kaučukovité amorfnní oblasti a pokles modulu pružnosti v oblasti T_g je podstatně menší než u amorfnních polymerů. Z toho důvodu se semikrystalické polymery mohou používat jako konstrukční materiály i nad teplotou skelného přechodu. Teplotou omezující jejich použití není teplota tání krystalické fáze, ale mezní teploty, ležící pod teplotou tání. Použití semikrystalických polymerů při vyšších teplotách je limitováno někdy příliš nízkým modulem pružnosti, a to zejména u polymerů s nízkým podílem krystalické fáze, jindy termooxidačními procesy, vedoucími ke zhoršení mechanických a fyzikálních vlastností. Rozdíl obou typů termoplastů je patrný na *Obr. 4.1*. [27, 28]

4.1.2 Reaktoplasty

Jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu by bylo obtížné. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). Patří sem fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, apod.

Proti termoplastům vynikají reaktoplasty vysokou tuhostí a tvrdostí, teplotní odolností a tvarovou stálostí za tepla, odolností proti korozi za napětí a proti vlivům povětrnosti a nerozpustností. Modul pružnosti není tolik závislý na teplotě jako u termoplastů, takže mechanické vlastnosti reaktoplastů nejsou v rozmezí používaných teplot příliš proměnlivé.

Zpracovatelnost reaktoplastů je určena tekutostí, která je všeobecně horší než u termoplastů a závisí na druhu pryskyřice a charakteru plniva. Při vstřikování nastává silná orientace plniva, anizotropie vlastností a vzniká velké vnitřní pnutí, které vzhledem ke křehkosti reaktoplastů může vést až k prasknutí výstřiku. Vstřikovací reaktoplasty jsou většinou ve formě granulátu. Výrobní cykly jsou delší než u termoplastů. [27, 29]

4.1.3 Kaučuky, pryže a elastomery

Jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj. [27]

4.1.4 Polyamid

Polyamidy jsou syntetické lineární polymery, charakterizované hlavním polymerním řetězcem, v němž se pravidelně opakují amidové skupiny. Nejvýznamnější a nejrozšířenější jsou polyamidy s alifatickými řetězci. Polyamidy se připravují převážně polykondenzací diaminů (s šesti atomy uhlíku) a dikarbonových kyselin (s šesti, deseti nebo dvanácti atomy uhlíku) vznikají polyamidy 66, 610 a 612. Polykondenzací aminokarbonových kyselin (s šesti, jedenácti nebo dvanácti atomy uhlíku) v přítomnosti vody vznikají polyamidy 6, 11 nebo 12.

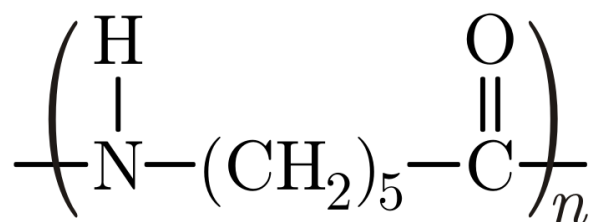
Typické polyamidy jsou v tuhém stavu z 30 až 50 % krystalické a neprůhledné. Řetězové molekuly jsou propojovány vodíkovými můstky mezi amidovými skupinami. Jejich množství ovlivňuje krystalickou strukturu, bod tání, a většinu dalších vlastností. Vysoká houževnatost, tvrdost, odolnost proti otěru a dobré elektroizolační vlastnosti jsou typické charakteristiky polyamidových výrobků. Polyamidy obsahují relativně velký podíl vody, který se v závislosti na typu a oblasti užití může dle relativní vlhkosti vzduchu měnit. Pouze s určitým podílem vlhkosti si polyamidy zachovávají svou úplnou pružnost, tuhost a rázovou pevnost. Vzhledem k relativně polárnímu charakteru a vysoké nasákavosti nedochází u polyamidů ke vzniku elektrostatického náboje a k přitahování částic. Polyamidy mají úzký rozsah teplot tání a tuhnutí.

Polyamidy jsou běžně modifikovány použitím monomerních směsí, které vedou ke vzniku polyamidových kopolymerů. Ty jsou obvykle méně krystalické a pružnější, než homopolymery. Vlákenná a minerální plniva zlepšují tepelnou a fotolytickou stabilitu, usnadňují zpracování, snižují hořlavost, snižují navlhavost a zlepšují kluzné vlastnosti.

Z polyamidů se vyrábějí pevná vlákna. Nejznámější je Kevlar (obchodní název), má špičkové pevnostní vlastnosti, z něhož se vyrábějí výztuže kompozitů pro letectví a kosmonautiku, výztuže pneumatik, neprůstřelné vesty atd. Kromě vláken se z polyamidů vyrábí i řada technických součástek, u nichž se využívá mechanické a chemické odolnosti těchto materiálů. Jmenovat lze ozubená kola, části ložisek, čerpadel, ovládací prvky v automobilech. [13, 26, 30]

Polyamidy PA6

Polyamid 6 spadá do skupiny konstrukčních polymerů. Důvodem nejsou pouze vynikající vlastnosti, ale široké možnosti jeho zpracování a lehká modifikovatelnost základního polymeru. Kromě základního typu PA 6 jsou na trhu dostupné i typy se zvýšenou houževnatostí a typy plněné, ať už to skelnými, nebo minerálními plnivými.



Obr. 4.2 Strukturální vzorec polyamidu 6 [31]

Je nerozpustný v běžných rozpouštědlech, ale rozpouští se ve fenolech, kyselině mravenčí a bezvodé kyselině octové. Polyamid 6 má obecně dobré mechanické vlastnosti, nízký koeficient tření, mimořádnou odolnost proti otěru, dobrou rázovou houževnatost, dobré elektroizolační vlastnosti. Neodolává anorganickým kyselinám a oxidačním činidlům. [13]

PA 6 je mléčně zakalený a se zvyšující se obsahem krystalické fáze, kterou lze ovlivnit například rychlostí chlazení výrobku ve formě a urychlovači krystalizace, jeho světelná propustnost klesá. Propustnost světla se zároveň snižuje i s použitím plniv a modifikátorů. Vlivem vysoké frekvence opakujících se amidových skupin, trpí nemodifikovaný PA 6 velkou absorpcí vody, se kterou souvisí už zmiňovaná rozměrová stálost výrobku. Proto není vhodné používat PA 6 na výrobky, u kterých je požadována vysoká rozměrová stálost. Krátkodobě je možné polyamid 6 vystavit teplotám do 200 °C a dlouhodobě od 80 °C do 150 °C.

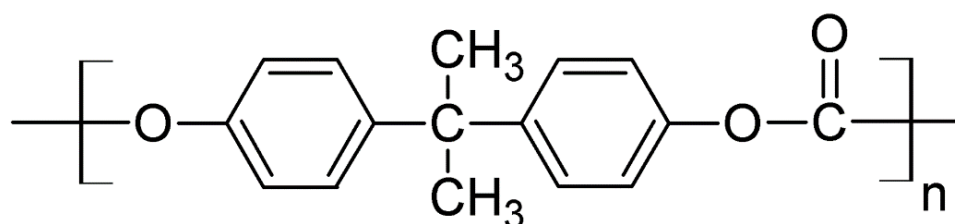
Vstřikováním se vyrábějí především části strojů, přístrojů a zařízení, např. pouzdra kluzných ložisek, ozubená kola, řemenice apod. Vytlačováním se vyrábějí tyče, desky, fólie, trubky, struny a jiné profily. Před jakýmkoliv zpracováním je nutné polymer vysušit. Materiál PA 6 se suší 5 hodin při teplotě 80 °C. Používá se pro výrobu textilních vláken a jako konstrukční materiál nachází uplatnění při výrobě, cívek, vaček, ovládacích elementů, součástek do pump, karburátorů, sacích potrubí pro motorová vozidla, těsnících prvků, ventilátorů apod. [30, 32]

4.1.5 Polykarbonát

Polykarbonát jsou lineární estery kyseliny uhličitě. Tento termoplastický materiál spadá do skupiny polyesterů, ve které tvoří kyselou složku kyselina uhličitá. Alkoholickou složku tvoří převážně aromatické dvojfunkční alkoholy. Patří k termoplastům a svými vlastnostmi se velmi blíží mechanickým vlastnostem barevných kovů.

Jedná se o amorfní, průhledný termoplast se střední pevností, tuhostí a také výbornou houževnatostí. Tvarová stálost za tepla je až 140 °C, trvalá teplotní odolnost je do 100 °C, v horké vodě však jen do 70 °C. Vyznačuje se dobrými elektrickými vlastnostmi, avšak odolává jen slabým kyselinám, olejům,

alkoholu a benzínu. Neodolává silným kyselinám, zásadám, většině rozpouštědel a horké vodě.



Obr. 4.3 Strukturní vzorec polykarbonátu [31]

Propouští přes 90 % světla ve viditelné oblasti. Jsou samozhášivé s teplotou vzplanutí přesahující 500 °C. Pro použití v medicíně je důležité, že jsou bez chuti, vůně a jsou netoxické. Polykarbonát velmi málo vlhne a je možné ho sterilizovat přehřátou parou při 120 °C. Při těchto podmínkách se však mohou slabě zhydrolyzovat. Vstříkované výrobky snáší krátkodobý var ve vodě beze změny, ale není doporučováno je používat trvale ve vařící vodě a ani při 95 % relativní vlhkosti a teplotách nad 70 °C. Tvarová stálost za tepla je až 140 °C, trvalá teplotní odolnost je do 100 °C. Pro polykarbonát je charakteristická vysoká odolnost proti vyšším, ale i velmi nízkým teplotám.

Mechanickými vlastnostmi patří polykarbonát k nejlepším typům plastů. Je zajímavý tím, že je velmi tvrdý, pevný a zároveň houževnatý a pružný. Jeho mechanické vlastnosti lze podstatně zlepšit přidáním skelných vláken. Z jiných fyzikálních vlastností polykarbonátu je důležitá velmi dobrá odolnost proti stárnutí, nízká absorpce vlhkosti a relativně nízká propustnost plynů a par. Vyznačuje se dobrými elektrickými vlastnostmi, avšak odolává jen slabým kyselinám, olejům, alkoholu a benzínu. Neodolává silným kyselinám, zásadám, většině rozpouštědel a horké vodě.

Polykarbonát má velmi dobrou zpracovatelnost. Nejčastěji se zpracovává vstříkáváním, vytlačováním a vyfukáváním. Litím roztoku se dá vyrobit velmi tenké fólie, ale tento způsob se běžně nevyužívá. Při výrobě fólií bývá upřednostňována technologie vyfukování do rukávu. Teploty forem při vstříkování neklesají pod 70 °C a to z důvodu snížení zamrznutí napětí ve výrobcích. U výsledných výrobků bývá smrštění mezi 0,7 až 0,8 %. Při vyfukování je více důležité dbát na výkonné chlazení forem než při jiných způsobech zpracování. Polykarbonát je nutné vysušit před zpracováním (pokud nebyl materiál zabalen ve vzduchotěsném balení). Při 120 °C trvá sušení 4 hodiny. Při zpracování nevysušeného materiálu vznikají nekvalitní výrobky. Výrobky z polykarbonátu se dají velmi dobře lepit a svařovat. Svařování se nejčastěji provádí horkým vzduchem a lepení je prováděno pomocí epoxidů nebo rozpouštědel. Využívá se na aplikace, kde je vyžadována přesnost, tvarová stálost, odolnost, vysoké hodnoty mechanických a elektrických vlastností.

Dobrý povrchový vzhled a průhlednost, ve speciálních případech i při velmi nízkých teplotách. Z důvodu vyšší ceny polykarbonátu se tento materiál užívá pro náročnější aplikace. V případech vysokého mechanického zatížení se využívají materiály plněné skelnými vlákny. [21]

5 CÍLE PRÁCE

Cílem disertační práce je výzkum vlivu způsobu přípravy recyklovaného materiálu na jeho vlastnosti. Vstupní surovina (odpad) je zpracovávána drcením. Získaná drť má ale různé velikosti částic, tvar i plochu. Od větších kusů až po prachové částice. Tyto částice podle velikosti se při zpracování taví různou rychlostí, buď příliš rychle (u velmi malých částic) nebo naopak pomalu. Mohou tak například způsobit degradaci materiálu nebo nehomogenitu taveniny. Nehomogenita následně způsobí, že výrobek nemá požadované vlastnosti a tím mohou vznikat např. neshodné výrobky, a tedy další odpad. Případně se tato skrytá vada projeví až u zákazníka.

Další způsob přípravy recyklovaného materiálu je regranulace, kdy se drť zpracuje opět do granulí podobných velikostí jako původní materiál. Tímto se zanáší do polymerů další tepelně–mechanické namáhání, které může způsobit ovlivnění vlastností.

Součástí výzkumu je studium způsobu zpracování odpadu. Pro přípravu zkušebních těles byla použita technologie vstřikování. Dále bude zkoumáno, zda má vliv prosévání drtě na fyzikální vlastnosti výrobku. Pomocí prosévání jsou odděleny jednotlivé frakce drtě podle velikosti.

Testovaný recyklovaný materiál je vždy použit ze stejného materiálu, jako je původní materiál. Recyklát je připravován z čistého tříděného odpadu, který vzniká při samotné výrobě výrobků. Tento odpad může tvořit velký podíl při výrobě výrobků. Například u vstřikovacích forem využívajících studený vtokový systém, může materiál, který se stává odpadem v podobě vtokových zbytků, tvořit více než 50 % celkové spotřeby materiálu v jednom výrobním cyklu. U technologie mikrovstřikování může tvořit i 10–ti násobek hmotnosti samotného výrobku.

Poznatky získané touto studií umožní lépe předpovídat vlastnosti nově připraveného polymerního materiálu a vhodněji definovat oblasti použití.

Postup při řešení disertační práce:

- Volba polymerních materiálů
Polymerní materiály byly zvoleny podle jejich struktury (amorfní, semikrystalický) a podle použití (konstrukční).
- Způsob přípravy recyklovaného materiálu
Byly připraveny recyklované materiály různým způsobem zpracování (drcení, regenerace). Prosetím bylo získáno různě veliké částic.
- Výroba zkušebních těles
Zkušební tělesa byly vyrobeny technologií vstřikování za procesních podmínek doporučených výrobcem.
- Provedení mechanických zkoušek
Na zhotovených zkušebních tělesech byly provedeny mechanické zkoušky dle platných norem, a sice v tahu, vrubové houževnatosti a tvrdosti.
- Další druhy zkoušek
Byly provedeny testy tokových vlastností zatékavosti polymerní taveniny a index toku taveniny. Pro hodnocení struktury a složení látek budou použity metody DSC a FTIR.
- Vyhodnocení výsledků
Statistické vyhodnocení a zpracování výsledků z experimentů.

6 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Cílem práce je výzkum vlivu recyklovaného materiálu, velikosti částic drtě a způsobu přípravy částic na vlastnosti finálního výrobku.

Pro zhodnocení vlivu byly vybrány základní mechanické vlastnosti. Dále pak byly testovány tokové vlastnosti zatékavosti taveniny a ITT. Pro hodnocení struktury a složení látek budou použity metody DSC, FTIR.

6.1 Výběr polymerního materiálu

Pro experimentální část byl zvolen amorfnní konstrukční materiál polykarbonát (dále jen „PC“) s obchodním názvem Makrolon 2205 vyráběný firmou Bayer. Má širokou škálu využití, zejména v automobilovém průmyslu, stavebnictví či u elektrotechnických zařízení. Má dobrou dlouhodobou odolnost v prostředí s rozdílnými teplotami, vynikající tepelně izolační vlastnosti, odolnost proti degradujícímu vlivu přímého slunečního záření, vysokou tuhost a únosnost, odolnost proti nárazu a velmi dobré tokové vlastnosti.

Dalším testovaným materiálem je semikrystalický konstrukční materiál polyamid 6 (dále jen „PA“) s obchodním názvem Novamid PA6 B30 P vyráběný firmou Novamid Plastics, který je lineární polymer obsahující v řetězcích amidové skupiny. Typický PA 6 je v tuhém stavu z 26–50 % krystalický [31] a neprůhledný. Vysoká houževnatost, tvrdost, odolnost proti oděru a dobré elektroizolační charakteristiky jsou vlastnosti, na nichž spočívá použití polyamidů jako vlákna a výrobky vhodné i pro elektrotechnický, automobilový, stavební či potravinářský průmysl.

6.2 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa pro mechanické zkoušky byla připravena pomocí technologie vstřikování na vstřikovací stroji Arburg Allrounder 470 H. Nastavení vstřikovacích parametrů ovlivňuje jakost výrobku a tak byly nastaveny podle doporučených hodnot výrobcem materiálu.



Obr. 6.1 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 H

Při každé změně vstřikovaných drtí, bylo nutno vyčistit násypku a vyprázdnit pracovní válec vstřikovacího stroje tak, aby bylo zabráněno smíchání různých typů recyklátu, což by mohlo vést ke zkreslení výsledků.

Tab. 6.1 Procesní podmínky vstřikování zkušebních těles

Vstřikovací parametry	Materiál	
	PA	PC
Teplota taveniny	260 °C	300 °C
Teplota formy	60 °C	100 °C
Vstřikovací rychlost	60 mm/s	
Vstřikovací rychlost / tlak	60 MPa	
Délka dotlaku	30 s	
Dotlak	35 MPa	
Doba cyklu	55 s	
Teploty pásem plastikační jednotky		
Teplota pod násypkou	40 °C	
Pásmo 1	240 °C	280 °C
Pásmo 2	245 °C	285 °C
Pásmo 3	250 °C	290 °C
Pásmo 4	255 °C	295 °C
Pásmo 5 (tryska)	260 °C	300 °C

6.2.1 Sušení

Oba testované materiály, polykarbonát i polyamid, jsou velmi navlhavé a proto je nutné je před zpracováním sušit. Pro sušení byla použita sušárna Thermolift 100–2 od firmy Arburg. Sušení je u těchto materiálů vyžadováno především z důvodu předejití případným vadám, které by vznikaly uvnitř i na povrchu výrobku. Sušárna je přímo spojena s násypkou vstřikovacího stroje. Tento způsob je vhodný k dlouhodobějšímu zpracování materiálu a zabránění znovu navlhnutí během přepravy materiálu mezi sušičkou a strojem.

Materiál PC byl sušen po dobu 3 hodin při teplotě 120 °C. Materiál PA byl sušen 5 hodin při teplotě 80 °C.



Obr. 6.2 Sušárna Thermolift

6.3 Recyklace

V první fázi byla připravena série vstříkovaných výrobků (zkušební tělesa). Tyto výrobky byly využity na další zpracování – recyklaci.

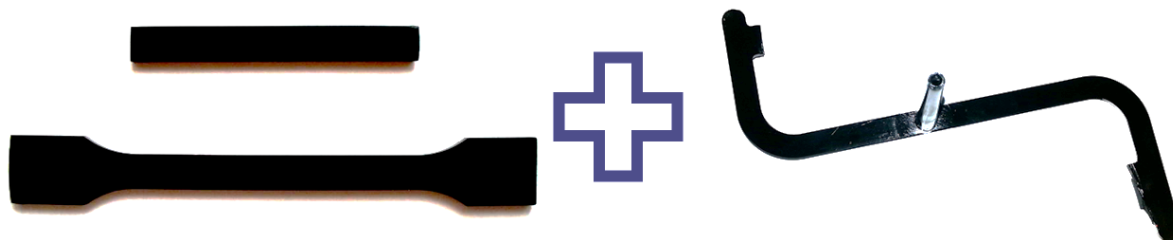
6.3.1 Drcení technologického odpadu

Příprava drtě probíhala na nožovém drtiči typu GK 2218 (*Obr. 6.3*) od výrobce Maskin AB Rapid. Průměr děr síta drtícího zařízení je 4 mm. Drcený materiál má po výstupu z drtiče různé velikosti částic, od větších až po velmi malé, prachové částice. Různá velikost částic může být příčinou problémů při dalším zpracování, např. špatné vyprazdňování násypky.



Obr. 6.3 Nožový drtič

Pro testování finálních vlastností byla připravena zkušební tělesa, která se používají pro mechanickou zkoušku vrubové houževnatosti a zkoušku tahem. Na *Obr. 6.4* lze pozorovat zkušební tělesa a studený vtokový systém, který zaujímá téměř polovinu (konkrétně 45 %) hmotnosti jedné vstříkované dávky.



Obr. 6.4 Zkušební tělesa se studeným vtokem

6.3.2 Příprava recyklátu

Průběh přípravy recyklátu probíhal tak, že se nejdříve připravily výrobky – zkušební tělesa z originálního granulátu dodaného výrobcem. Z nich byla část odebrána a byla brána jako referenční čistý polymer. Zbytek byl podrcen v nožovém drtiči a tím byla získána drť s různou velikostí částic.

Část podrceného materiálu byla použita přímo jako neprosetá drť bez další úpravy, část byla proseta. Další část získaných frakcí byla využita pro další zpracování – regranulaci. Následně z těchto drtí byly připraveny pomocí vstříkování zkušební tělesa. Získané vzorky jsou tedy označeny 1x, protože jsou jednou recyklovány.

Zbývající část byla podrcena a opět zpracována jako u první recyklace. Druhý průchod využití materiálu byl označen jako 2x a analogicky třetí 3x a čtvrtý 4x.

Tato vícenásobná recyklace byla provedena z důvodu popisu chování recyklovaného materiálu při opětovném zpracování. Tento způsob se často objevuje i praxi.

6.3.3 Prosévání

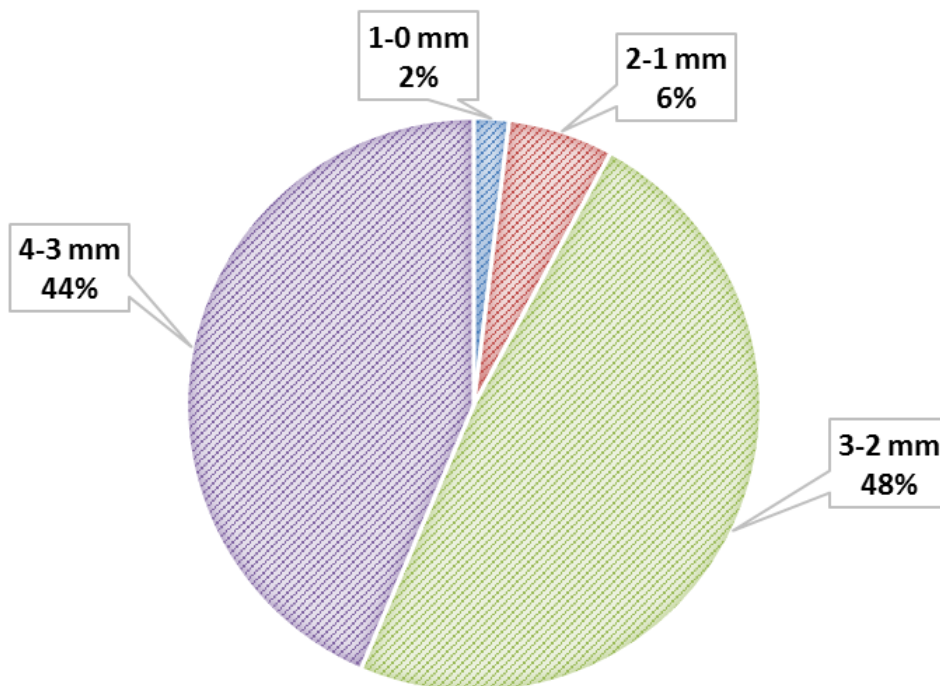
Aby bylo možné posoudit vliv velikosti částic na vlastnosti polymerní drtě, byla drť proseta. Soustava sít v prosévacím zařízení rozdělila neprosetou drť přímo z drtiče podle velikosti částic na frakce o rozměrech částic (*Tab. 6.2*) dle sít.

Prosévání bylo zhotoveno na laboratorní prosévačce Retsch AS 200 Basic (*Obr. 6.5*). Na prosévacím zařízení byly síta o velikosti děr 4 mm, 3 mm, 2 mm, 1 mm. Pod spodním sítem byla uložena miska. V misce byl zachycen

velmi jemný prach o velikosti menší než 1 mm. Prach zachycený v misce tvoří za běžných podmínek odpad, se kterým se hůře pracuje. Síto s velikostí děr 4 mm bylo vloženo nahoře jenom pro kontrolu, zda obsahuje drť větší částice než 4 mm.



Obr. 6.5 Prosévací zařízení a síto



Obr. 6.6 Hmotnostní poměr velikostí částic v drti

Největší podíl v drti měly částice velikosti 3 – 2 mm, zaujímaly téměř polovinu hmotnosti. Částice velikosti 4 – 3 mm podobné originálnímu materiálu měly zastoupení 44 %. Obsah prachových částic je pouze 2 % z celkové hmotnosti.



Obr. 6.7 Drť o velikosti 4-3 mm a prachové částice

6.3.4 Regranulace

Regranulace byla provedena pouze pro první 1 recyklaci. Byla realizována na laboratorním dvoušnekovém vytlačovací stroj Scientific – LabTech s průměrem šneků 26 mm a délce 48D. Teploty taveniny při vytlačování na vytlačovací hlavě byly stejné jako u vstřikování pro dané materiály, tedy 300 °C pro PC a 260 °C pro PA. Vytlačená drť ve formě strun byla ochlazena ve vodě s následnou regranulací pomocí nožové hlavy.

6.3.5 Skladba testovaných materiálů

Pro měření bylo připraveno různé složení testovaných drtí, které se lišily velikostí částic. Celkem bylo vytvořeno šest variant drtí pro oba materiály. Od původního polymeru, přes neprosetou drť až po částice podle jednotlivých velikostí. Drť je vždy ze 100 % recyklovaný materiál.

- Polymer původní – materiál přímo od výrobce, ve formě granulátu, je brán jako referenční. Granulát obou materiálů je ve tvaru kuliček – čoček o průměru 3 mm.
- Polymer 3 – 4 mm – tato drť je prosetá a má velikost částic od 4 mm až po 3 mm.
- Polymer 2 – 3 mm – tato drť je prosetá a má velikost částic od 3 mm až po 1 mm
- Polymer 1 – 2 mm – tato drť je prosetá a má velikost částic od 2 mm až po 0 mm
- Polymer 0 – 1 mm – tato drť je prosetá a má velikost částic do 1 mm, obsahuje velmi malé až prachové částice.
- Neprosetá drť – tato drť je odebrána přímo z drtiče, obsahuje částice všech velikostí, od velkých zrn až po prachové částice a je tedy nestejnorodá.

Tab. 6.2 Skladba testovaných materiálů

Skladba testovaných materiálů	Rozměry částice [mm]
Polymer původní	granule
Neprosetá drť	$0 < x < 4$
Polymer 0 – 1 mm	$0 < x < 1$
Polymer 1 – 2 mm	$1 < x < 2$
Polymer 2 – 3 mm	$2 < x < 3$
Polymer 3 – 4 mm	$3 < x < 4$

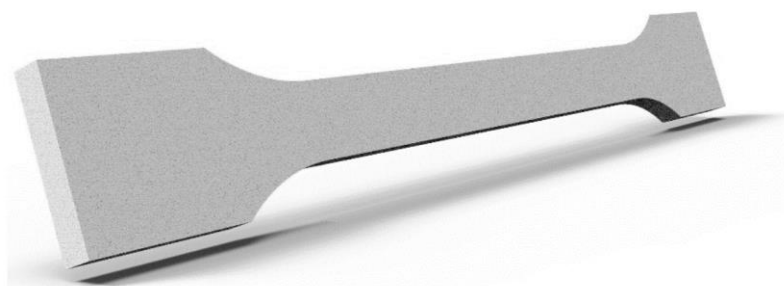
6.4 Provedené zkoušky

Práce se zaměřuje na charakteristiku mechanických a tokových vlastností všech připravených drtí. Pro hodnocení struktury a složení látek budou použity metody DSC a FTIR.

6.4.1 Zkouška tahem

Statická zkouška byla provedena na univerzálním zkušebním trhacím stroji Zwick 1456. Zkouška byla provedena podle normy ČSN EN ISO 527 – 1 [33] a 527 – 2 [34], rychlost příčnicku 50 mm/min. Každá naměřená hodnota byla získána z 10 měření, která byla následně statisticky vyhodnocena. Měření probíhalo za pokojové teploty 23 °C a v teplotní komoře při zvýšených teplotách 60 °C a 100 °C. Tyto zvýšené teploty byly vybrány z důvodu, že výrobky z těchto materiálů se hojně využívají i při zvýšených teplotách např. v automobilech v oblasti motoru či světel, kde se takto vysoké teploty mohou vyskytnout. Vyhodnocován byl modul pružnosti v tahu E , mez pevnosti v tahu σ_M (který já zároveň pro oba materiály také mezi kluzu) a poměrné prodloužení na mezi pevnosti ε_M .

Tvar a rozměry vystříknutých zkušebních těles pro tahovou zkoušku odpovídají příslušné normě ČSN EN ISO 527-2. [34]

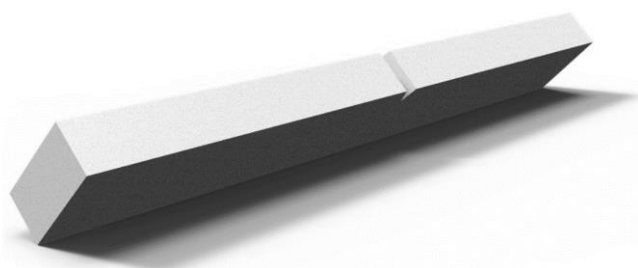


Obr. 6.8 Zkušební těleso pro tahovou zkoušku

6.4.2 Zkouška vrubové houževnatosti

Zkouška vrubové houževnatosti byla provedena na zkušebním přístroji Resil Impactor Junior dle normy ČSN EN ISO 179 – 1 [35] a 179 – 2 [36]. Před uskutečněním zkoušky bylo nutné na tělesech vytvořit normalizované vruby o hloubce 2 mm. Vyhodnocované veličiny byly maximální vrubová houževnatost A_M . Měření probíhalo za pokojové teploty 23 °C a za zvýšené teploty 60 a 100 °C.

Tvar a rozměry vystříknutých zkušebních těles pro rázovou zkoušku houževnatosti odpovídají příslušné normě ČSN EN ISO 179 – 1. [35]



Obr. 6.9 Zkušební těleso pro rázovou houževnatost

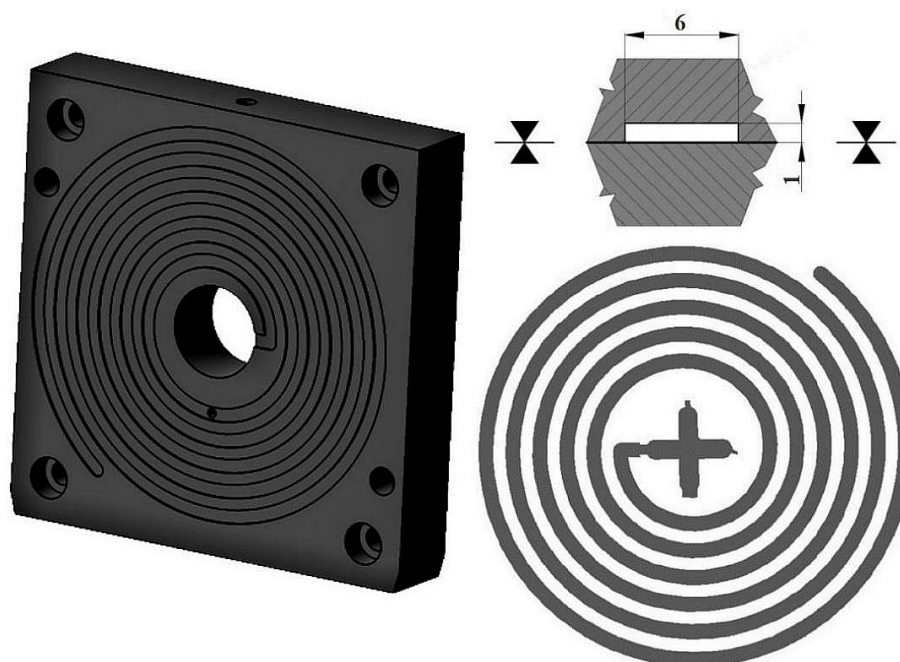
6.4.3 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti Shore D byla provedena na tvrdoměru od firmy Omag s označením ART 13. Zkouška proběhla podle normy ČSN EN ISO 868 [37]. Tvrdost byla měřena pouze za pokojové teplotě 23 °C na zkušebních tělesech pro rázovou houževnatost.

6.4.4 Zkouška zatékavosti

Zpracovatelská zkouška zatékavosti polymerní taveniny v dutině vstřikovací formy byla provedena na stroji Arburg Allrounder 470 H při podobných procesních podmínkách jako při vstřikování zkušebních těles. Dutina měla tvar Archimédovi spirály (*Obr. 6.10*). Využití zařízení a metoda byly vyvinuty na Ústavu výrobního inženýrství Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně [38].

Během vstřikování nedochází k úplnému zatečení taveniny. Po vyjmutí z formy se měří délka spirály. Tato čistě technologická zkouška umožňuje hodnotit tokové chování polymerní taveniny za podmínek, které jsou prakticky shodné s podmínkami při vlastním vstřikování.



Obr. 6.10 Spirálová dutina formy

Tab. 6.3 Procesní podmínky vstřikování zkoušky zatékavosti

Vstřikovací parametry	Materiál	
	PA	PC
Teplota taveniny	260 °C	300 °C
Teplota formy	60 °C	100 °C
Vstřikovací rychlost / tlak	60 mm.s ⁻¹ / 12 MPa	
Délka dotlaku / tlak	Bez dotlaku	
Doba cyklu	30 s	
Teploty pásem plastikační jednotky		
Teplota pod násypkou	40 °C	
Pásma 1	240 °C	280 °C
Pásma 2	245 °C	285 °C
Pásma 3	250 °C	290 °C
Pásma 4	255 °C	295 °C
Pásma 5 (tryska)	260 °C	300 °C

6.4.5 Zkouška indexu toku taveniny

Zkouška indexu toku taveniny (ITT) byla uskutečněna na zařízení Dynisco Kayeness LMI 4003. Měření probíhalo dle normy ISO 1133–1 [39]. Podstatou této zkoušky je vytlačování taveniny polymeru tryskou zkušebního plastometru při daných podmínkách. Pro materiál PA6 byla teplota 260 °C a pro materiál 300 °C. Pro oba materiály bylo použito závaží 1,2 kg.



Obr. 6.11 Výtlačný plastometr

6.4.6 Diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC)

Měřením se zjišťuje vliv recyklace na stupeň krystalinity a teplotu krystalizace semikrystalického materiálu a teplotu skelného přechodu u amorfního materiálu. Měření probíhalo na měřicím zařízení DSC 1 od společnosti Mettler Toledo dle normy ISO 11357 [40].

Vzorky se umístily do hliníkových pánviček, do kterých se zalisovaly pomocí lisu. Měření probíhalo v inertní dusíkové atmosféře. Teplotním rozsahu byl (25 – 260) °C pro PA 6 a (50 – 300) °C pro PC s rychlostí ohřevu i chlazení 10 °C/min.

Průběh měření probíhal tak, že první ohřev – vzorek byl vyhřát na konečnou teplotu. První ohřev sloužil k smazání tepelné historie testovaného vzorku. Následovalo chlazení vzorku zpět na počáteční teplotu. Výsledky byly získány z ochlazování zkušebních vzorků, které lépe popíší chování při chlazení probíhajícího u vstřikování.



Obr. 6.12 DSC 1 Mettler Toledo

6.4.7 Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR)

Měření bylo prováděno na přístroji Nicolet Avatar 320 FT-IR s metodou měření ATR 32 (technika zeslabené totální reflektance) s nominálním rozlišením 2 cm^{-1} a počtem skenů 32 v rozsahu $(4000 - 600)\text{ cm}^{-1}$. Použitý krystal při měření byl ze ZnSe.



Obr. 6.13 Avatar 320

6.5 Statistické vyhodnocení

Při měřeních byly vyhodnocovány tyto veličiny.

Aritmetický průměr \bar{x}

Udává odhad střední hodnoty statistického výběrového souboru dat. Je typickým reprezentantem jako pomyslný střed.

Směrodatná odchylka s

Odhad směrodatné odchylky náhodné proměnné je kladně vzatá druhá mocnina z rozptylu. Lze chápat jako průměrnou odchylku hodnot znaku od střední hodnoty.

Medián M

Je hodnota středního prvku statistického souboru, uspořádaného podle velikosti. Odděluje polovinu hodnot menších od poloviny hodnot větších a je taky nazýván 50% kvantil výběrového statistického souboru dat.

Min/Max

Udává nejvyšší/nejnižší naměřenou hodnotu ve statistickém souboru dat.

Variační koeficient V

Variační koeficient je definovaný jako poměr směrodatné odchylky a absolutní hodnoty ze střední hodnoty. Udává se v procentech pro bezrozměrné vyjádření. [41, 42, 43, 44, 45]

6.5.1 Způsob vyhodnocení dat

Získaná data byla zpracována a zkontrolována v programu Minitab. Vyhodnocení a zobrazení výsledků bylo provedeno v programu Excel. Tato data byla kontrolována pomocí několika metod. Počáteční kontrola byla provedena pomocí bodového grafu za účelem vizualizace.

Další ověření dat proběhlo pomocí boxplotového grafu, který slouží ke znázornění podezřelých hodnot souboru a rozdělení na kvartily. Při měření pomáhá k běžné interpretaci jednotlivých naměřených dat a zobrazení kvartilů (prvního 25%, druhého 50% a třetího kvartilu 75%), podle kterých jde určit šikmost naměřených dat. To umožňuje rychlé a přehledné porovnávání analyzovaných vlastností. Dovoluje zobrazit několik statistických veličin. Těchto grafů bylo využíváno už v průběhu měření pro zjištění případných vychýlených hodnot. Za vychýlenou nebo odlehlou hodnotu je považována taková hodnota, která nesplňuje podmínku 1,5 násobku velikosti interkvartilového rozptylu ve směru minimální nebo maximální hodnoty.

Další kontrola byla provedena pomocí časových řad, zda v průběhu měření nedocházelo k posunu hodnot jedním směrem, tzv. trendů stoupajících či klesajících.

Dále byla data zkontrolována pomocí Andersonův–Darlingového testu, zda data pochází z normálního rozdělení.

A nakonec byla použito testování hypotéz, konkrétně dvouparametrálního t–testu naměřených dat, které určilo statistickou významnost naměřených dat.

Testování shody rozptylů

F–test byl použit pro testování rozdílu dvou rozptylů. Testem se rozhoduje, zda testované rozptyly pochází ze stejného základního souboru, respektive zda rozdíly naměřených dat jsou způsobeny pouze chybou náhodnou.

V F–testu se testuje:

- nulová hypotéza $H_0: \sigma_{\text{polymer čistý}}^2 = \sigma_{\text{ostatní recyklované materiály}}^2$
- proti alternativní $H_A: \sigma_{\text{polymer čistý}}^2 \neq \sigma_{\text{ostatní recyklované materiály}}^2$
- při hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Prokázáním nebo zamítnutím shodnosti rozptylů pomocí F–testu, má vliv na správnou volbu parametru testu k prokázání shody středních hodnot. Studentův t–test umožňuje testování hypotéz pro shodné i rozdílné rozptyly s různou hodnotou testovacího kritéria.

Testování statistické významnosti středních hodnot dvou souborů „testy shodnosti“

Data byla testována, zda je mezi nimi statistický rozdíl středních hodnot naměřených dat nebo např. pocházejí ze stejného základního souboru. Pro tyto účely byli použity statistické hypotézy, konkrétně nulová hypotéza H_0 a alternativní hypotéza H_A . Dalším kritériem pro testování je hladiny významnosti α . Je to interval ve kterém s vysokou předem zvolenou pravděpodobností leží hodnota hledaného parametru. Tento test patří mezi parametrické.

Studentův oboustranný t–test umožňuje testování hypotézy H_0 , proti alternativní H_A . Vykazují-li oba základní soubory rovnost rozptylů $\sigma_x^2 = \sigma_y^2$ (dokázáno F–testem) a normální rozdělení, použije se klasický Studentův t–test pro shodné rozptyly.

Není-li však F–testem dokázána rovnost rozptylů a platí, že $\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$ a je splněno, že oba soubory pochází z normálního rozdělení. Je použit klasický Studentův t–test pro různé rozptyly.

Následným bodem testování je výsledek:

- zamítnutí hypotézy H_0 a přijetí H_A , jestliže vypočtená hodnota padne do kritického oboru,
- nebo nezamítnutí hypotézu H_0 , jestliže vypočtená hodnota nepadne do kritického oboru.

Studentův t-test byl využit pro test středních hodnot. Provádí se na náhodném výběru n prvků ze základního souboru s normálním rozdělením N . Z takto provedeného výběru se vypočte odhad aritmetického průměru a směrodatná odchylka.

Parametry testování jsou v tomto případě voleny následovně:

$$H_0: \mu_{\text{polymer čistý}} = \mu_{\text{ostatní recyklované materiály}}$$

$$H_A: \mu_{\text{polymer čistý}} \neq \mu_{\text{ostatní recyklované materiály}}$$

při hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Výsledkem je závěr, zda je H_0 nezamítnuta nebo zamítnuta. $100(1-\alpha)$ % interval spolehlivosti lze stanovit pomocí výpočtu intervalového odhadu parametru μ . Padne-li kontrolovaná hodnota μ_0 do tohoto intervalu, nezamítneme $H_0: \mu = \mu_0$, padne-li mimo tento rozsah, zamítne se hypotéza nulová ve prospěch alternativní. Hodnota testovacího kritéria je 0,05 je-li p-hodnota menší než toto testovací kritérium nulová hypotéza se zamítá ve prospěch alternativní. [46, 47]

7 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

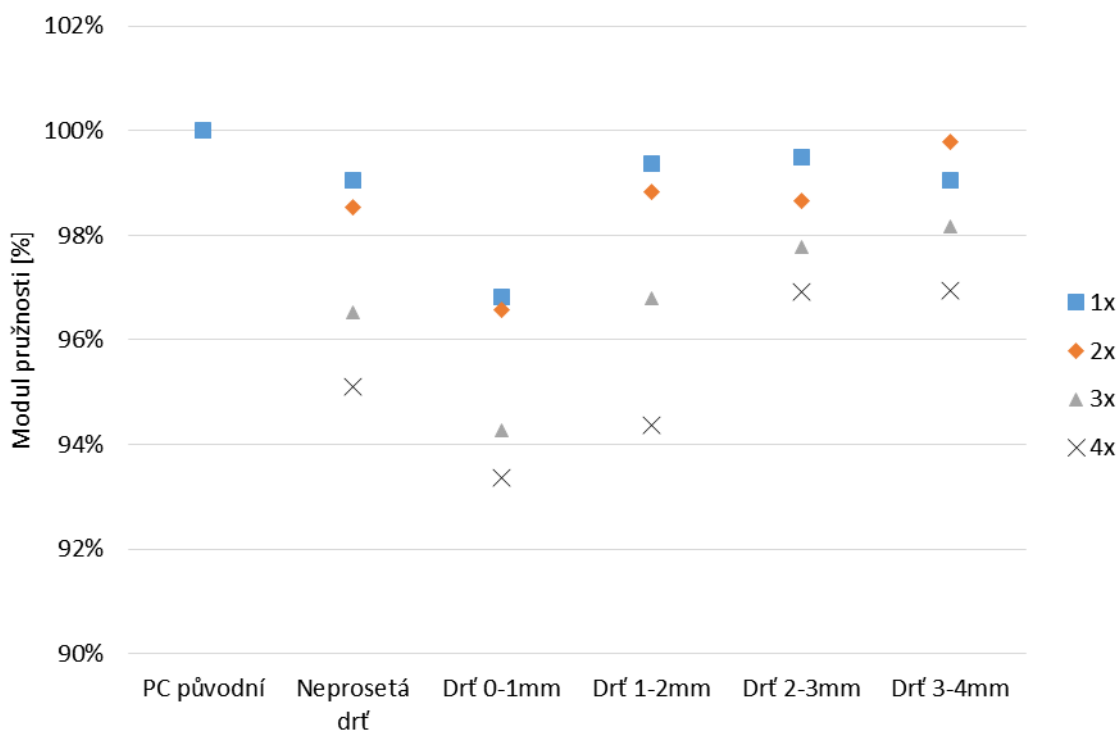
Téměř všechny následující grafy jsou srovnávací – poměrové. Jako hlavní referenční materiál je zvolen původní polymer. Ostatní hodnoty jsou procentuálně přepočítány. V grafech jsou uvedeny pouze základní informace. Dále je uvedena tabulka statistické významnosti naměřených dat pro porovnání původního referenčního polymeru s ostatními recyklovanými drtěmi. Ostatní data jsou v přílohách.

V experimentální část disertační práce byla největší pozornost zaměřena na mechanické vlastnosti připravených recyklovaných materiálů. Tyto vlastnosti se řadí mezi nejdůležitější vlastnosti pro popis chování jednotlivých materiálů.

7.1 Výsledky měření materiálu PC

7.1.1 Modul pružnosti v tahu PC při 23 °C

Na *Obr. 7.1* je porovnání změn hodnot modulu pružnosti. Referenční čistý materiál má průměrnou hodnotu modulu pružnosti 2395 MPa.



Obr. 7.1 Modul pružnosti v tahu PC při 23 °C

Již při první recyklaci došlo ke snížení modulu pružnosti. Toto snížení lze pozorovat nejvíce u prachových částic. U ostatních drtí byl pokles hodnoty modulu pouze do jednoho procenta od původního nerecyklovaného materiálu.

Druhá recyklace způsobila pouze malé snížení modulu téměř u všech drtí, přibližně o další jedno procento. Pouze u drtí 3 – 4 mm nedošlo ke snížení modulu pružnosti, ale naopak k mírnému navýšení.

U třetí recyklace došlo k většímu poklesu hodnot u všech drtí. Největší propad je u drtí 0 až 2 mm, kdy pokles je o další dvě procenta.

A poslední čtvrtá recyklace způsobila propad modulu pružnosti až o téměř sedm procent vůči původnímu materiálu u prachových částic, následované drtí 1 – 2 mm. Tyto drtě částečně ovlivňují neprosetou drť, která je obsahuje, a snižují tedy její modul pružnosti. U všech recyklovaných drtí velkých částic 2 až 4 mm došlo k podobným výsledkům.

Tab. 7.1 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 23 °C

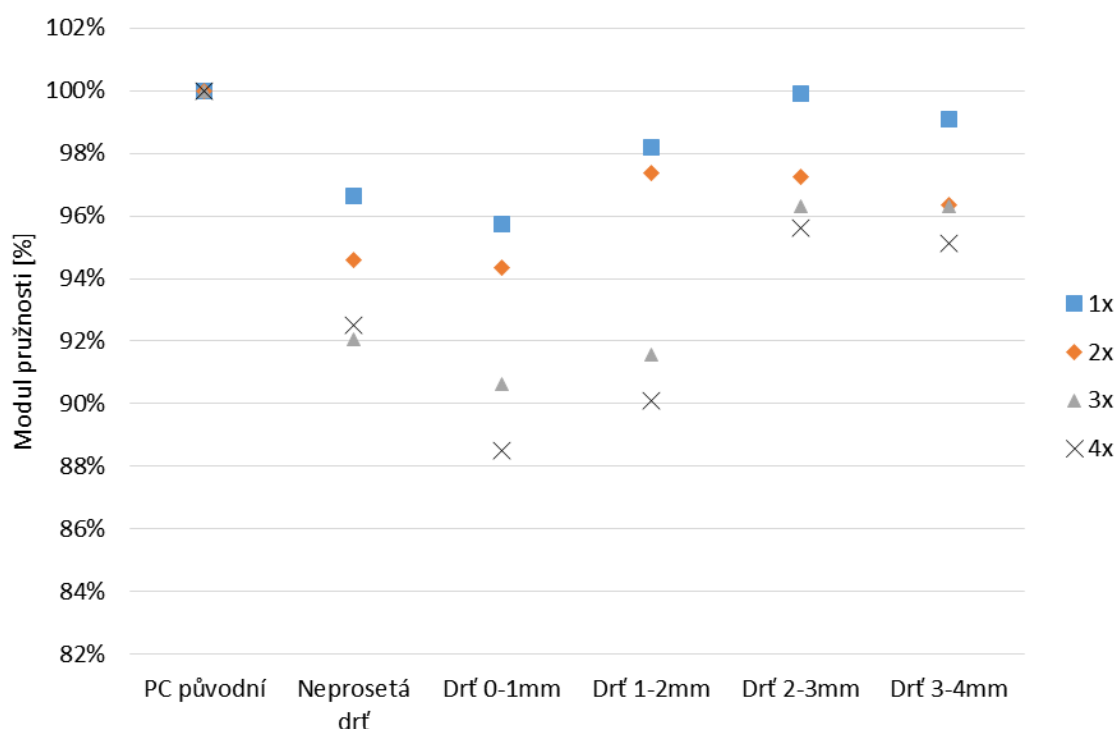
Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat modulů pružnosti při 100 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Vliv recyklace je statisticky významný až pro drť z prachových částic pro třetí i čtvrtou recyklaci, dále pak pro neprosetou drť a drť 1 – 2 mm. Z toho vyplývá, že recyklace u drtí s většími částicemi při čtvrté recyklaci nezpůsobila velkou změnu vlastností.

7.1.2 Modul pružnosti v tahu PC při 60 °C

Další měření modulu pružnosti bylo provedeno při zvýšené teplotě 60 °C. (Obr. 7.2) Referenční čistý materiál má průměrnou hodnotu modulu pružnosti 2138 MPa.

Při zvýšené teplotě se projeví větší rozdíly mezi jednotlivými drtěmi. U drtí 2 až 4 mm poklesly hodnoty modulu o necelé jedno procento po první recyklaci v porovnání s původním polykarbonátem. Hodnota modulu drtě 1 – 2 mm již poklesla více. Nejvíce poklesla hodnota u prachových částic a to o téměř 5 %. Tyto částice obsažené v neproseté drti značně snižovaly hodnotu modulu u této drtě.



Obr. 7.2 Modul pružnosti v tahu PC při 60 °C

Druhá recyklace způsobila už větší degradaci a tím i pokles hodnot modulů. U zkušebních vzorků poklesl modul nejméně u drtí s velikostí částic 1 až 3 mm, které mají podobné hodnoty. Největší propad měla drť 3 – 4 mm, který byl až o 3 % vůči předešlé první recyklaci. Nejnížší hodnoty po druhé recyklaci měla neproseté drť s prachovými částicemi téměř o 6 % vůči původnímu materiálu.

Třetí recyklace nezpůsobila žádnou téměř žádný pokles modulu pro drť 3 – 4 mm vůči předešlé druhé recyklaci. Dále tato drť má podobné hodnoty jako drť 2 – 3 mm. K velkému poklesu hodnot došlo u drtě 1 – 2 mm a to téměř o 6 % vůči předchozí recyklaci. Nejnížší hodnotu měla drť s prachem téměř o 10 % vůči referenčnímu materiálu.

U čtvrté recyklace došlo pouze k dalšímu malému snižování hodnot modulu u téměř všech drtí, přibližně o další 1 až 2 %. Pouze u neproseté drtě došlo k opačnému jevu a to takovému, že je vyšší hodnota než u předešlé recyklaci. Celkově nejnížší modul měly zkušební vzorky z drtě z prachových částic a to přes 11% vůči původnímu materiálu.

Tab. 7.2 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 60 °C

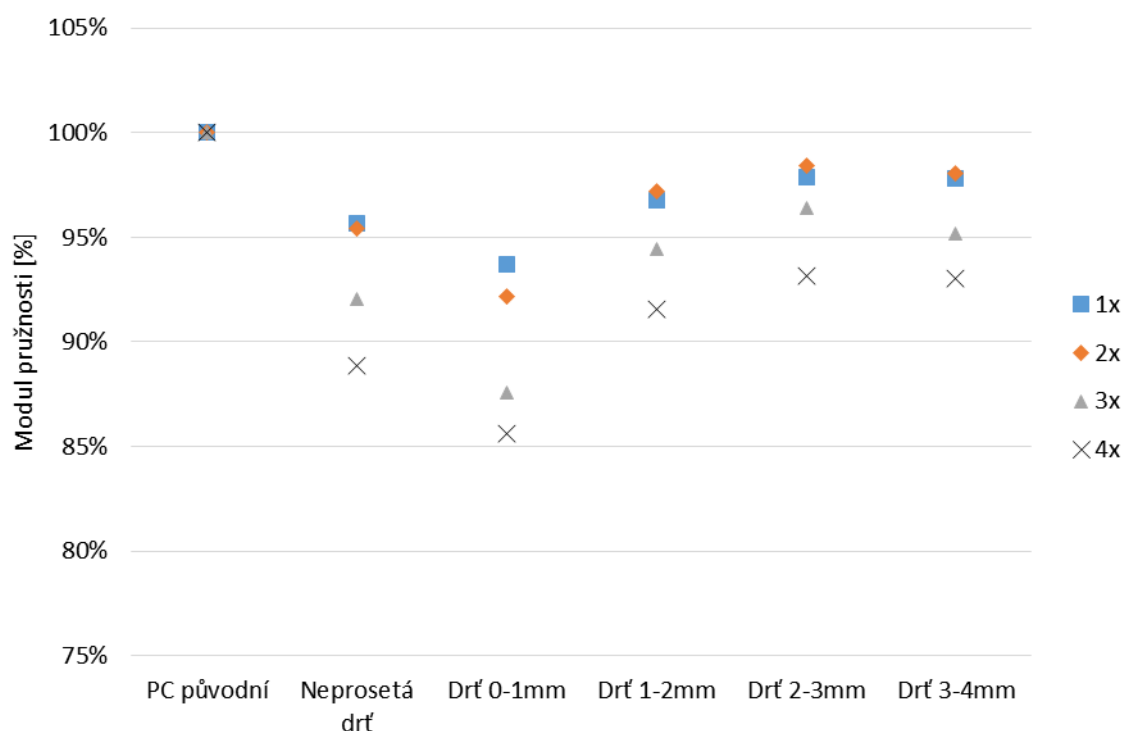
Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Rovněž statistická významnost rozdílu naměřených dat modulů pružnosti při 60 °C byla podrobená testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byl porovnáván recyklovaný materiál s původním polymerem. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ zamítá hypotézu H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Vliv recyklace je statisticky významný již pro drtě 0 až 2 mm při třetí i čtvrté recyklaci neproseté drtě.

7.1.3 Modul pružnosti PC při 100°C

Na *Obr. 7.3* lze vidět, že nejvyšší hodnota modulu byla naměřena u zkušební vzorku čistého materiálu, který má hodnotu 1916 MPa.

O téměř dvě procenta nižší hodnota modulu byla naměřena u zkušebních vzorků s velikostí částic 2 až 4 mm. Následovaný dalším menším snížením modulu u drtě 1 – 2 mm. Neprosetá drť poklesla přes 4 %. Nejnižší modul vykazovala drť s prachovými částicemi a to přes 6 % vůči originálu po první recyklaci.



Obr. 7.3 Modul pružnosti v tahu PC při 100 °C

U druhé recyklace došlo k vylepšení modulu pružnosti u drtí neobsahující s prachové částice. Toto zvýšení je pouze velmi mírné, nepřevyšující půl procenta vůči předešlému zpracování materiálu.

Po dalším zpracování materiálu došlo k výraznějšímu poklesu sledované vlastnosti u všech drtí. K největšímu propadu modulu došlo u prachových částic, a to až na hodnotu o 12 % nižší než u originálního materiálu.

Poslední recyklace způsobila další větší propad hodnot modulu i pro drtě s většími částicemi. Nejvyšší rozdíl hodnot modulu vůči původnímu polykarbonátu došlo u drtě s prachovými částicemi a to téměř o 15 %.

Tab. 7.3 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 100 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat modulů pružnosti při 100 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Recyklace měla vliv až u třetího opětovného zpracování u neproseté drtě a drtě z prachových částic je statisticky významný rozdíl naměřených hodnot. Při čtvrté recyklaci došlo pro všechny drtě k statisticky významnému rozdílu naměřených středních hodnot. Při této vyšší teplotě se pokles modulu vlivem degradace projevil více, na rozdíl od hodnot při nižší teplotě 23 °C.

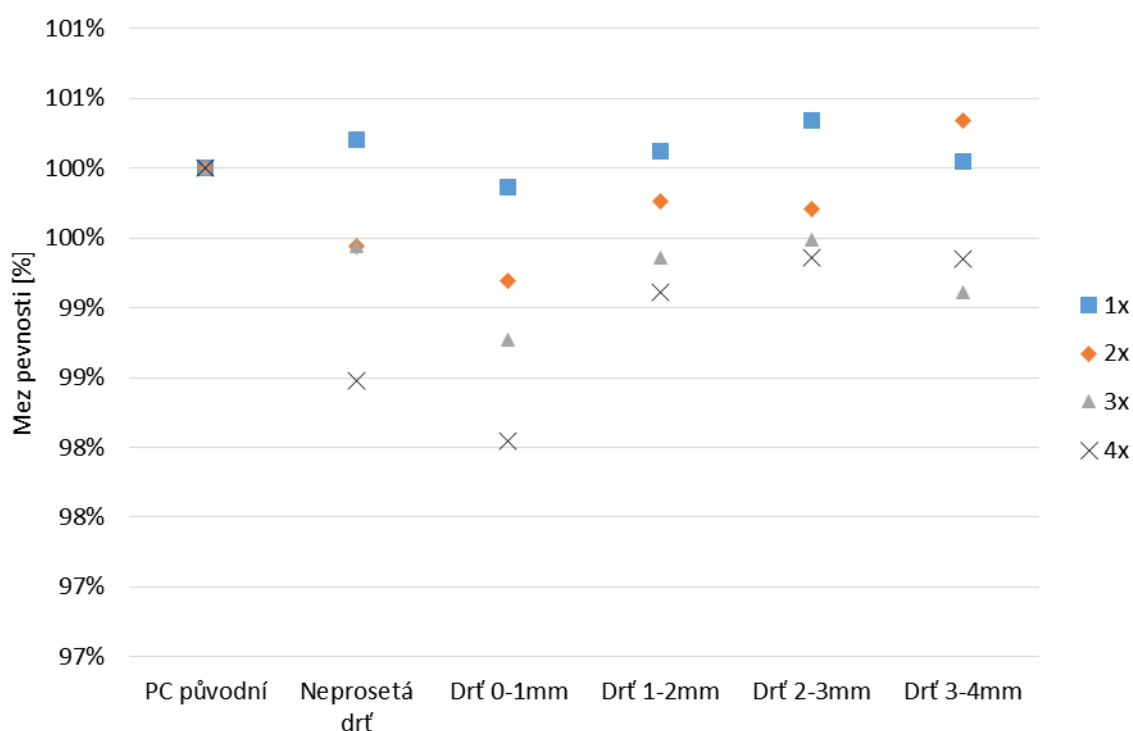
7.1.4 Mez pevnosti PC při 23 °C

Referenční materiál má průměrnou hodnotu meze pevnosti (maximální pevnosti) v tahu 64,4 MPa. Z naměřených hodnot vyplývá, že způsob přípravy charakterizovaný rozměry částic připravené drtě, příliš neovlivňuje maximální pevnost testovaného materiálu při teplotě 23 °C. Z hlediska výsledných hodnot maximálního napětí v tahu se neprojevují tak velké rozdíly mezi drtěmi různých velikostí vůči čistému polykarbonátu, jako u modulu pružnosti. Všechny drtě obsahující velké částice se chovají podobně. U drtě s nejmenšími prachovými částicemi lze vidět mírný pokles. I zde je patrná větší směrodatná odchylka u drtí s prachovými částicemi.

První recyklace nezpůsobila praktický žádný rozdíl mezi jednotlivými hodnotami pevnosti. Dokonce došlo k malému zvýšení pevnosti téměř u všech drtí, kromě prachových částic. Ale toto zvýšení je jenom v řádu několika desetin procenta.

Po dalším zpracování už došlo skoro u všech drtí ke snížení meze pevnosti. Jenom drť 3 – 4 mm překonala svoji předešlou hodnotu. Při třetí recyklaci nedošlo jenom u neproseté drtě ke snížení pevnosti. Po posledním zpracováním

k největšímu snížení vlastností došlo u drtě s prachovými částicemi a to konkrétně o dvě procenta vůči originálnímu polykarbonátu.



Obr. 7.4 Mez pevnosti PC při 23 °C

Tab. 7.4 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 23 °C

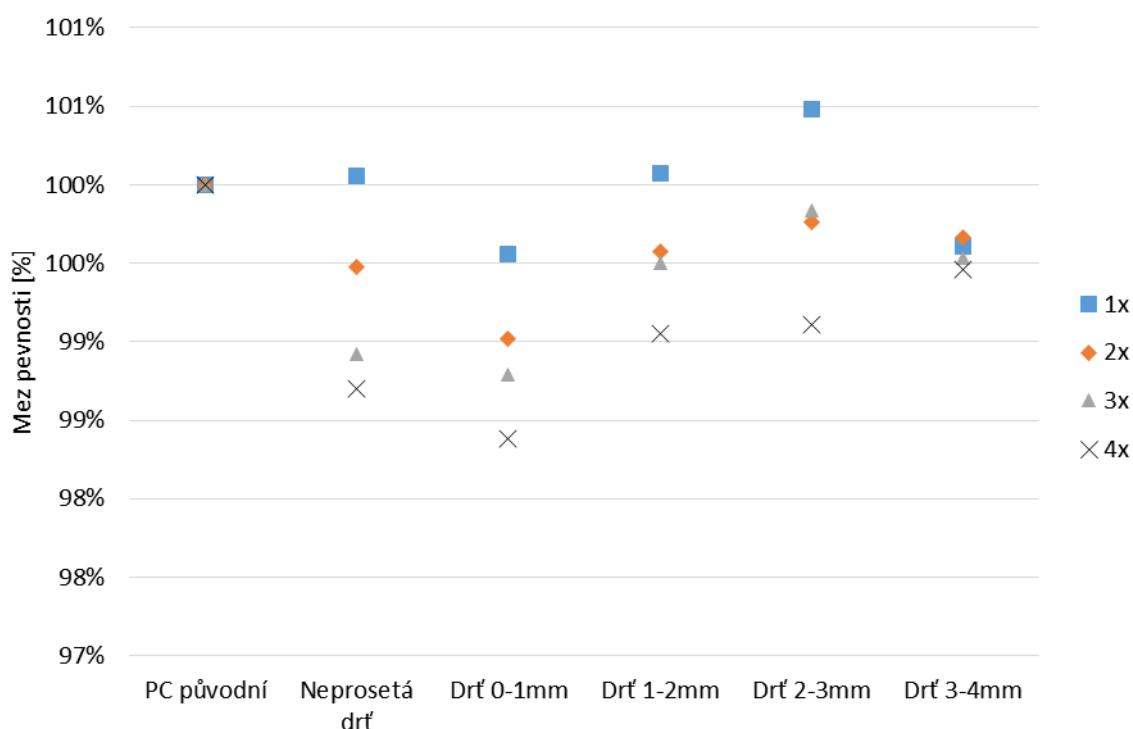
Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat meze pevnosti při 23 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Vliv recyklace způsobil, že statisticky významný rozdíl lze vysledovat už při druhé recyklaci pro neprosetou drť a drť z prachových částic. Při třetí i čtvrté recyklaci se k těmto dvěma drtím připojila i drť 1 – 2 mm.

I když se může zdát, že rozdíly pevností jsou velmi malé, a to do dvou procent, tak rozptyl naměřených dat je příliš malý. A i tak malý rozdíl může způsobit statisticky významný rozdíl mezi naměřenými daty.

7.1.5 Mez pevnosti PC při 60 °C

Z Obr. 7.5 je patrné, že ani při zvýšené teplotě nemá čistý referenční materiál nejvyšší hodnotu meze pevnosti, která je 53,8 MPa. Jako v předešlém případě při 23 °C došlo k podobnému efektu, že většina drtí má mírně větší hodnotu než původní materiál.



Obr. 7.5 Mez pevnosti PC při 60 °C

Ale již při druhé recyklaci došlo u všech drtí ke snížení pevnosti vůči originálu. Toto snížení je již znatelnější u prachových částic, kde došlo k poklesu o jedno procento. Neprosetá drť má stejné hodnoty jako ostatní drtě s většími částicemi.

Třetí recyklace způsobila větší propad hodnot u neproseté drtě, podobně jako u prachových částí. Částice větší než 1 mm se chovaly podobně jako u předešlého zpracování a tedy nedošlo ke snížení pevnosti. Poslední čtvrtá recyklace snížila rozdíly pevností mezi drtěmi.

Při celkovém pohledu na mez pevnosti došlo k velmi malému vlivu recyklace u všech drtí. Hodnoty nejnížší a nejvyšší meze pevnosti se liší pouze do dvou procent. Drť 3 – 4 mm se chovala ve všech případech recyklace nejvíce stabilně a došlo k nejmenšímu rozptylu hodnotu pevnosti. Tento rozdíl je pouze do desetiny MPa.

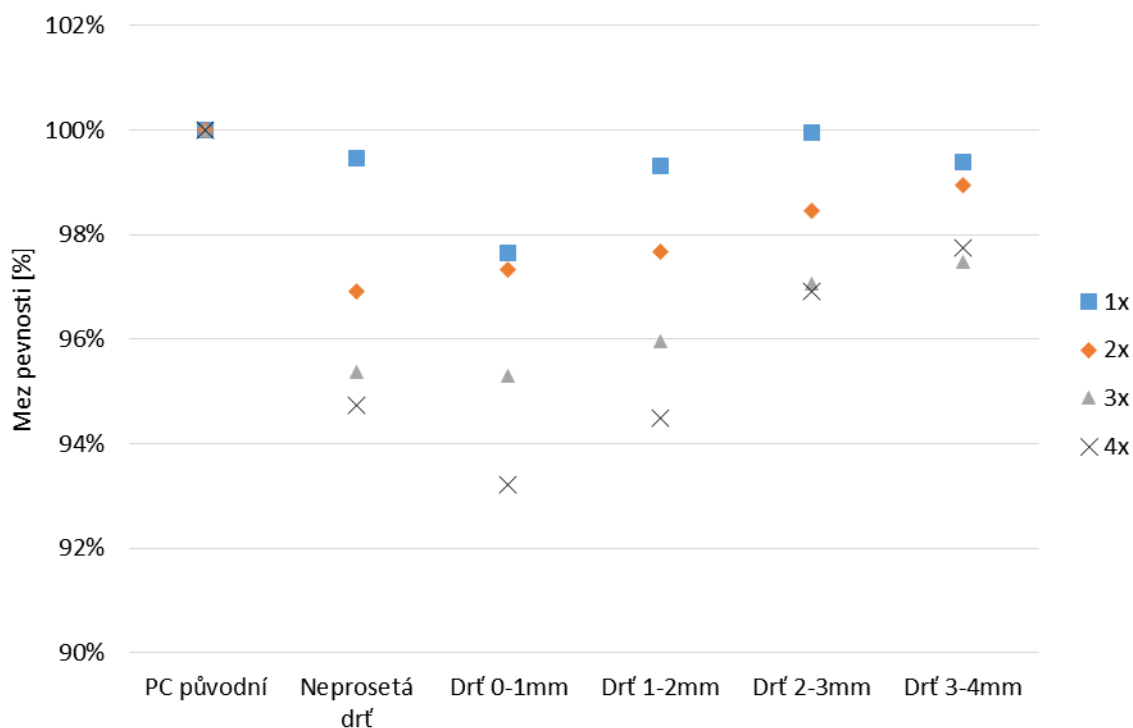
Tab. 7.5 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 60 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat meze pevnosti při 60 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Vliv recyklace je statisticky významný až od třetí recyklace pro neprosetou drť a drtě 0 až 2 mm.

7.1.6 Mez pevnosti PC při 100 °C

Na Obr. 7.6 lze vidět, že nejvyšší mez pevnosti již měla zkušební tělesa z referenčního materiálu s hodnotou 44,8 MPa pro teplotu 100 °C. Až při této zvýšené teplotě se projevil vliv degradace na mez pevnosti pro první recyklaci. Drť 2 – 3 mm má stále stejnou hodnotu pevnosti referenčnímu materiálu. Pevnost prachových částic se propadá o až 2,4 % po první recyklaci. Na ostatní drtě měl vliv recyklace pouze do 0,7 % vůči původnímu materiálu.



Obr. 7.6 Mez pevnosti PC při 100 °C

Druhá recyklace způsobila další propad hodnot meze pevnosti. Nejvíce je to pozorovatelné pro neprosetou drť, která měla i nejnižší hodnotu pro toto znovuzpracování. Naopak u prachových částic došlo k nejnižšímu poklesu hodnot po dalším zpracování, pouze o 0,3 %. Tyto částice tedy neměly vliv na neprosetou drť. Při dalším zvyšování velikostí částic došlo k postupnému zvětšování meze pevnosti.

Předposlední zpracování mělo podobný pokles hodnot meze pevnosti pro všechny drtě, který byl kolem 1,5 % vůči druhé recyklaci.

Poslední zpracování způsobilo největší propad pevnosti u prachových částic, které je horší téměř o 7 % vůči originálnímu materiálu. Neprosetá drť a drť 1 – 2 mm následuje podobný pokles, který je přes 4 %. Drť 2 – 3 mm má téměř stejnou hodnotu pevnosti jako při předešlém zpracování. Ale u drtě 3 – 4 mm nedošlo k další degradaci pevnosti, naopak ta je vyšší o 0,3 %.

Tab. 7.6 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 100 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

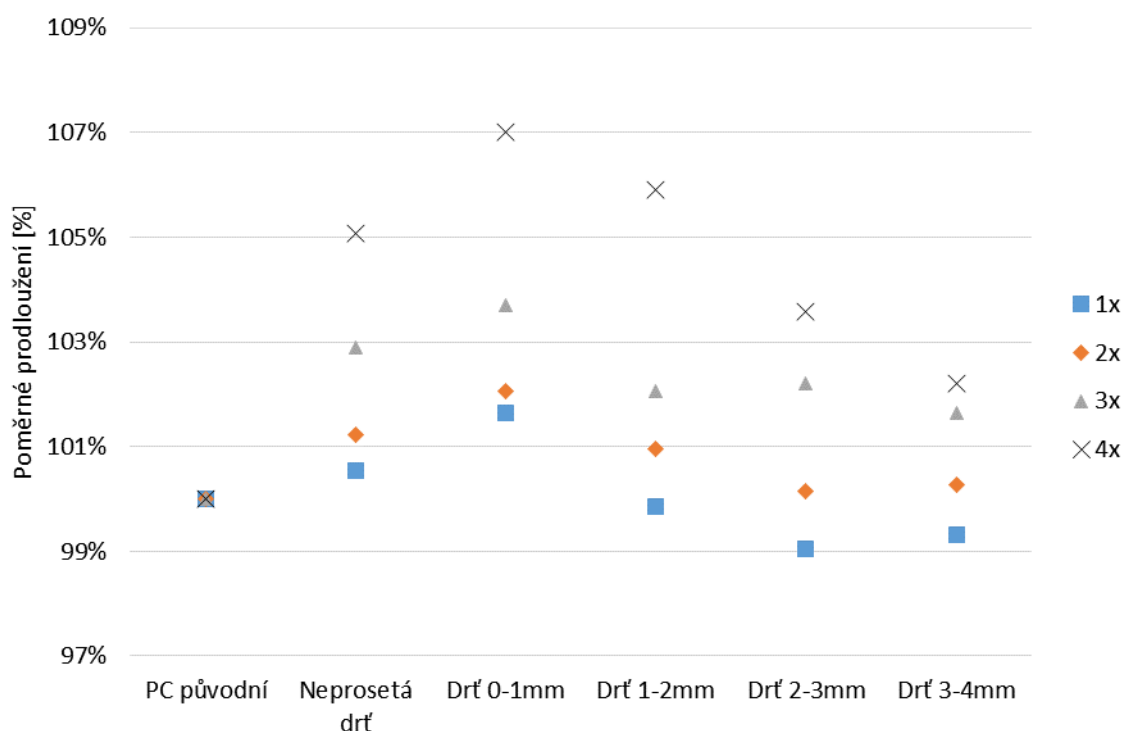
Statistická významnost rozdílu naměřených dat meze pevnosti při 100 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Recyklace měla statisticky významný vliv již při první recyklaci pro drť z prachových částic. Od druhé recyklace již všechny drtě mají statisticky významný rozdíl (kromě drtě 3 – 4 mm při druhé recyklaci).

7.1.7 Poměrné prodloužení PC při 23 °C

Na Obr. 7.7 je porovnání poměrného prodloužení při pokojové teplotě. Referenční čistý materiál má průměrnou hodnotu poměrného prodloužení 7,3 %. Po první recyklaci dosáhly drtě s většími částicemi jak 1 mm menší deformace při tahové zkoušce než původní materiál, kdy drť 2 – 3 mm má prodloužení kratší o 1 %. Neprosetá drť a drť 0 – 1 mm mají již po prvním znovu zpracování větší protažení.

Druhá recyklace způsobila již u všech drtí větší protažení než původní materiál. Pro drtě 2 až 4 mm jsou hodnoty protažení velmi malé, rozdíly hodnot u těchto drtí jsou bezvýznamné, do tří desetin procenta. Neprosetá drť a drť

1 – 2 mm mají při této recyklaci podobnou deformaci. K největší deformaci došlo u těles z prachových částic, které se prodloužily o 2 %.



Obr. 7.7 Poměrné prodloužení PC při 23 °C

Při třetí recyklaci došlo k menšímu srovnání hodnot pro drtě 1 až 4 mm, které se protahují kolem 2 % vůči původnímu materiálu. Prachové částice, které se protahují skoro o 4 %, mají vliv i neprosetou drť, která ji obsahuje.

Při poslední recyklaci došlo k nejpatrnějšímu rozestupu mezi jednotlivými drtlemi. Nejvyšší prodloužení má prachová drť, která se protáhla až o 7 % vůči originálnímu materiálu. S postupným zvětšováním částic se zmenšuje o protažení. Následuje drť 1 – 2 mm s protažením skoro 6 %. Neprosetá drť se nakonec protáhla o 4 %. Nejméně se deformovala drť 3 – 4 mm a to pouze o 2 %. Tato drť se celkově během celého procesu recyklace chovala jako nejméně ovlivněna samotným znovuzpracováním.

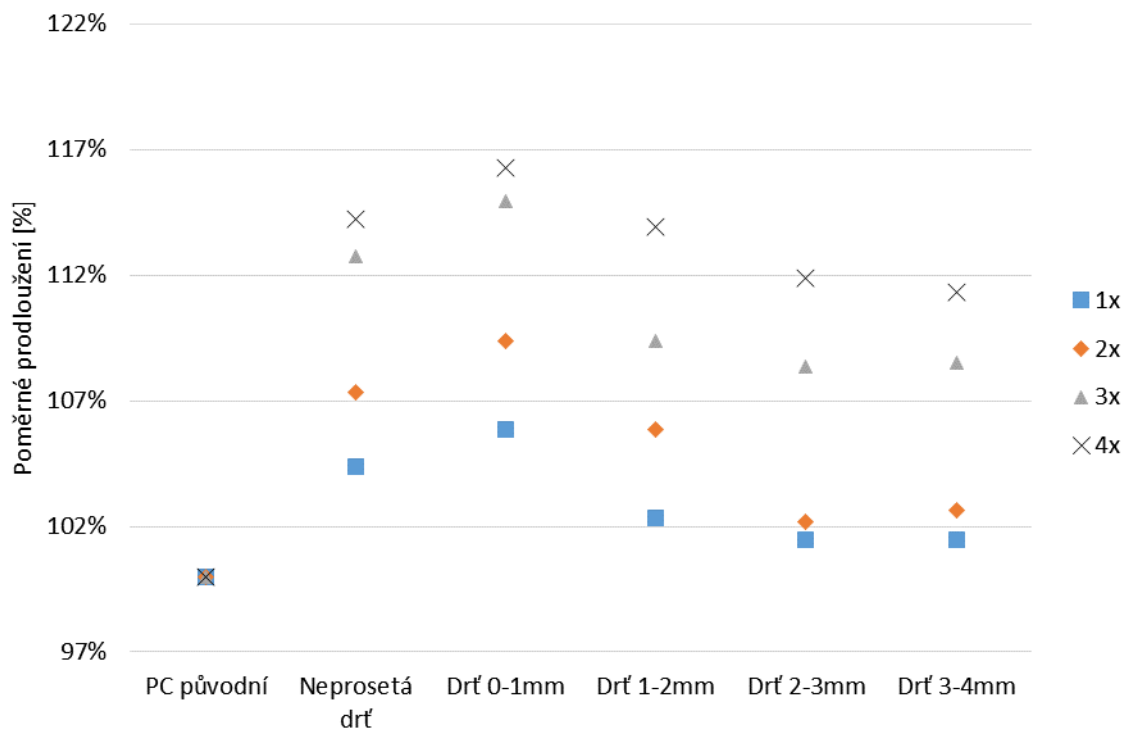
Tab. 7.7 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 23 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat poměrného prodloužení při 23 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Naměřené data mají statisticky významný rozdíl až u třetího opětovného zpracování u neproseté drtě a drtě z prachových částic. Při čtvrté recyklaci nedošlo pouze u drtě 3 – 4 mm k statisticky významnému rozdílu naměřených dat.

7.1.8 Poměrné prodloužení PC při 60 °C

Referenční materiál má průměrnou hodnotu poměrného prodloužení 6,8 %, které lze pozorovat na *Obr. 7.8* při teplotě 60 °C. Již při prvním zpracování se projevil vliv recyklace na zhoršení vlastností a tedy větším protahováním než původní materiál při této zvýšené teplotě. Tělesa vyrobená z drtě s velikostí částic 2 až 4 mm se protáhla jen o 1,5 %, následované drtí 1 – 2 mm. Neprosetá drť se již prodloužila o více jak 4 % a drť z prachových částic se prodloužila téměř o 6 % více.



Obr. 7.8 Poměrné prodloužení PC při 60 °C

Při druhém zpracování se drtě o velikostech částic 2 až 4 mm protáhly jenom o další jedno procento. Ostatní drtě se protáhly o další 3 % při tomto dalším zpracování. Tělesa z prachových částic je již protáhla přes 9 % vůči referenčnímu materiálu.

Po třetím zpracování lze pozorovat větší protažení u všech drtí. Drtě 2 – 3 a 3 – 4 mm se protáhly až o 8 % vůči původnímu materiálu a srovnaly se s drtí 1 – 2 mm. Neprosetá drť se protáhla o téměř 13 %. Drť z prachových částic se protáhly o dalších více jak 5 % vůči předešlému zpracování.

Poslední čtvrté zpracování přineslo další protažení na konečných 16 % u drtě z prachových částic. Neprosetá drť a drť 1 – 2 mm se protáhly téměř stejně o 14 % vzhledem k originálnímu materiálu. Drtě 2 až 4 mm se protáhly o další 3 % na konečných 11 % a opět zde došlo k nejmenšímu protahování během celého procesu znovuzpracování při zvýšené teplotě.

Tab. 7.8 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 60 °C

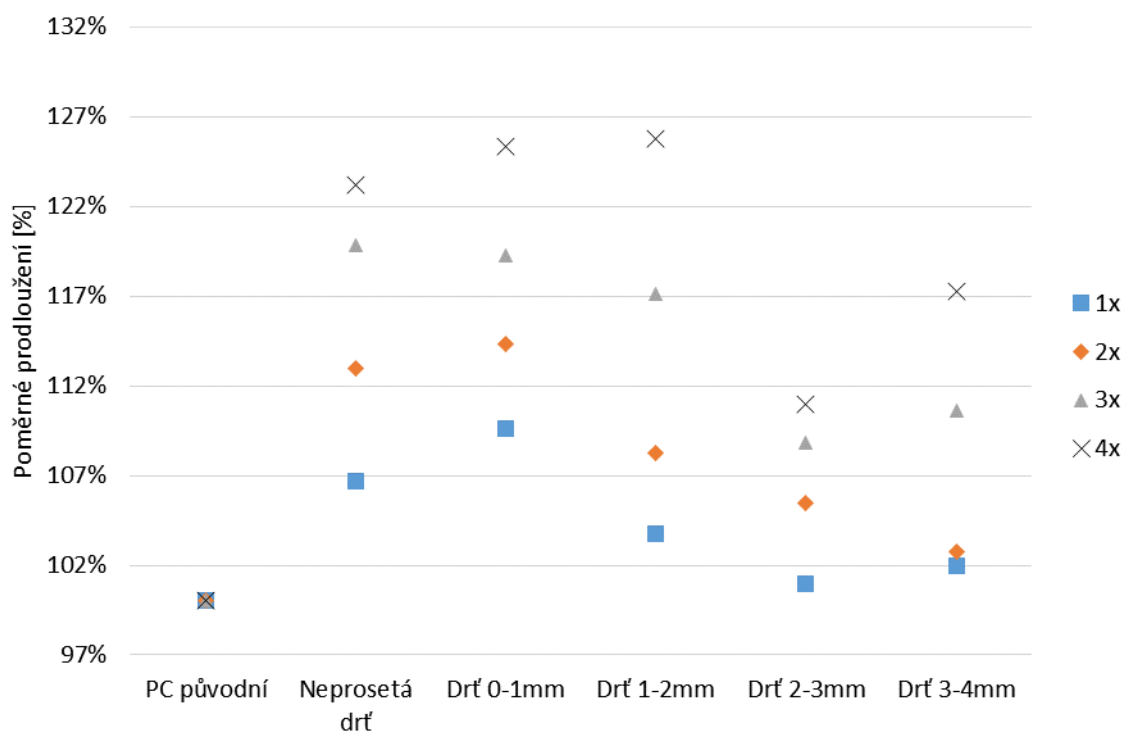
Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drt' 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drt' 1-2mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drt' 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drt' 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat poměrného prodloužení při 60 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Drtě 1 až 4 mm při první recyklaci a drtě 2 až 4 mm vykazují statisticky nevýznamný rozdíl. Při této vyšší teplotě se pokles poměrného prodloužení vlivem degradace projevil více, na rozdíl od hodnot při nižší teplotě.

7.1.9 Poměrné prodloužení PC při 100 °C

Při teplotě 100 °C se referenční tělesa protáhla o 5,1 % a je to nejkratší protažení pro tuto teplotu, které lze pozorovat na Obr. 7.9. Při prvním znovuzpracování došlo u drtí 2 až 4 mm k malému prodloužení jenom o 1 % vůči referenčnímu materiálu. Drť 1 – 2 mm se již protáhla bezmála o 4 %. Samotná neprosetá drť se deformovala skoro o 7 % více. Největší protažení měly tělesa z prachových částic, které se deformovala skoro 10 %.

Druhá recyklace způsobila další velké protahování u všech drtí. Téměř u všech drtí došlo k podobného prodloužení téměř o 5 % vůči první recyklaci. Jenom drť 3 – 4 mm se protáhla o necelé jedno procento. Největší protažení měla prachová drť s protažením až 15 %.



Obr. 7.9 Poměrné prodloužení PC při 100 °C

Třetí recyklace při této vysoké teplotě zapříčinila ještě větší protahování o více jak 5 %. Nejvíce je to patrné u drtě 1 – 2 mm, protáhla se až o 9 % vůči předešlé deformaci o hodnotu téměř jak 17 %. Další drť se značným protažením byla drť 3 – 4 mm, která se v předešlých teplotách chovala jako nejméně ovlivněná během vícenásobného zpracování. Protáhla se až o 6 % vůči předešlé deformaci na konečnou hodnotu 10 %. Drť 2 – 3 mm se protáhla jenom o dalších 3 %. Největší protažení dosáhla neprosetá drť při tomto zpracování a to téměř o 20 % vůči původnímu materiálu a překonala touto hodnotou i prachové částice.

Naopak poslední čtvrtá recyklace už nezpůsobila tak dramatické zvýšení poměrného protažení. Drť 2 – 3 mm se protáhla jenom o další dvě procenta a tedy během celého znovuzpracování dosáhla nejmenší deformace při testování u takto vysoké teplotě. Neprosetá drť se protáhla o konečných 23 % vůči referenčnímu materiálu. Prachové částice a drť 1 – 2 mm se protáhly přes 25 % po čtvrtém zpracování.

Tab. 7.9 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 100 °C

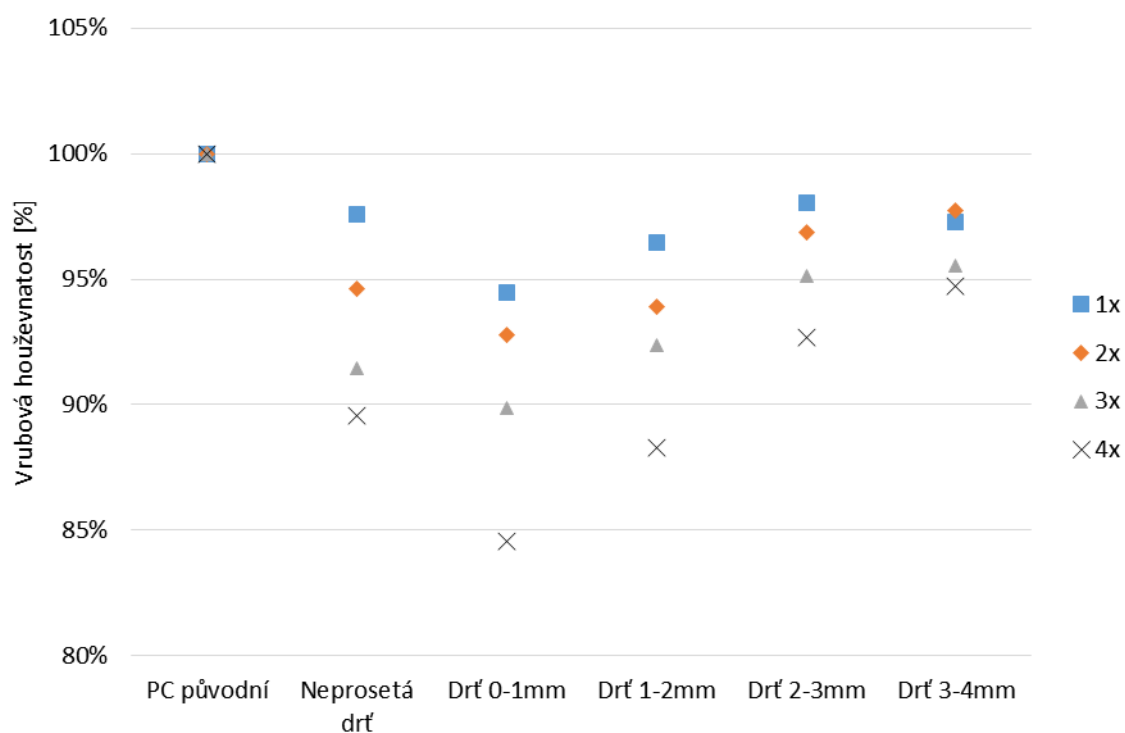
Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat poměrného prodloužení při 100 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Téměř stejného výsledku vykazují data prodloužení, jako u poměrného prodloužení PC při 60 °C. Pouze drtě 1 až 4 mm při první recyklaci a drt' 3 – 4 mm vykazují statisticky nevýznamný rozdíl.

7.1.10 Vrubová houževnatost PC při 23 °C

Na *Obr. 7.10* je porovnání vrubové houževnatosti při 23 °C. Referenční materiál má hodnotu houževnatost 5,2 kJ/m². Drtě 2 až 4 mm mají nižší houževnatost o 3 % již po první recyklaci. I neprosetá drt' má stejnou hodnotu. U drtě z prachových částic došlo k propadu přes 5 % vůči referenčnímu polykarbonátu.

Druhá recyklace nezpůsobila další snížení hodnoty houževnatosti u drtě 3 – 4 mm. U ostatních recyklovaných materiálů došlo ke snížení hodnoty o další tři procenta při tomto dalším zpracování.



Obr. 7.10 Vrubová houževnatost PC při 23 °C

Neprosetá drt' po třetí recyklaci již více poklesla na hodnotu přes 8 % vůči referenčnímu a přiblížila se propadu prachových částí, které se již propadly přes 10 %. Drtě s velkými částicemi mají nižší houževnatost pouze o 5 %.

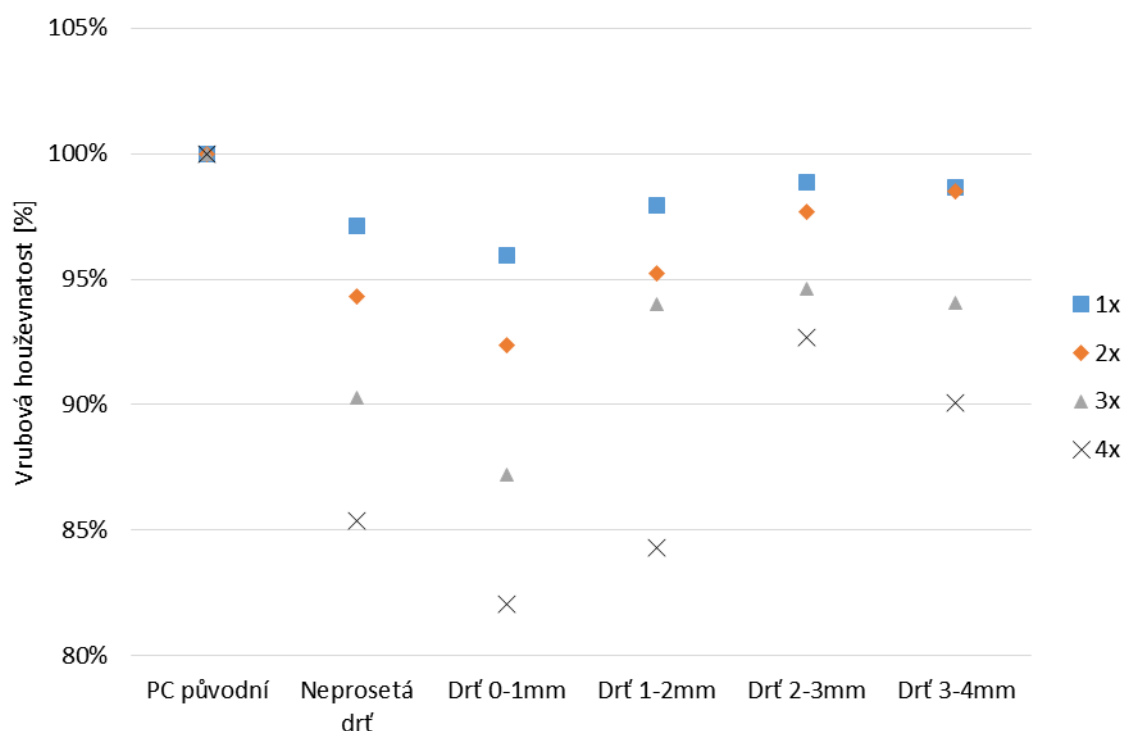
Čtvrtá recyklace způsobila větší snížení houževnatosti vůči předešlému zpracování u všech drtí. Zejména u prachových částic, kdy se poslední hodnota snížila nejvíce přes 15 %. Neprosetá drť má hodnotu houževnatosti nižší o 10%. Nejmenší snížení dosáhla drť s velkými částicemi 3 – 4 mm.

Tab. 7.10 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 23 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílů naměřených dat vrubové houževnatosti při 23 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Pokles hodnot vrubové houževnatosti se statisticky významným rozdílem vykazuje již drť z prachových částic při první recyklaci. Od třetí recyklace takovýchto výsledků vykazují již všechny drtě.

7.1.11 Vrbová houževnatost PC při 60 °C



Obr. 7.11 Vrbová houževnatost PC při 60 °C

Na *Obr. 7.11* lze vidět, že nejvyšší hodnota houževnatosti byla zjištěna u zkušebních vzorků referenčního materiálu, který má hodnotu 4,2 kJ/m². První i druhá recyklace dosáhla velmi podobného snížení poměrné změny houževnatosti jako při teplotě 23 °C.

U třetí recyklace došlo ke srovnání hodnot pro drtí 1 až 4 mm, o 6 % nižší než původní materiál. Hodnota u neproseté drtě se již propadla o 10 %. Tuto drť stahovaly dolů obsahující prachové částice, které mají houževnatost nižší až o 13 %.

Poslední čtvrtá recyklace zapříčinila větší propad hodnot, téměř u všech drtí. U drtě 2 – 3 mm došlo k nejmenšímu snížení houževnatosti na konečných 8 %. Nejhorší výsledek dosáhla drť z prachových částic, které má nižší hodnotu o téměř 20 % při této teplotě 60 °C.

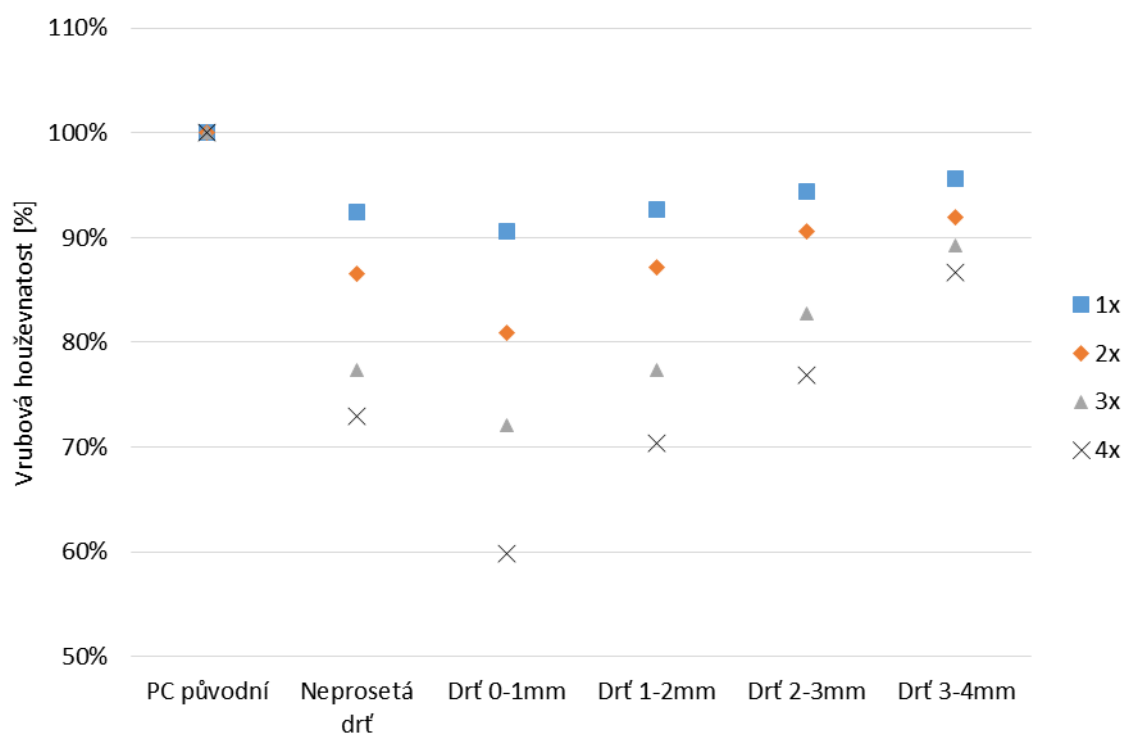
Tab. 7.11 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 60 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat vrubové houževnatosti při 60 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Při této teplotě je dosaženo stejných rozdílů jako u předešlé teploty (23 °C). Jen všechny drtě při první recyklaci mají statisticky nevýznamný rozdíl.

7.1.12 Vrubová houževnatost PC při 100 °C

Další měření vrubové houževnatosti bylo provedeno při zvýšené teplotě 100°C. Referenční materiál má hodnotu 3,6 kJ/m². Při této teplotě se více projevil vliv recyklace a již po první opětovném zpracování se drť z prachových částic zhoršila o téměř 10 %. Neprosetá drť a drť 1 – 2 mm vykazovaly podobné houževnatosti, o téměř 8 % horší.



Obr. 7.12 Vrubová houževnatost PC při 100 °C

Při druhé recyklaci se hodnota prachových části zhoršila téměř o 20 %. Drť 3 – 4 mm jako jediná drť nepřekročila hranici zhoršení 10 % při tomto druhém zpracování.

Třetí recyklace způsobila u drtě z prachových částic větší snížení už o 28 % vůči původnímu materiálu. U ostatních drtí došlo k patrnějšímu zhoršení vlastností vůči předešlému třetímu zpracování. Neprosetá drť a drť 1 – 2 mm vykazují stejné hodnoty houževnatosti.

U poslední čtvrté recyklaci došlo k nejmenšímu snížení houževnatosti u drtě 3 – 4 mm, která nakonec vykazovala zhoršení houževnatosti jenom o 13 %. Na druhou stranu recyklace u drtě z prachových částic způsobila zhoršení houževnatosti o 40 % vůči originálnímu materiálu při zvýšené teplotě.

Tab. 7.12 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 100 °C

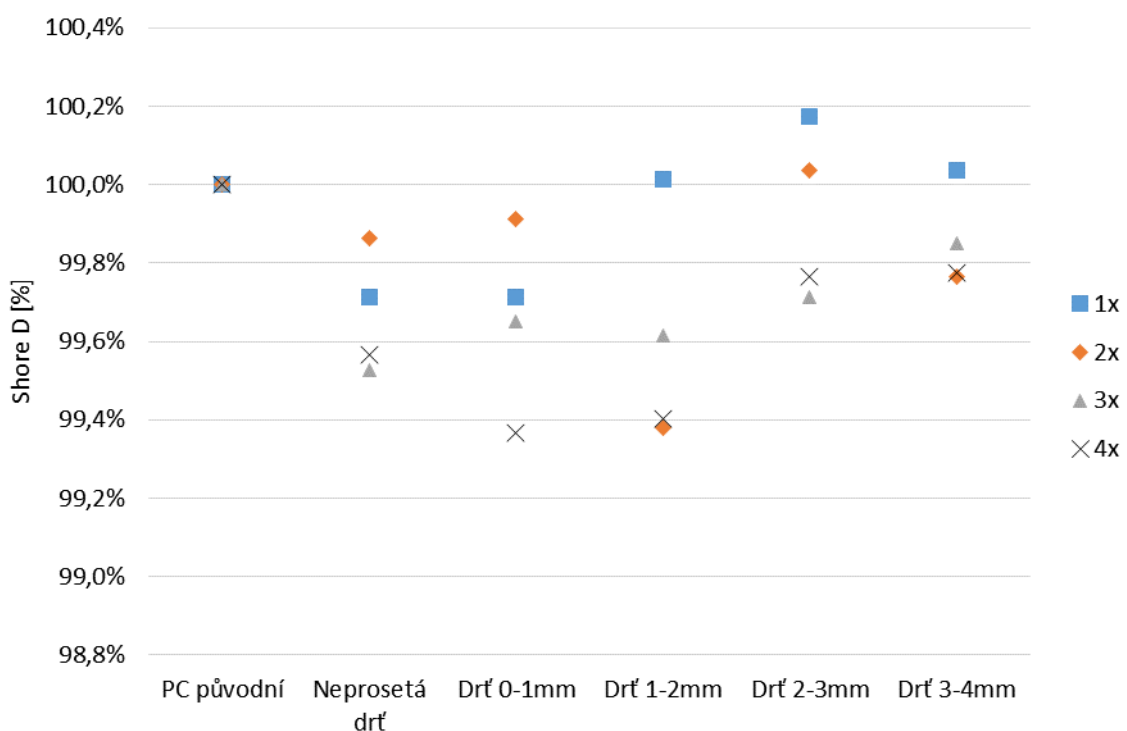
Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat vrubové houževnatosti při 100 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu.

Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Jen drť 3 – 4 mm při první recyklaci má statisticky nevýznamný rozdíl od původního materiálu. Recyklace tak způsobila významné rozdíly naměřených dat všech ostatních drtí.

7.1.13 Tvrdość PC při 23 °C

Referenční čistý polykarbonát má průměrnou hodnotu tvrdosti Shore D 80,4. U první recyklace byly zjištěny malé rozdíly v tvrdosti zkušebních těles. Snížení tvrdosti je patrné u neproseté drtě a drtě o velikosti částic menších než 1 mm. Ostatní drtě vykazují stejnou tvrdost jako původní materiál.



Obr. 7.13 Tvrdość PC při 23 °C

Druhá recyklace nezpůsobila téměř žádné změny v tvrdosti. Jenom u drtě 1 – 2 mm došlo k většímu propadu až na hodnotu, kde jsou tvrdosti čtvrté recyklace. Třetí a čtvrtá recyklace způsobila pouze malé snížení tvrdosti.

Celkově se recyklace neprojevila na změnu tvrdostí připravených recyklovaných drtí, celkové snížení je pouze kolem půl procenta pro drť 1 – 2 mm a pro drť z prachových částic po čtvrté recyklaci.

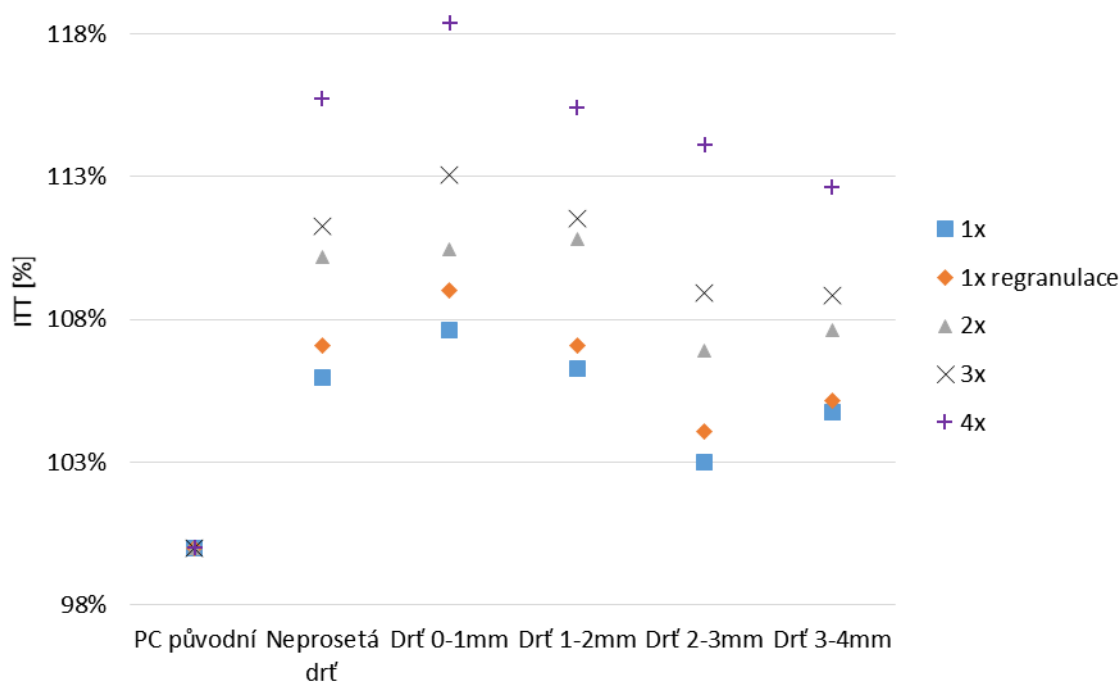
Tab. 7.13 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ShD při 23 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat tvrdosti při 23 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Vliv recyklace je statisticky významný až od třetí recyklace pro neprosetou drť a drtě 0 až 2 mm.

7.1.14 Index toku taveniny PC

Z důvodu větší přehlednosti nebyly zobrazeny výsledky týkající se regranulace v předešlých grafech, které zobrazují mechanické vlastnosti. Ve většině případů se hodnoty regranulovaných drtí blížily hodnotám drtí po první recyklaci. Výsledky měření pro tento typ recyklace materiálu jsou uvedeny v přílohách. Jen u ITT se projeví patrnější rozdíly, a proto jsou zde tedy prezentovány.



Obr. 7.14 Index toku taveniny PC

Referenční polykarbonát má hodnotu indexu toku taveniny 36,4 g/10min. Již první recyklace způsobila u drtí obsahující malé částice 0 až 2 mm velkou změnu ITT. Drtě tekly lépe až o 7 % než původnímu materiálu. Drť 2 – 3 mm tekla lépe jenom o 3 %.

Regranulace u první recyklace způsobila velmi podobné zvýšení hodnoty ITT přibližně 1 – 2 % u všech drtí vůči první recyklaci. Regranulace tak působila jako přidání další necelého polovičního procesu dalšího zpracování.

Druhá recyklace způsobila lepší tečení o 7 % u drtí 2 – 4 mm. U prachových částic a neproseté drti došlo ke srovnání hodnot ITT, které tekly lépe o 10 %.

Po třetí recyklaci došlo k dalšímu mírnému zvětšení hodnot ITT pro všechny drtě. Ale již při čtvrté recyklaci došlo k znatelnějšímu rozdílu naměřených hodnot. Nejlépe tekla tavenina z prachových částic, téměř o 20 % lépe než původní materiál. Neprosetá drť a drť 1 – 2 mm tekla více o 15 % lépe. Nejmenší zlepšení vykazovala drť 3 – 4 mm, která tekla více jenom o 12 %.

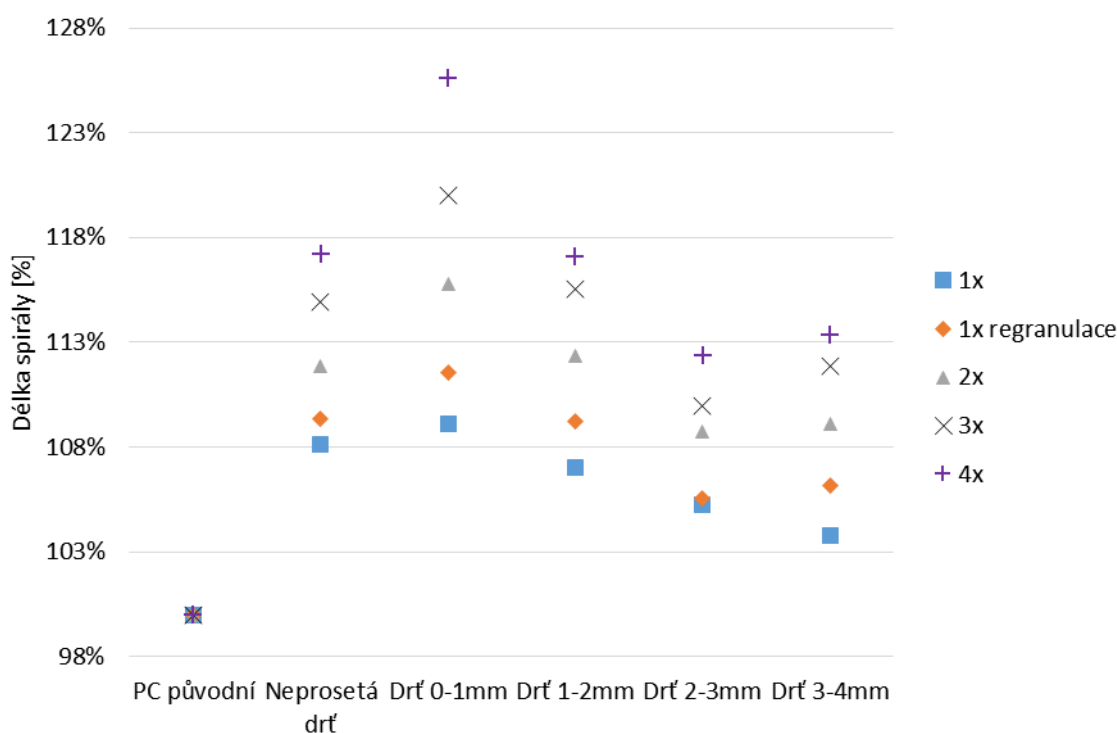
Tab. 7.14 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ITT PC

Počet recyklací	1x	1x regranulace	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat indexu toku taveniny byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Všechny drtě již od první recyklace, popřípadě jedné regranulace, vykazují statisticky významný rozdíl vůči původnímu materiálu. Došlo k výraznému nárůstu tečení tavenin.

7.1.15 Délka zatečení PC

Na Obr. 7.15 je porovnání délky zatečení ve spirále. Referenční materiál má hodnotu zatečení 82,4 mm. První recyklace způsobila poměrně úměrné zvyšování zatečení pro od velkých částic, které lépe tekly jenom o 4 %, po prachové částice, jež dosáhly až 9 % zlepšení vůči původnímu polykarbonátu.



Obr. 7.15 Délka zatečení PC

Regranulovaná drť 2 – 3 mm zůstala na podobné hodnotě zatečení, jako stejná drť bez regranulace při první recyklaci. Ostatní regranulované drtě zatekly přibližně o 2% více než neregranulované drtě.

Druhá recyklace srovnání zatečení mezi drtí 2 – 3 mm a 3 – 4 mm. Drť z prachových částic zatekla už o 15 % lépe než referenční materiál.

Drť 3 – 4 mm dosáhla nejmenší zlepšení zatečení u třetí recyklace. Drť z prachových částic dosáhla hodnotu lepšího zatečení o 20 % než referenční materiál.

Poslední čtvrtá recyklace způsobila velký rozdíl mezi drtí z prachových částic a neprosetou drtí až o 8 % při této recyklaci. Drtě 2 až 4 mm nakonec tekly lépe jenom o 13 %.

Vývoj zatečení odpovídá podobným procentuálním hodnotám jako u indexu toku taveniny, ale celkově došlo k většímu rozestupu hodnot zatečení prachových částic a velkých částic 3 – 4 mm.

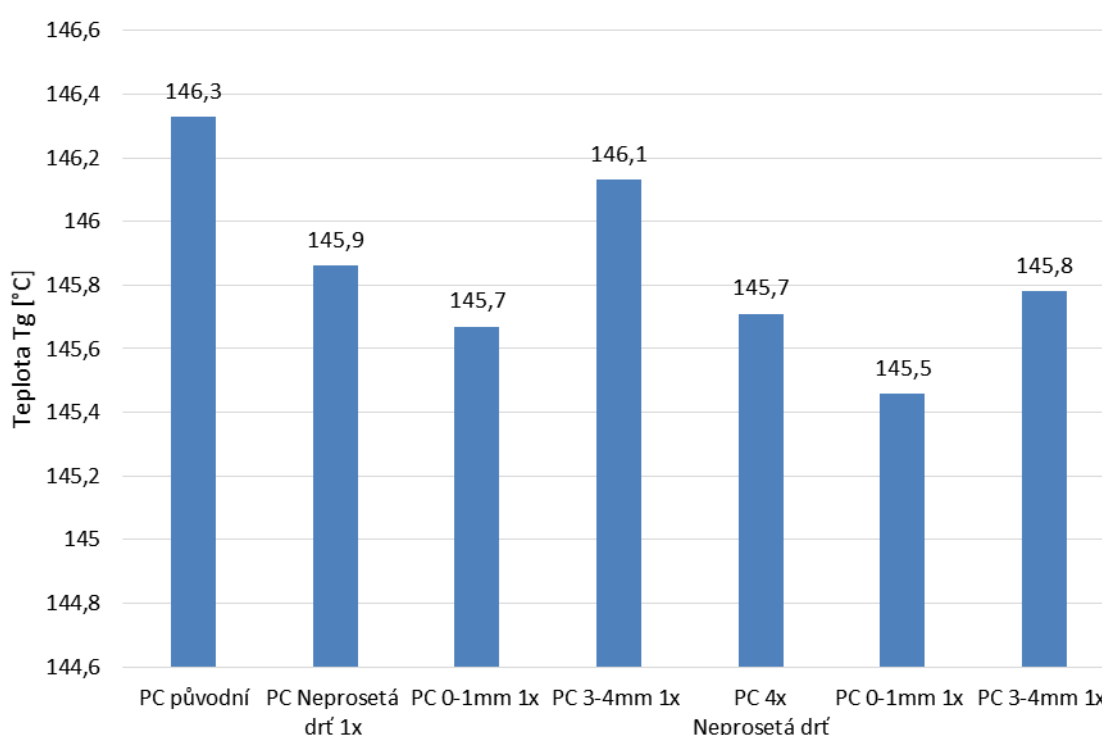
Tab. 7.15 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí zatečení PC

Počet recyklací	1x	1x regranulace	2x	3x	4x
PC původní	-	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat délky zatečení taveniny PC byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Stejného výsledku vykazují drtě jako u ITT PC. Vliv recyklace je významný a dochází tak k lepšímu toku taveniny.

7.1.16 DSC PC

Metoda měření DSC byla zvolena z důvodu, zda by recyklace mohla způsobit případnou změnu teploty skelného přechodu u PC. Toto měření bylo provedeno pro vybrané materiály.



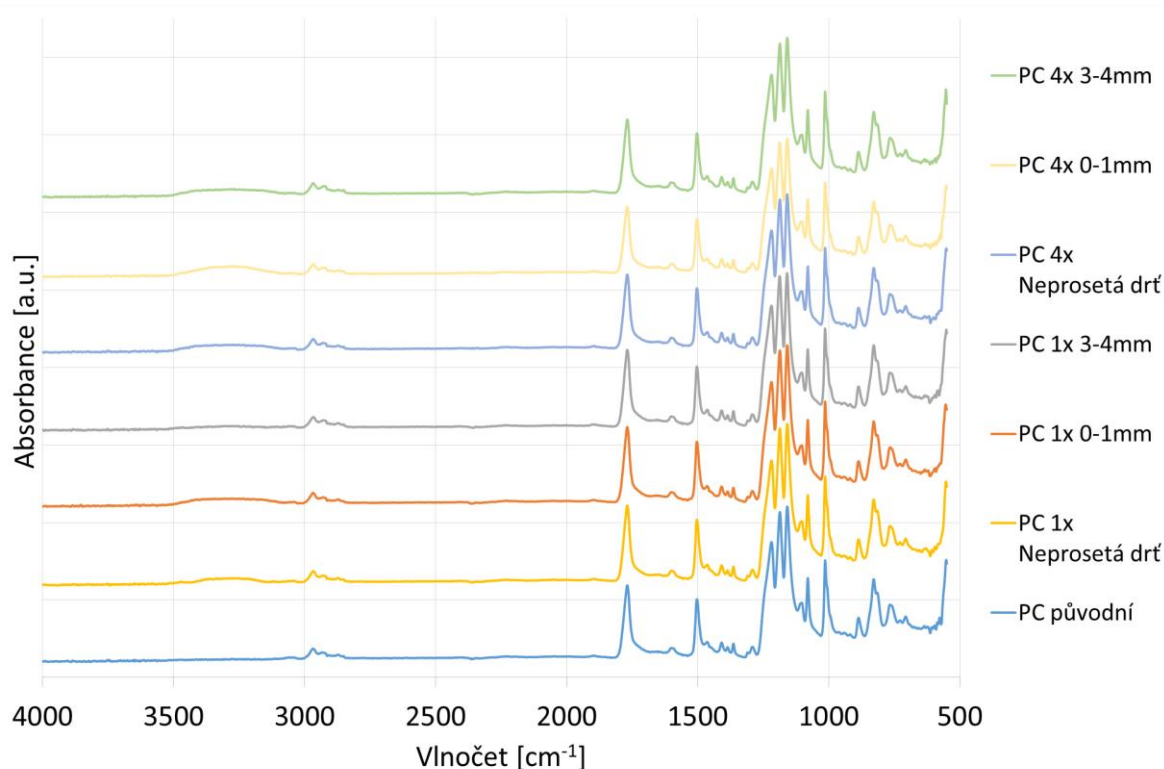
Obr. 7.16 DSC PC

Obr. 7.16 zobrazuje teplotu skelného přechodu. Referenční materiál má teplotu skelného přechodu 146,3 °C. Recyklace způsobila u všech materiálů snížení této teploty. U drtě s velkými částicemi 3 – 4 mm poklesla tato teplota jenom o 0,2 °C. To u prachových částic se teplota skelného přechodu snížila až o hodnotu 0,6 °C.

Čtvrtá recyklace způsobila srovnání rozdílů mezi neprosetou drtí a drtí 3 – 4 mm. Největší snížení teploty skelného přechodu vykazuje drť z prachových částic o 0,8 °C vůči původnímu materiálu.

7.1.17 FTIR PC

Obr. 7.17 jsou zobrazena FTIR spektra vybraných drtí polykarbonátu. Vlivem recyklace došlo k štěpení řetězců, kdy vznikly hydroxylové skupiny (O-H) v oblasti $3100\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$. Toto štěpení je zřejmě způsobeno hydrolyzou, která se nejčastěji projevuje při degradaci PC. Původní polykarbonát nevykazuje žádnou degradaci materiálu v této oblasti.



Obr. 7.17 FTIR PC

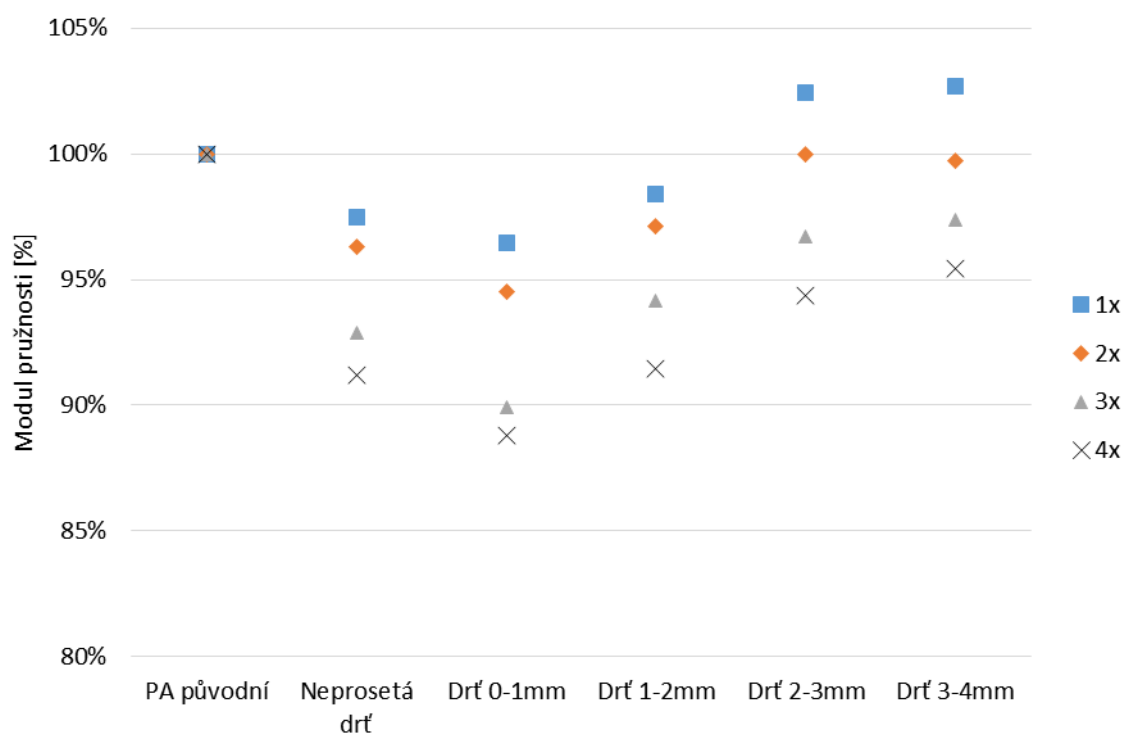
7.2 Výsledky měření materiálu PA

7.2.1 Modul pružnosti v tahu PA při 23 °C

Měření modulu pružnosti při teplotě 23 °C ukázalo, že referenční polyamid má průměrnou hodnotu modulu pružnosti 3480 MPa. První recyklace způsobila pokles modulu na podobnou hodnotu u neproseté drtě a drtě 1 – 2 mm. Drť z prachových částic dosáhly nejnižší hodnotu modulu pro tuto recyklaci, která je nižší o 3,5 %. Naopak u větších podrcených částic 2 až 4 mm došlo k mírnému navýšení modulu pružnosti.

Tyto částice 2 až 4 mm při druhé recyklaci dosáhly stejné hodnoty, jako původní materiál. U dalších drtí došlo k téměř podobnému snížení modulu, přibližně o jedno procento.

Třetí recyklace způsobila větší propad hodnot oproti předešlé recyklaci. Zde již drť z prachových částic dosáhla o 10 % nižší než původní materiál.



Obr. 7.18 Modul pružnosti v tahu PA při 23 °C

Poslední čtvrtá recyklace zapříčinila postupné snižování modulu od velkých částic, u které došlo k poklesu o 5 %, až po drť z prachových částic, která vykazuje horší modul pružnosti až o 11 %.

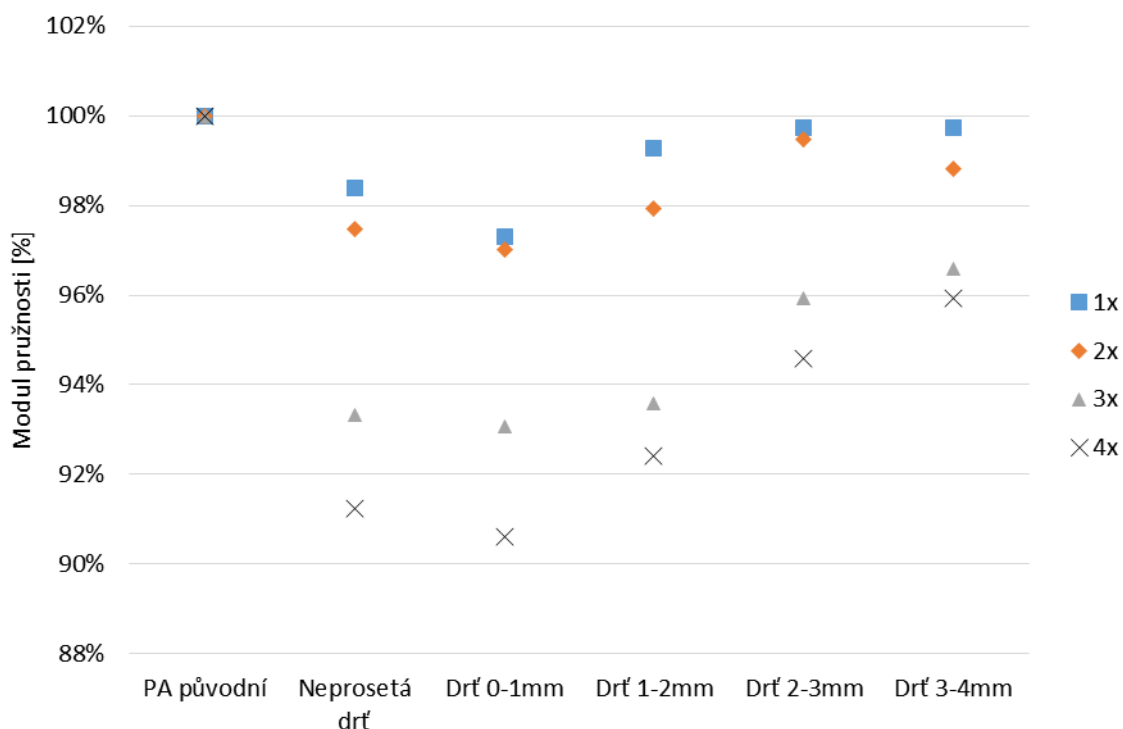
Tab. 7.16 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 23 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat modulů pružnosti při 23 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Vliv recyklace je statisticky významný až pro drtě 0 až 2 pro třetí i čtvrtou recyklaci, dále pak pro neprosetou drť a drť 1 – 2 mm pro čtvrtou recyklaci. Drť 3 – 4 mm během celého opětovného zpracování měla staticky nevýznamné rozdíly naměřených hodnot.

7.2.2 Modul pružnosti v tahu PA při 60 °C

Referenční materiál má při zvýšené teplotě 60 °C průměrnou hodnotu modulu pružnosti 1109 MPa (viz *Obr. 7.19*). Drť 1 až 4 mm nevykazují téměř žádnou změnu hodnoty pružnosti vlivem první recyklace. K mírnému snížení došlo jen u neproseté drtě a drtě z prachových částic.



Obr. 7.19 Modul pružnosti v tahu PA při 60 °C

Druhá recyklace nepřinesla téměř žádnou změnu.

Na druhou stranu třetí recyklace způsobila větší snížení modulu pružnosti. Neprosetá drť a drť s malými částicemi 0 až 2 mm vykazují podobnou hodnotu modulu o 7 % vůči referenčnímu materiálu.

Poslední čtvrtá recyklace způsobila u drtě z prachových částic největší konečný propad hodnoty modulu a to o téměř 10 %. Neprosetá drť, která obsahuje prachové částice, vykazuje podobné hodnoty jako tato drť. Velké částice 3 – 4 mm dosáhly nejmenší degradace u této sledované vlastnosti.

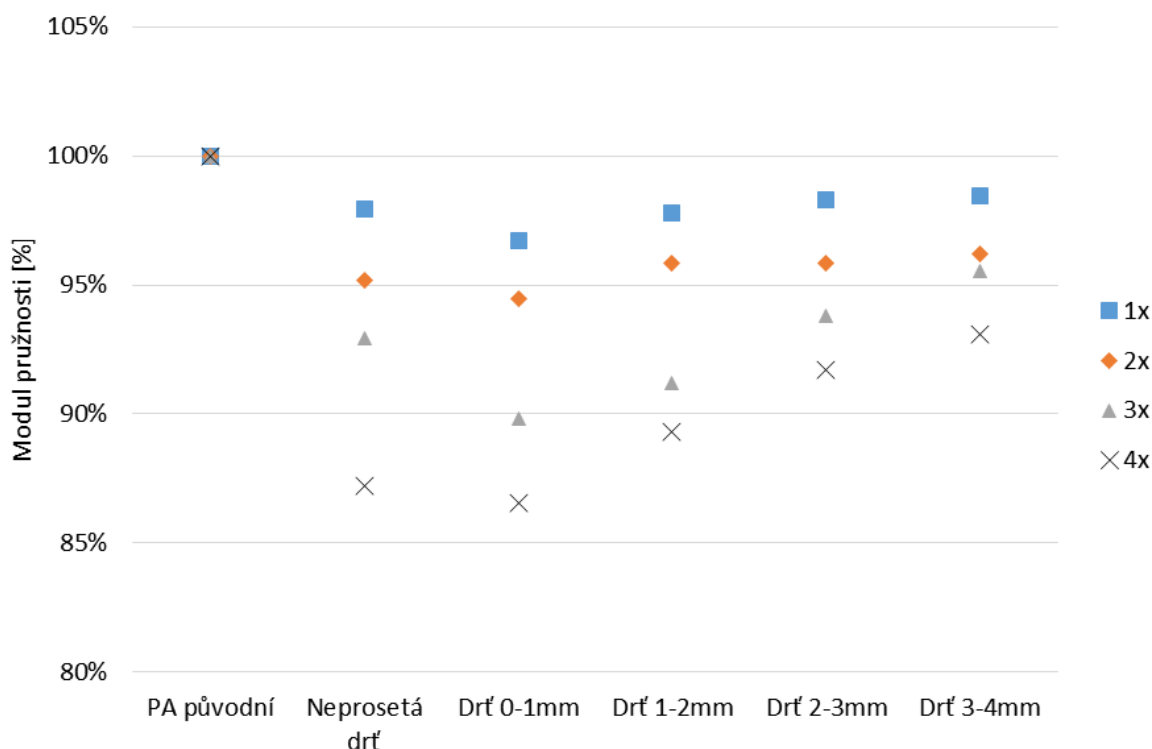
Tab. 7.17 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 60 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho	Zamítá Ho
Drť 0-1mm	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho	Zamítá Ho	Zamítá Ho
Drť 1-2mm	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho	Zamítá Ho	Zamítá Ho
Drť 2-3mm	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho
Drť 3-4mm	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho	Nezamítá Ho

Statistická významnost rozdílu naměřených dat modulů pružnosti při 60 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Naměřená data vykazují téměř stejné statistické rozdíly jako při teplotě 23 °C.

7.2.3 Modul pružnosti v tahu PA při 100 °C

Na Obr. 7.20 lze pozorovat, že nejvyšší modul pružnosti v tahu pro zvýšenou teplotu 100 °C má zkušební vzorky z původního materiálu s hodnotou 580 MPa. U drtě z prachových částic vlivem první recyklace došlo ke snížení hodnoty pružnosti o tři procenta. U ostatních drtí přinesla recyklace pouze malou změnu, snížení o dvě procenta vůči referenčnímu materiálu.



Obr. 7.20 Modul pružnosti v tahu PA při 100 °C

Druhá recyklace způsobila snížení modulu 2 až 3 % u připravených recyklovaných drtí.

Třetí recyklace již způsobila větší degradaci hodnot modulu. Nejvíce patrné je to u drtě z prachových částic, kdy poklesla hodnota až o 10 % vůči původnímu materiálu. Drť 1 – 2 mm ji následuje a která dosahuje o trochu lepšího výsledku. K nejmenší degradaci hodnoty modulu došlo u drtě 3 – 4 mm.

Poslední čtvrtá recyklace způsobila další propad hodnot modulu i pro drtě s většími částicemi. Nejvyšší rozdíl hodnot vůči originálnímu polyamidu došlo u drtě s prachovými částicemi a to téměř o 14% nižší. Podobného výsledku

dosáhla i neprosetá drť. U ostatních větších částic již nedošlo k takovému snížení modulu pružnosti.

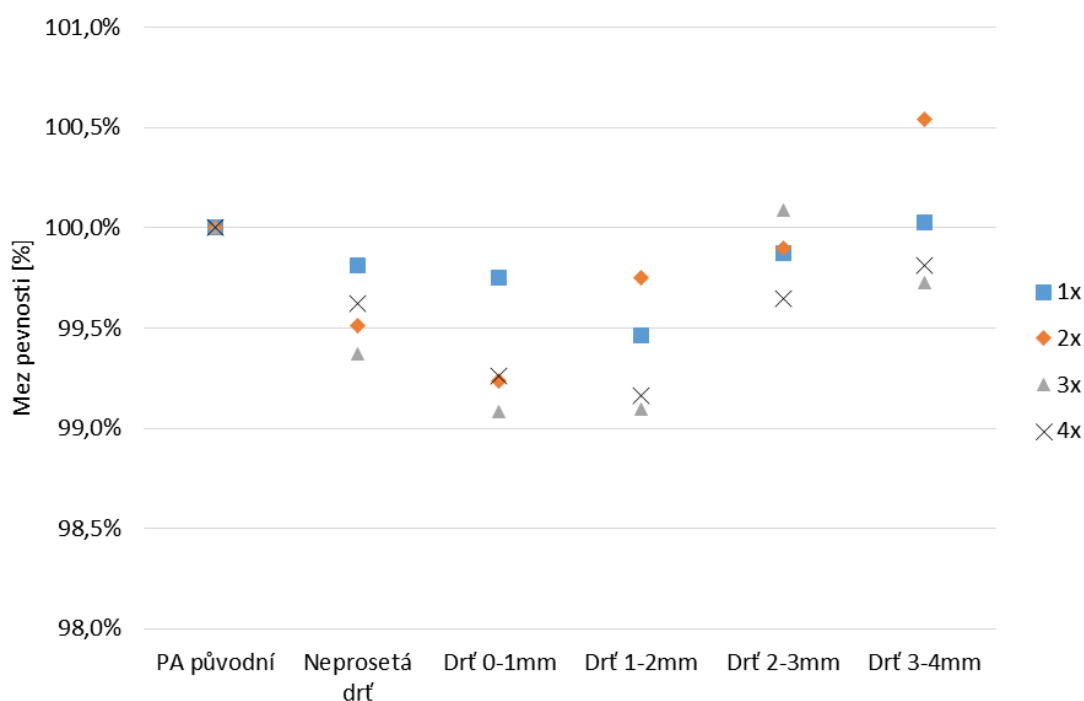
Tab. 7.18 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí E při 100 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat modulů pružnosti při 100 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Naměřená data při této teplotě vykazují téměř opět stejné statistické rozdíly jako při nižších teplotách (23 °C i 60°C). Teplota tak nezpůsobila změny v chování při porovnání významnosti rozdílů dat.

7.2.4 Mez pevnosti PA při 23 °C

Z Obr. 7.21 je patrné, že při této pokojové teplotě nemá čistý referenční materiál nejvyšší hodnotu meze pevnosti, která je 79,8 MPa. Z celkového pohledu na výsledky vyplývá, že recyklace neměla příliš vliv na pevnost polyamidu při této teplotě.



Obr. 7.21 Mez pevnosti PA při 23 °C

Zle ale vysledovat, že drtě u prvních dvou recyklací mají vyšší pevnost. Pro třetí a čtvrtou lze pozorovat mírný pokles hodnoty pevnosti. Maximální rozestup mezi naměřenými hodnotami se nachází rozmezí do jednoho procenta pro všechny drtě u všech recyklací.

Neprosetá drť vykazovala postupný pokles pevnosti v průběhu celé recyklace. Ostatní drtě nemají takové postupné snižování hodnoty meze pevnosti.

Tab. 7.19 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 23 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat meze pevnosti při 23 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Žádný z materiálů po recyklaci u teploty 23°C nevykazoval dle studentova testu významný rozdíl u meze pevnosti.

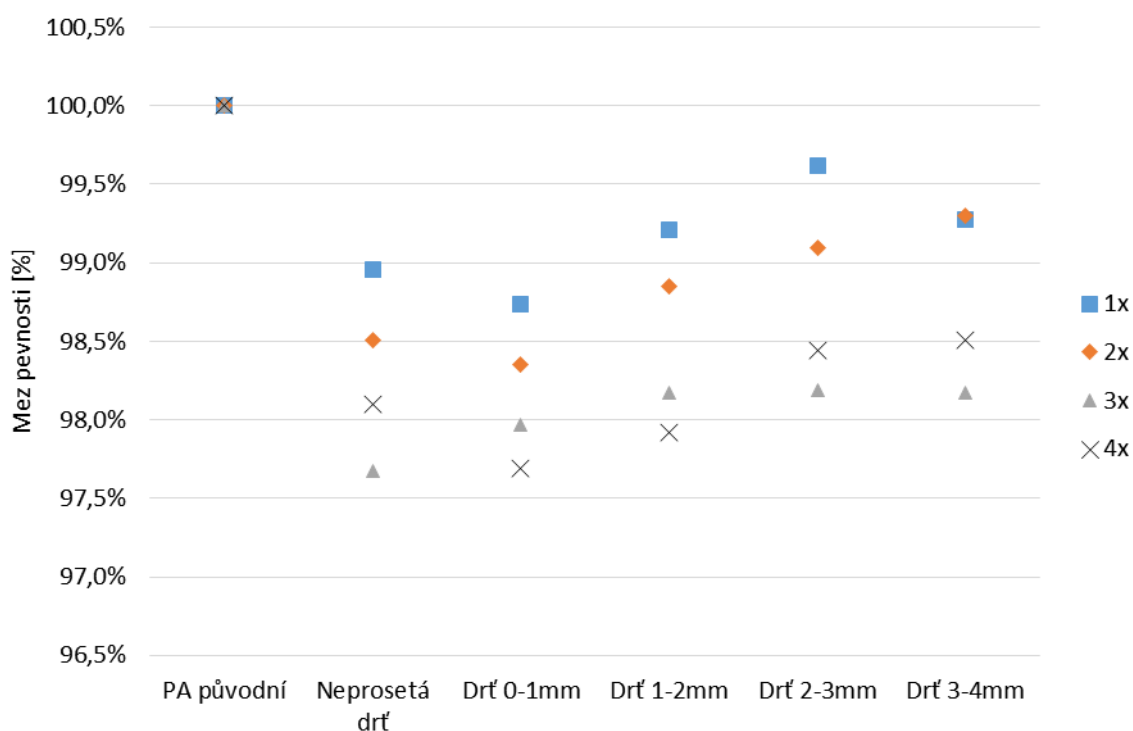
7.2.5 Mez pevnosti PA při 60 °C

Na Obr. 7.22 lze vidět, že při zvýšené teplotě 60 °C má již čistý referenční materiál nejvyšší hodnotu meze pevnosti, která je 44,2 MPa. První recyklace se při této zvýšené teplotě již více projevila na poklesu hodnot pevnosti vůči předešlé pokojové teplotě. Ale tento pokles je přibližně do jednoho procenta. Jako nejméně ovlivněná drť se ukázala drť 2 – 3 mm, u které byl pokles zanedbatelný.

Při druhé recyklaci došlo k podobnému poklesu o další jedno procento pro většinu drtí s výjimkou drtě 3 – 4 mm

U třetí i čtvrté recyklace došlo k poklesu meze pevnosti na podobnou hodnotu a to kolem 3 % vůči originálnímu materiálu.

Při souhrnném pohledu na mez pevnosti při této teplotě, tak došlo k malému snižování hodnot pro všechny drtě.



Obr. 7.22 Mez pevnosti PA při 60 °C

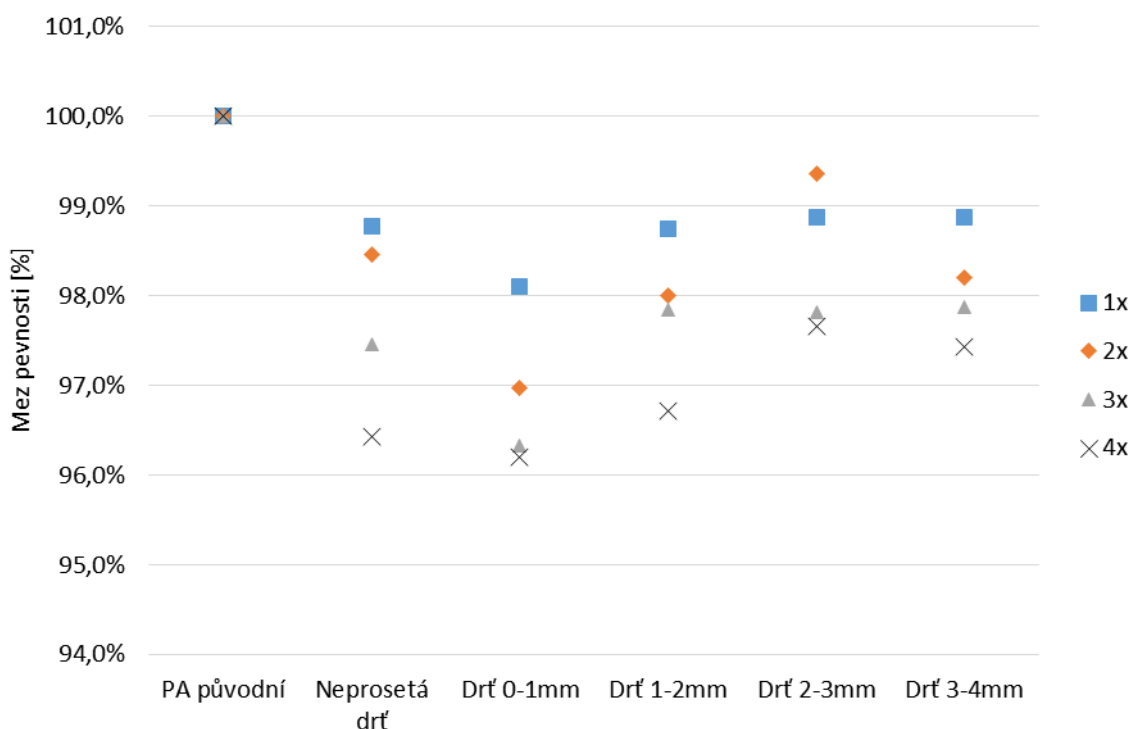
Tab. 7.20 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 60 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat meze pevnosti při 60 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Všechny drtě vykazují až od třetí recyklace statisticky významné rozdíly.

7.2.6 Mez pevnosti PA při 100 °C

Obr. 7.23 zobrazuje mez pevnosti polyamidu za zvýšené teploty 100 °C, kde referenční materiál má hodnotu 31,1 MPa. První recyklace přinesla pokles hodnot přibližně o jedno procento pro většinu drtí. Jen drť z prachových částic poklesla více a to o dvě procenta.



Obr. 7.23 Mez pevnosti PA při 100 °C

Při druhé recyklaci došlo k poklesu již o 3 % pro drť z prachových částic. U drtě 2 – 3 mm nedošlo k poklesu, ale naopak k mírnému zvýšení meze.

Téměř všechny drtě se srovnaly na hodnotě pevnosti, která je nižší o 2,5 %. Jen u drtě z prachových částic došlo k poklesu pevnosti o téměř 4 %.

Poslední čtvrtá recyklace nezpůsobila příliš velký pokles hodnot u drtí s většími částicemi 2 až 4 mm, ani u drti z prachových částic. I když ta dosáhla nejhoršího naměřeného výsledku pro tuto teplotu. Neprosetá drť a drť 1 – 2 mm vykazovaly téměř stejné meze pevnosti.

Tab. 7.21 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí σ_M při 100 °C

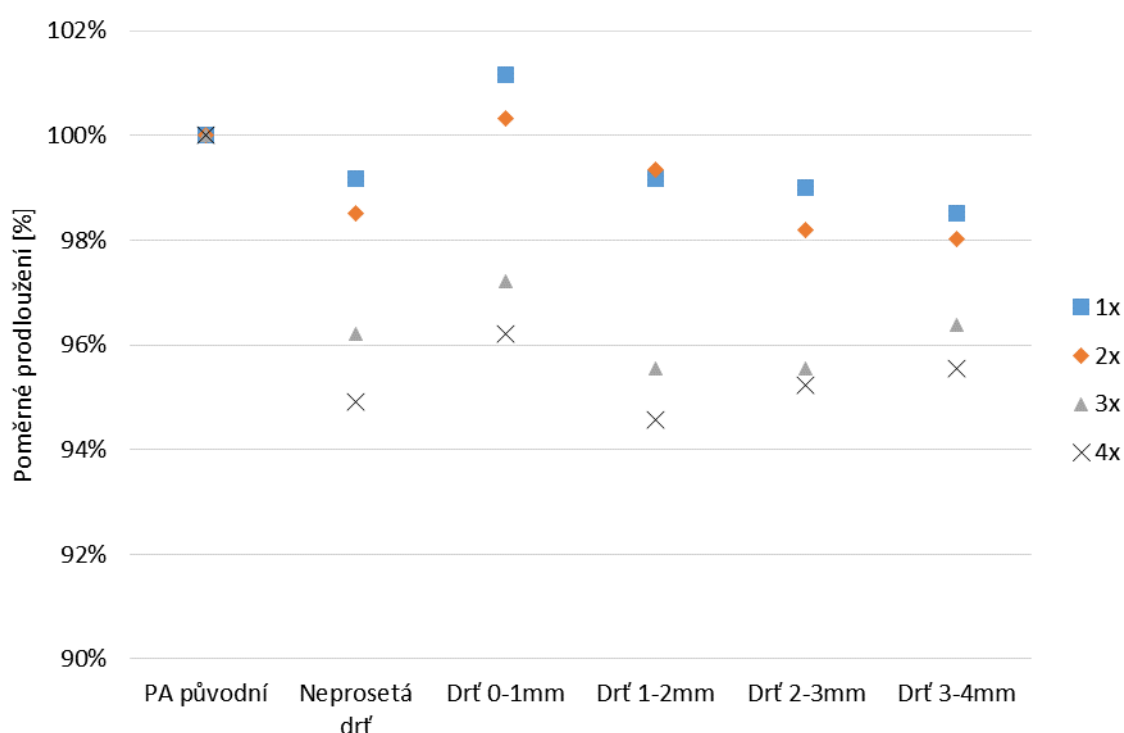
Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat meze pevnosti při 100 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního

polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → U třetí recyklace došlo k situaci, že drť 1 – 2 mm a neprosetá drť ještě nevykazují statisticky významný rozdíl, ale další drtě při této třetí recyklaci již ano.

7.2.7 Poměrné prodloužení PA při 23 °C

Na Obr. 7.24 lze pozorovat poměrné prodloužení polyamidu při teplotě 23 °C. Referenční nerecyklovaný polyamid dosáhl protažení 6,1 %. Nejdelšího protažení vykazovala drť z prachových částic po první recyklaci, která mírně přesáhla původní materiál. U ostatních drtí došlo k malému snížení protažení přibližně do jednoho procenta.



Obr. 7.24 Poměrné prodloužení PA při 23 °C

Druhá recyklace způsobila další malé protahování téměř pro všechny drtě. Jen u drtě 1 – 2 mm nedošlo k dalšímu snížení protahování.

Při třetí recyklaci došlo již k znatelnějšímu snížení protahování vůči předešlé recyklaci. Drtě 1 až 4 mm vykazovaly protažení přibližně o 4 % menší než původní materiál. Kratší deformace dosáhla drť z prachových částic.

Poslední čtvrtá recyklace zapříčinila zkrácení na konečných 5% u všech drtí. Kromě drtě z prachových částic, která dosáhla zkrácení o 4 % vůči původnímu materiálu.

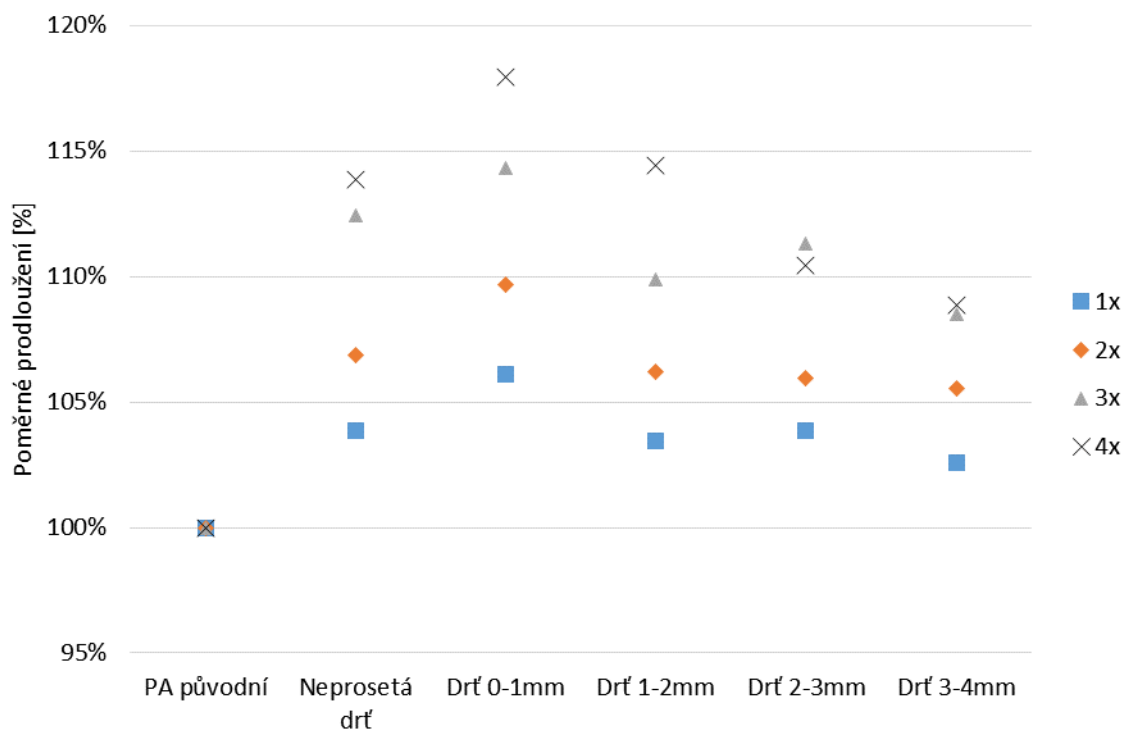
Tab. 7.22 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drťí ε_M při 23 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat poměrného prodloužení při 23 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Téměř všechny drtě vykazují statisticky nevýznamný rozdíl. Jen neprosetá drť a drť 1 – 2 mm při čtvrté recyklaci již vykazují statisticky významné rozdíly naměřených dat.

7.2.8 Poměrné prodloužení PA při 60 °C

Porovnáním poměrného prodloužení v tahu za zvýšené teploty 60 °C lze pozorovat, že se zvyšujícím počtem recyklací roste i délka protahování (Obr. 7.25). Nejnižší hodnoty dosáhly drtě s velikostí částic 1 až 4 mm, u kterých došlo ke zvýšení o 3 %. Pouze drť z prachových částic se protáhla přes 5 % vůči původnímu materiálu po první recyklaci.



Obr. 7.25 Poměrné prodloužení PA při 60 °C

Druhá recyklace způsobila přibližně stejnou změnu protažení pro všechny drtě (3 % oproti předešlé první recyklaci).

Při třetí recyklaci došlo k přiblížení hodnot neproseté drti k drti z prachových částic, která se již deformovala o 14 % více. U drtě 1 – 2 mm způsobila recyklace nejmenší změnu protažení vůči předešlému zpracování.

Při poslední recyklaci nedošlo ke zvětšení protahování pro drtě 2 až 4 mm. U neproseté drtě došlo k mírné navýšení deformace na hodnotu téměř 14 %. Největšího protažení dosáhla drť z prachových částic a to o téměř 18 % vůči referenčnímu čistému polyamidu.

Tab. 7.23 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 60 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

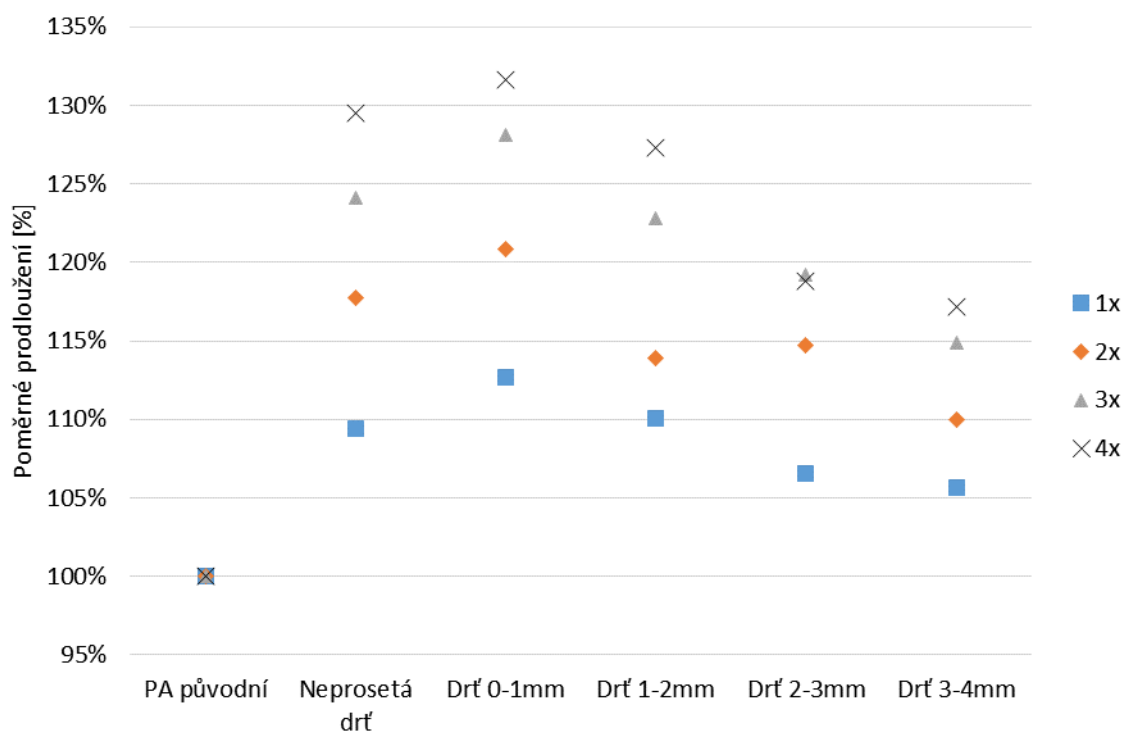
Statistická významnost rozdílu naměřených dat poměrného prodloužení při 60 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Při této teplotě je dosaženo velmi rozdílných výsledků. Již od druhé recyklace mají drtě 0 – 1 mm a 2 – mm statisticky významný rozdíl. Dalším zpracováním všechny drtě již dosáhly těchto významných rozdílů.

7.2.9 Poměrné prodloužení PA při 100 °C

U poměrného prodloužení v tahu (*Obr. 7.26*) za zvýšené teplotě 100 °C došlo k větším rozdílům jako u předešlé teploty. Již při první recyklaci se drť protáhla o 12 % více než původní materiál. Na druhou stranu se drtě 2 až 4 mm protáhly jen o poloviční hodnotu (o 6%).

Drtě 1 až 3 mm vykazovaly větší deformace o 14 % při druhé recyklaci. Neprosetá drť se protáhla již o téměř 18 % více a drť z prachových částic se protáhla více až o 20 %.

Třetí recyklace způsobila postupné zvyšování od velkých částic 3 – 4 mm, které se protáhly o 15 %, až po prachové částice, které dosáhly deformace téměř 30 % větší hodnoty vůči původnímu materiálu.



Obr. 7.26 Poměrné prodloužení PA při 100 °C

Při posledním zpracování nedošlo k dalšímu zvětšování protahování u drtí 2 až 4 mm. Neprosetá drť se protáhla o 30% a největší deformace dosáhla drť z prachových částic přes 31%. Celkově došlo ke zmenšování rozdílů při vzrůstajícím stupni recyklace mezi jednotlivými recyklacemi. Při třetí a čtvrté recyklaci došlo k podobné situaci, kdy drtě 2 – 3 mm a 3 – 4 mm mají podobné hodnoty protažení.

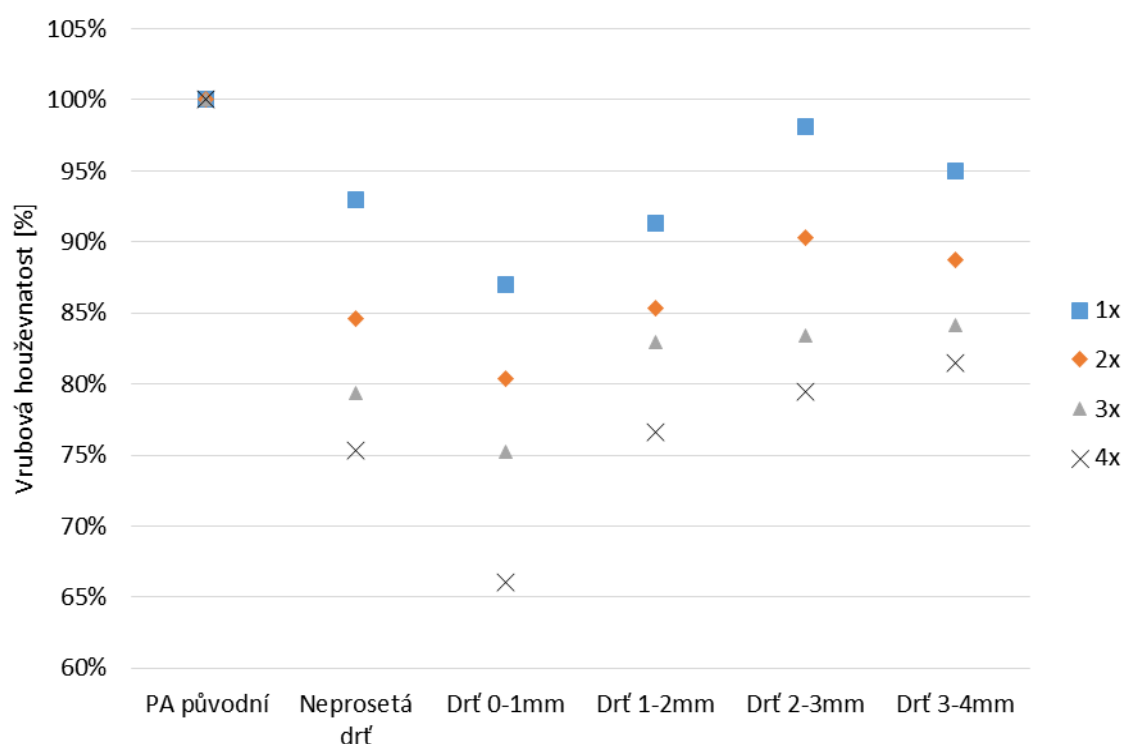
Tab. 7.24 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ε_M při 100 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat poměrného prodloužení při 100 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Při této teplotě recyklace způsobila statisticky významných rozdílů téměř pro všechny drtě, kromě drtí 2 až 4 mm při první recyklaci.

7.2.10 Vrubová houževnatost PA při 23 °C

Na Obr. 7.27 lze pozorovat rázovou vrubovou houževnatost polyamidu při 23 °C, kde referenční čistý polymer má hodnotu houževnatosti 4,6 kJ/m². Již při první recyklaci došlo k výraznému zhoršení hodnot všech drtí. Nejméně byla ovlivněna drť 2 – 3 mm, u které se snížila houževnatost jen o 2 %. Hodnota neproseté drtě poklesla už o 7 % a k největšímu propadu došlo u první recyklace u drti z prachových částic.



Obr. 7.27 Vrubová houževnatost PA při 23 °C

Druhá recyklace způsobila další větší zhoršení houževnatosti. Hodnota vrubové houževnatosti drtě 2 – 3 mm již poklesla o 10 % a drť z prachových částic dosáhly dvojnásobného poklesu na hodnotu 20 % nižší než původní materiál.

Při třetí recyklaci již nedošlo k tak významnému propadu vrubové houževnatosti. U drtí 1 až 4 mm se srovnaly rozdíly a vykazují podobné hodnoty. Neprosetá drť překročila hodnotu 20 % a drť z prachových částic je o čtvrtinu horší než původní materiál.

Poslední čtvrtá recyklace přinesla pokles hodnoty vrubové houževnatosti o čtvrtinu horší pro neprosetou drť. U drtí s velkými částicemi 2 až 4 mm se snížily hodnoty o 20%. Nejhoršího výsledku dosáhla drť z prachových částic, která byla naměřena vrubová houževnatost o 34 % nižší v porovnání s původním materiálem.

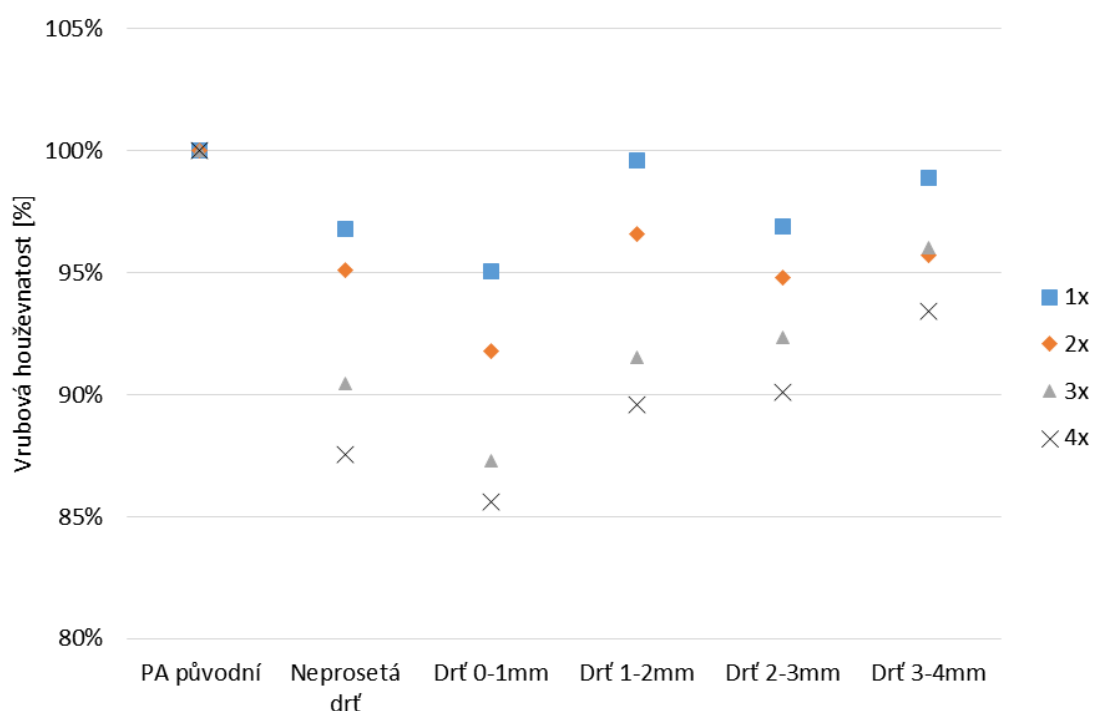
Tab. 7.25 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 23 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat vrubové houževnatosti při 23 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Jen drť 2 – 3 mm při první recyklaci má statisticky nevýznamný rozdíl od původního materiálu. Recyklace tak způsobila významné rozdíly naměřených dat všech ostatních drtí.

7.2.11 Vrbová houževnatost PA při 60 °C

Na Obr. 7.28 je zobrazena vrbová houževnatost PA při zvýšené teplotě 60 °C v závislosti na recyklaci drtí. Referenční čistý materiál má hodnotu houževnatosti 13,7 kJ/m². První recyklace způsobila jen malé změny v houževnatosti, nejlépe je to patrné pro drtě 1 – 2 a 3 – 4 mm. Drť 2 – 3 mm a neprosetá drť dosáhly stejné hodnoty. Recyklace měla vliv hlavně na drť z prachových částic, kdy se její houževnatost snížila o 5 %.



Obr. 7.28 Vrbová houževnatost PA při 60 °C

Při druhé recyklaci došlo ke srovnání hodnot u drtí 2 až 4 mm a neproseté drtě, když si jejich hodnoty pohoršili o 5 %. Drť 1 – 2 mm vykazovala nejlepší houževnatosti pro tuto recyklaci.

Třetí recyklace zapříčinila znatelnější propad hodnot vůči předešlé třetí recyklaci. Pouze u drtě 3 – 4 mm nedošlo k žádnému snížení houževnatosti. Neprosetá drť vykazuje již o 10 % horší vrubovou vlastnost.

Poslední čtvrtá recyklace způsobila největší snížení až o hodnotu 15 % u drtě z prachových částic. Drtě 1 až 3 mm dosáhly podobného snížení. Nejlépe dopadla drť 3 – 4 mm, u které došlo pouze k 6 % zhoršení hodnoty houževnatosti vůči referenčnímu polyamidu.

Tab. 7.26 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 60 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0

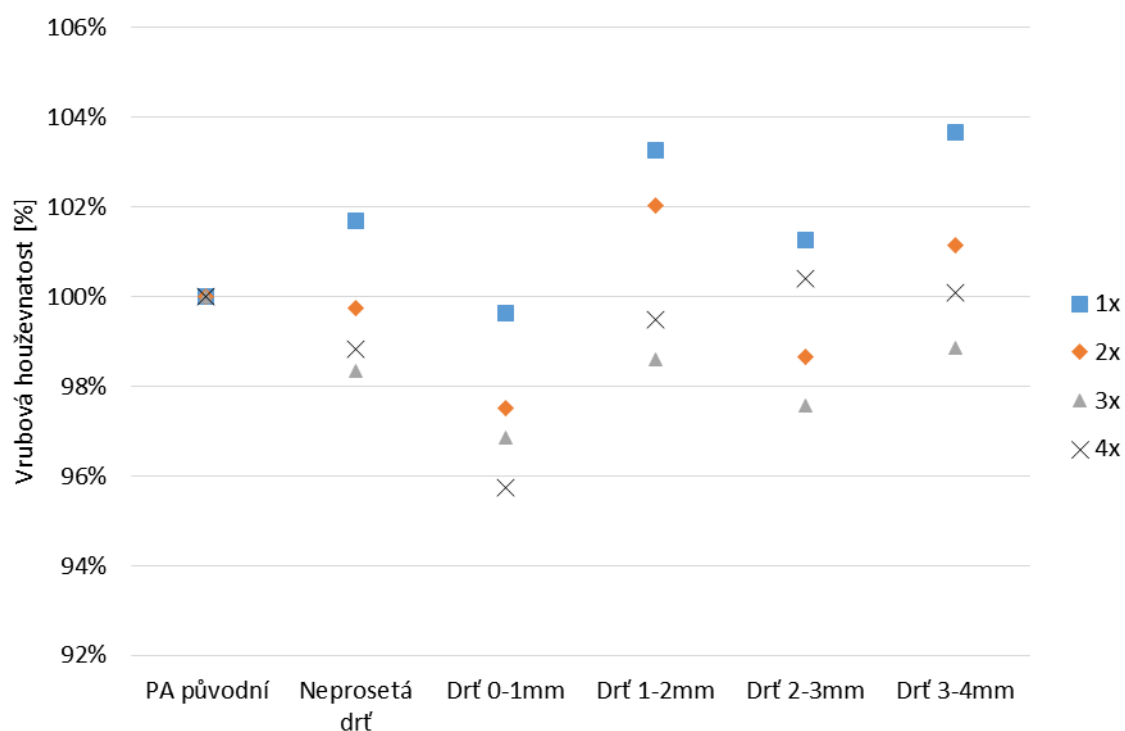
Statistická významnost rozdílu naměřených dat vrubové houževnatosti při 60 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Zvýšením teploty na 60 °C došlo ke snížení rozdílů naměřených dat oproti teplotě 23 °C a tak větší počet drtí vykazuje statisticky nevýznamného rozdílu u pro první dvě recyklace.

7.2.12 Vrubová houževnatost PA při 100 °C

Referenční polyamid má hodnotu vrubové houževnatosti 26,7 kJ/m² při zvýšené teplotě 100 °C, kterou lze pozorovat na Obr. 7.29. První recyklace nezpůsobila pokles hodnot jako při nižších testovacích teplotách. Právě naopak došlo ke většímu zlepšení pro drtě 1 – 2 mm a 3 – 4 mm o téměř 4 %. A menší zlepšení u neproseté drtě a drtě 2 – 3 mm o 1 %. Pouze u drtě z prachových částic se zhoršila houževnatost.

Druhá recyklace již způsobila pro většinu drtí pokles houževnatosti. Neprosetá drť a drť 3 – 4 mm vykazovaly stejné chování jako originální materiál. Drť 1 – 2 mm stále ještě měl vyšší hodnotu houževnatosti při této recyklaci.

Při třetí recyklaci způsobila již větší snížení hodnot houževnatosti. Nejhorší výsledek dosáhla drť z prachových částic, o 5 % nižší hodnota a to pro všechny čtyři recyklace. Ostatní drtě dosáhly mezi sebou srovnatelných hodnot.



Obr. 7.29 Vrubová houževnatost PA při 100 °C

Poslední čtvrtá recyklace způsobila srovnání hodnot houževnatosti pro všechny drtě, které vykazovaly přibližně o 3 % nižší houževnatost vůči referenčnímu materiálu.

Celkové rozdíly pro tuto teplotu nejsou tak velké pro všechny recyklace a drtě, jako v předešlých případech se sníženou testovací teplotou.

Tab. 7.27 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí A_M při 100 °C

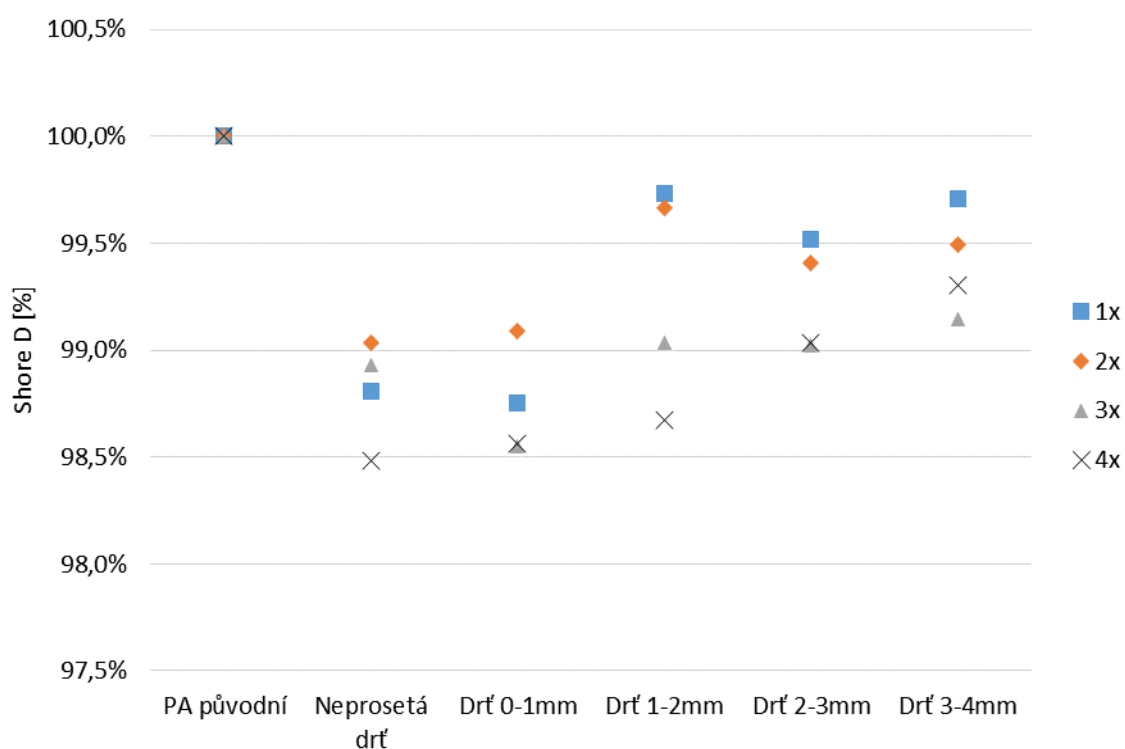
Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 0-1mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Zamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0
Drť 3-4mm	Zamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat vrubové houževnatosti při 100 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami

původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Recyklace při teplotě 100 °C způsobila snížení rozdílů mezi naměřenými daty. Dokonce došlo ke zlepšení u několika drtí po první recyklaci. Drtě 1 – 2 mm a 3 – 4 mm vykazují zlepšení takové, že rozdíl je již statisticky významný.

7.2.13 Tvrdość PA při 23 °C

Na Obr. 7.30 lze pozorovat tvrdost polyamidu za pokojové teploty 23 °C. Referenční materiál má tvrdost 74,6 ShD. Recyklace způsobila pouze malé snížení tvrdosti u drtí s většími částicemi 1 až 4 mm při první i druhé recyklaci. Toto snížení je v řádu jenom o několik deseti procent menší než původní materiál. U neproseté drtě a drtě z prachových částic již došlo k poklesu přibližně o 1 % pro první i druhou recyklaci.



Obr. 7.30 Tvrdość PA při 23 °C

Třetí i čtvrtá recyklace způsobila přibližně stejný pokles tvrdosti pro stejné drtě. Neprosetá drť dosáhla při čtvrté recyklaci největší snížení tvrdosti vůči referenčnímu materiálu o 1,5 %; následované drtí z prachových částic a drtí 1 – 2 mm. U drtě 3 – 4 mm došlo ke snížení pouze o 1%.

Celkově se recyklace velice málo projevila na změně tvrdosti u měřených drtí z polyamidu.

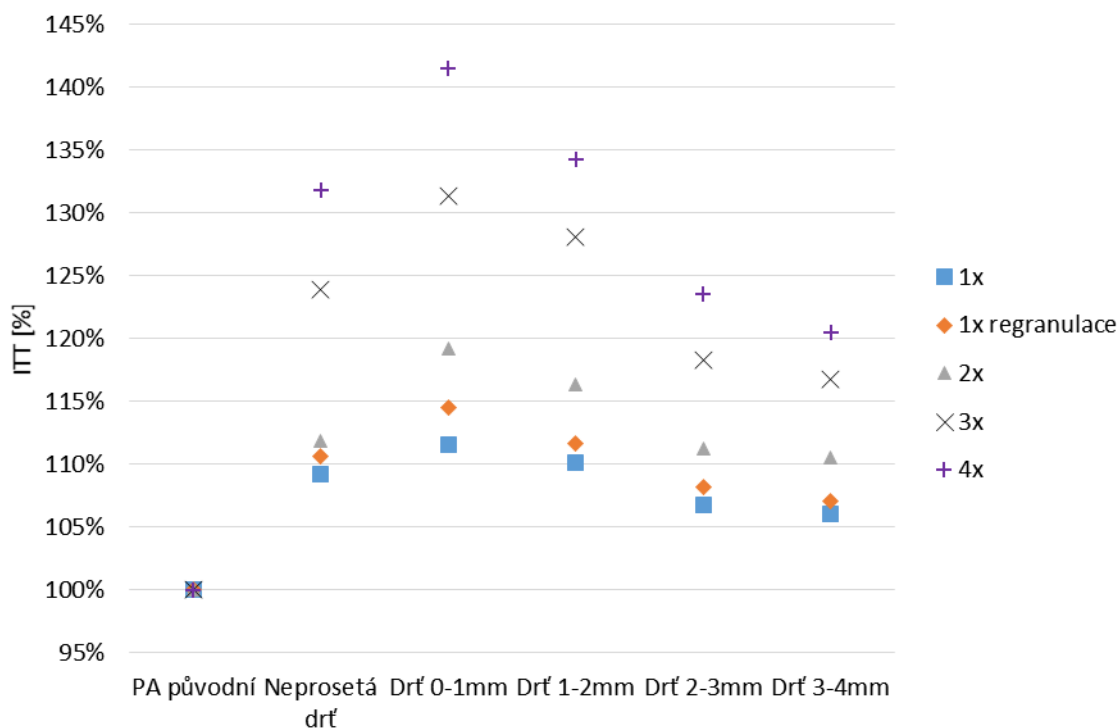
Tab. 7.28 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ShD při 23 °C

Počet recyklací	1x	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Nezamítá H_0	Nezamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat tvrdosti při 23 °C byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Recyklace způsobila statisticky nevýznamný rozdíl pouze pro drtě 1 až 4 mm po prvních dvou recyklacích.

7.2.14 Index toku taveniny PA

Protože se ve většině případů hodnoty těchto drtí po regranulaci velmi podobaly s hodnotami po první recyklaci, nebyly u mechanických vlastností vyobrazeny hodnoty regranulovaných drtí, podobně jako u polykarbonátu.



Obr. 7.31 Index toku taveniny PA

Referenční polyamid má hodnotu indexu taveniny 42,6 g/10min. Z naměřených hodnot vyplývá, že již při první recyklaci došlo k výraznému zlepšení tečení taveniny u drtě z prachových částic, které měly hodnotu lepší již o 11 %. Podobně dopadla neprosetá drť a drť 1 – 2 mm. U drtí z velkých částic došlo k zlepšení jenom o 6 %. Regranulace zapříčinila u drtí po první recyklaci mírné zvýšení tečení taveniny, přibližně o 1,5 %.

Drť z prachových částic již při druhé recyklaci tekla lépe o téměř 20 %. U neproseté drtě zlepšení není již tak velké a má podobnou hodnotu jako drť 2 – 3 mm. Třetí recyklace způsobila velké zlepšení indexu toku taveniny pro všechny drtě. Kdy drť z prachových částic vykazovala až o třetinu větší hodnotu proti původnímu materiálu.

Poslední čtvrtá recyklace způsobila nejmenší zlepšení tečení u drtě 3 – 4 mm a to pouze o 20 %. U neproseté drtě došlo k zlepšení o 31 %, které již vykazovala neprosetá drť při třetí recyklaci. Největší zlepšení dosáhla drť z prachových částic, která měla lepší index toku taveniny o více jak 40 % proti původnímu materiálu.

Tab. 7.29 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí ITT PA

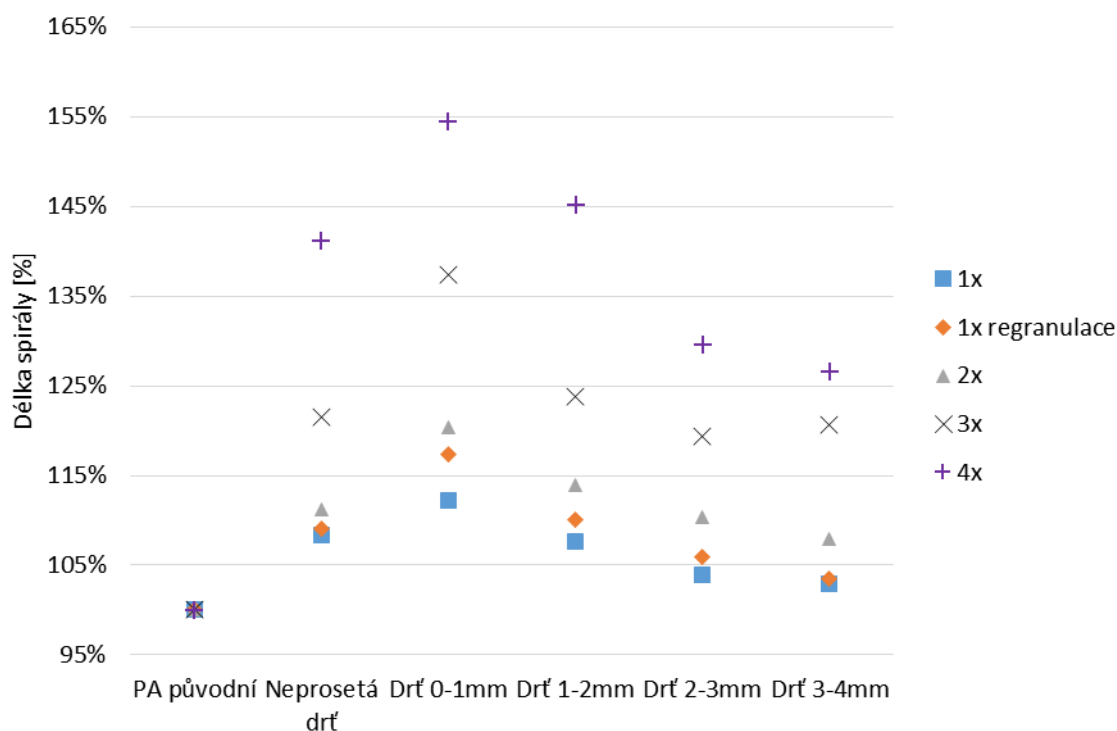
Počet recyklací	1x	1x regranulace	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat indexu toku taveniny byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Všechny drtě již od první recyklace, a případně jedné regranulace, vykazují statisticky významný rozdíl vůči původnímu materiálu. Došlo k výraznému nárůstu tečení materiálů.

7.2.15 Délka zatečení PA

Porovnáním výsledků zatékavosti jednotlivých drtí (Obr. 7.32) lze pozorovat vzestupnou tendenci zatečení recyklovaných drtí. U drtě 3 – 4 mm došlo pouze zlepšení zatečení o 3 %. Neprosetá drť a drť 1 – 2 mm zatekly lépe o 8 % a tavenina z prachových částic zatekla až o 12 % lépe než původní materiál.

Regranulace nezpůsobila téměř žádné další zlepšení vůči neproseté drti a drti 3 – 4 mm. U drtí 1 až 3 mm se zleštilo zatečení o 2 % vůči první recyklaci.



Obr. 7.32 Délka zatečení PA

Druhá recyklace způsobila postupné zvyšování hodnot, kdy tavenina z prachových částic zatekla lépe již od 20 %. Třetí recyklace zapříčinila větší posun hodnot délky spirály. Došlo zde k srovnání mezi drtí 2 – 3 mm a 3 – 4 mm, které vykazovaly o 20 % delší zatečení ve spirále. Tavenina z prachových částic dosáhla již delší zatečení o téměř 40 %.

Nejmenšího zatečení při čtvrté recyklaci dosáhla drť 3 – 4 mm, které je delší o 26 % vůči originálnímu polyamidu. Neprosetá drť zatekla lépe o 41 % a nejdelší spirálu vytvořila tavenina z prachových částic. Její hodnota přesáhla referenční taveninu téměř o 55 %.

Tab. 7.30 Hodnocení vlivu významnosti recyklovaných drtí zatečení PC

Počet recyklací	1x	1x regranulace	2x	3x	4x
PA původní	-	-	-	-	-
Neprosetá drť	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 0-1mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 1-2mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 2-3mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0
Drť 3-4mm	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0	Zamítá H_0

Statistická významnost rozdílu naměřených dat délky zatečení taveniny PC byla podrobena testováním hypotéz na základě Studentova t-testu. Vždy byly porovnávány hodnoty recyklovaného materiálu s hodnotami původního polymeru. Na základě zjištění tohoto testu s pravděpodobností $1-\alpha=0,95$ se

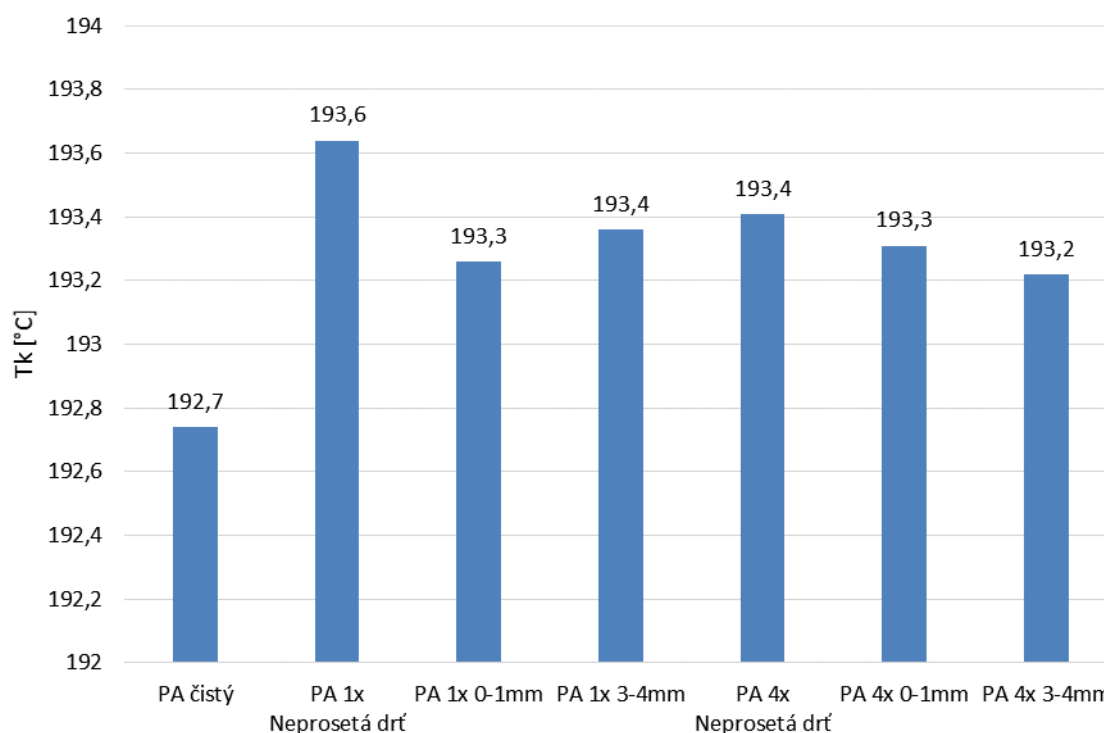
zamítá hypotéza H_0 ve prospěch hypotézy alternativní s možností omylu 0,05 (5 %) → Shodného výsledku mají drtě jako u ITT PA. Došlo k výraznému zlepšení zatékavosti již od první recyklace.

7.2.16 DSC PA

Metoda měření DSC byla zvolena pro ověření případné změny teploty tání a krystalinity u PA vlivem recyklace. Především hodnota stupně krystalinity by mohla naznačit, jakou souvislost má změna struktury materiálu s mechanickým chováním. Toto měření bylo provedeno pro vybrané materiály.

Teplota krystalizace PA

Na Obr. 7.33 lze pozorovat teplotu krystalizace polyamidu pro vybrané drtě. Lze pozorovat, že původní materiál krystalizuje při teplotě 192,7 °C, jež je nižší přibližně o půl stupně. Ostatní drtě vykazují vyšší teplotu, při které krystalizují. Rozdíly mezi nimi jsou ale minimální, pouze do dvou desetín stupně. Recyklace způsobila mírné zvýšení teploty krystalizace.

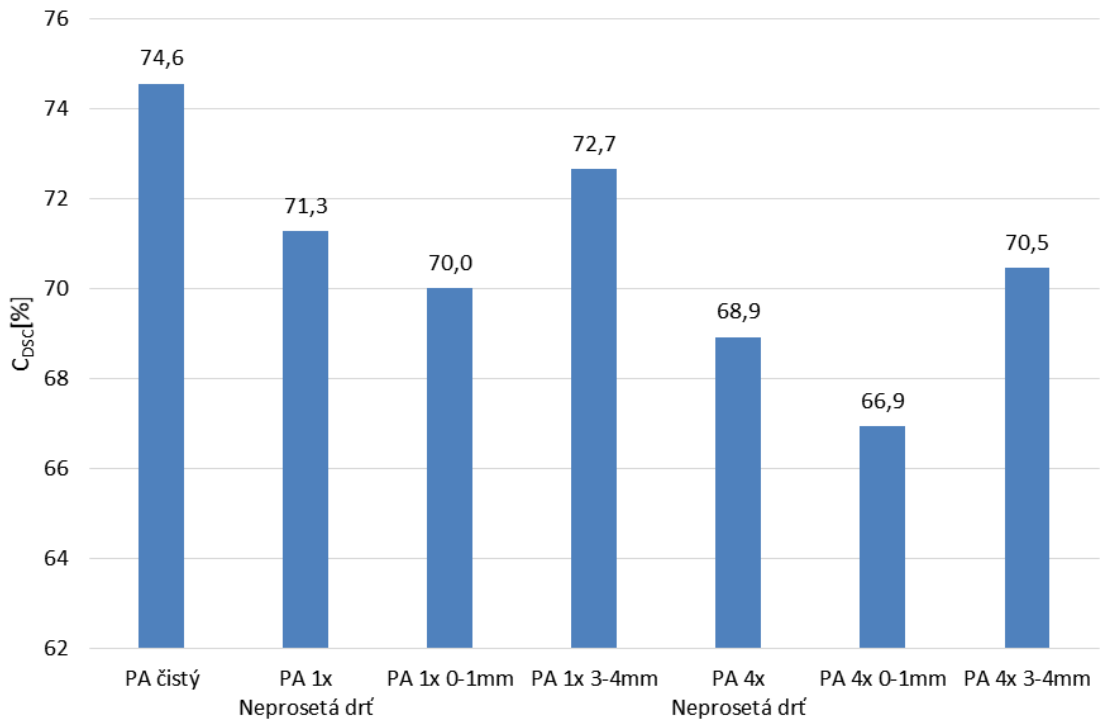


Obr. 7.33 Teplota krystalizace PA

Krystalinita PA

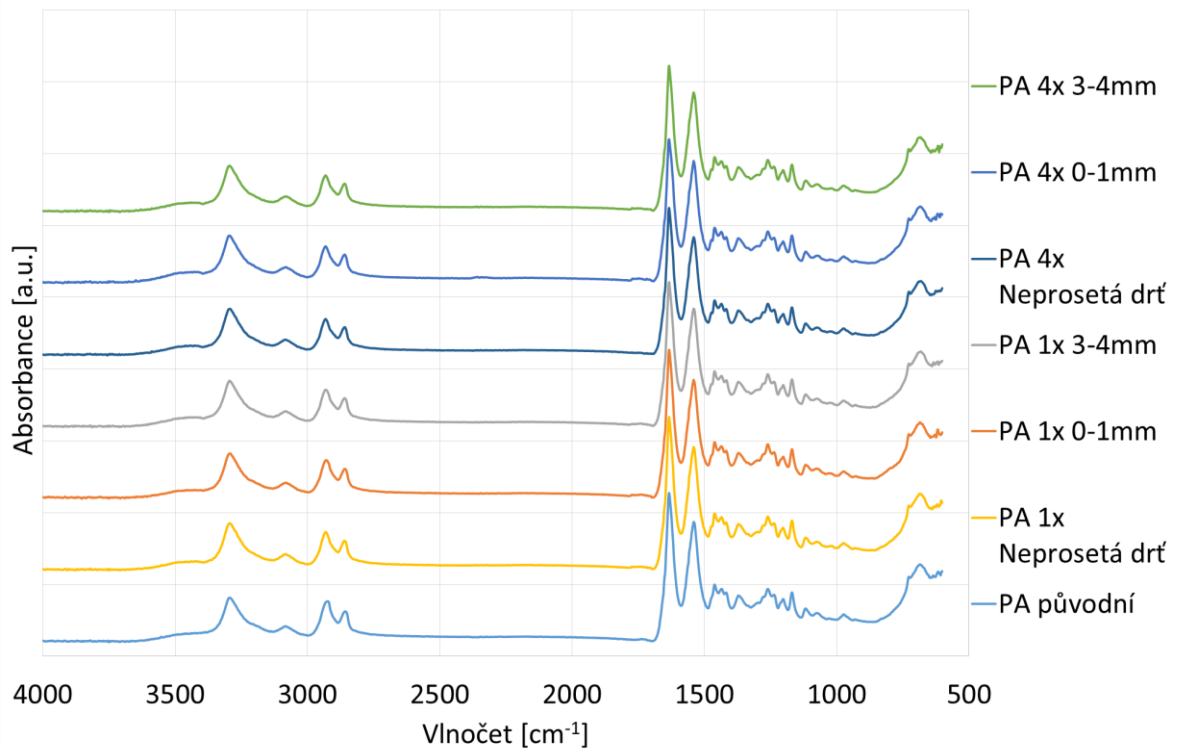
Na Obr. 7.34 je zobrazen stupně krystalinity PA v závislosti na recyklaci drtí. Původní polyamid dosáhl největšího stupně krystalinity až 74,6 %. První recyklace způsobila snížení krystalinity přibližně 3 %. U čtvrté recyklaci došlo k poklesu o téměř 8 %. Největší propady krystalinity vykazovaly drtě z prachových částic pro dané recyklace. Snížení krystalinity odpovídá chování

při testování mechanickým vlastností, která je závislá právě na stupni krystalinity.



Obr. 7.34 Krystalinita PA

7.2.17 FTIR PA



Obr. 7.35 FTIR PA

Na Obr. 7.35 lze vidět FTIR spektra vybraných drtí polyamidu. Při porovnání recyklovaných drtí a původního materiálu, lze vyzorovat vzestup spektra v oblasti $1700\text{--}1780\text{ cm}^{-1}$. Tato oblast signalizuje karbonylové skupiny, a tedy proběhlý termooxidační proces způsobující degradaci polymeru. Tento vzestup je poměrně malý, což potvrzují i předchozí studie [48, 49, 50]. Kdy i při mnohonásobném recyklování došlo k malému vzestupu těchto skupin.

7.3 Diskuze výsledků

Disertační práce se zabývá vlivem přípravy recyklátu na změnu zejména mechanických a zpracovatelských vlastností. Jako testovací materiály byly vybrány materiály, u kterých byla očekávána větší změna vlastností vlivem recyklace. Jsou jimi konstrukční polymery a to konkrétně semikrystalický polyamid 6 a amorfní polykarbonát.

Při výrobě výrobků z plastů vzniká vždy nějaký technologický odpad, ale tento dopad se ne vždy znovu využívá pro výrobu výrobků, u kterých tento odpad vznikl. To je dáno změnou vlastností výrobků vyrobených z recyklátu.

Odpad se pro další zpracování musí určitým způsobem zmenšit pro další zpracování, ale rozdílné technologie dělení vyrobí různě velké částice. Od velkých částic, které by se vzhledem ke svému objemu mohly později tavit až po prachové částice, které by se mohly naopak rychle tavit a případně tak tepelně degradovat.

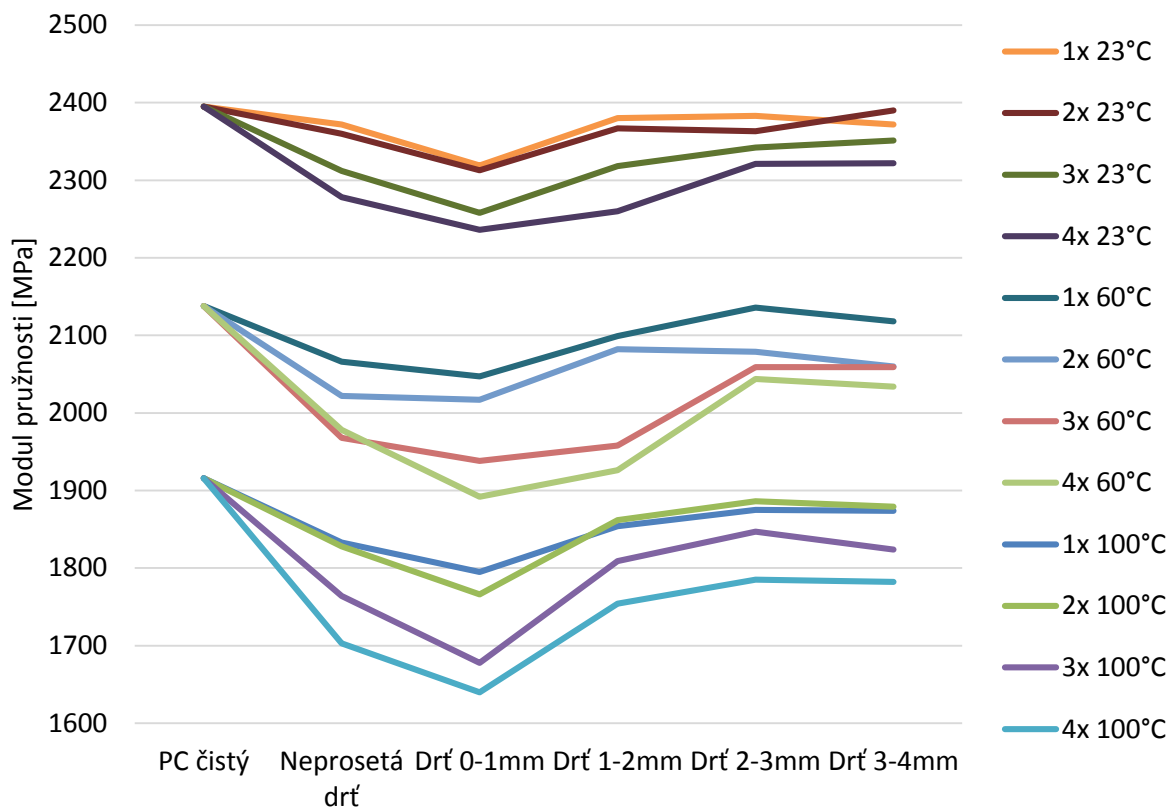
Níže uváděné grafy jsou v reálných hodnotách a data pro danou recyklaci jsou spojeny trendovou přímkou z důvodu přehlednosti.

Modul pružnosti PC

Z porovnání výsledků změn modulu pružnosti v tahu u zkoumaných recyklovaných drtí v závislosti na velikosti částic a počtu recyklací za pokojové 23 °C a zvýšených teplot 60 °C a 100 °C lze konstatovat, že se zvyšující teplotou roste i rozdíl hodnot modulů mezi původním materiálem a recyklovanými drtěmi pro dané teploty. Kdy při pokojové teplotě byl maximální rozdíl modulů jen 7 % a při zvýšené teplotě 100 °C byl rozdíl 14 %.

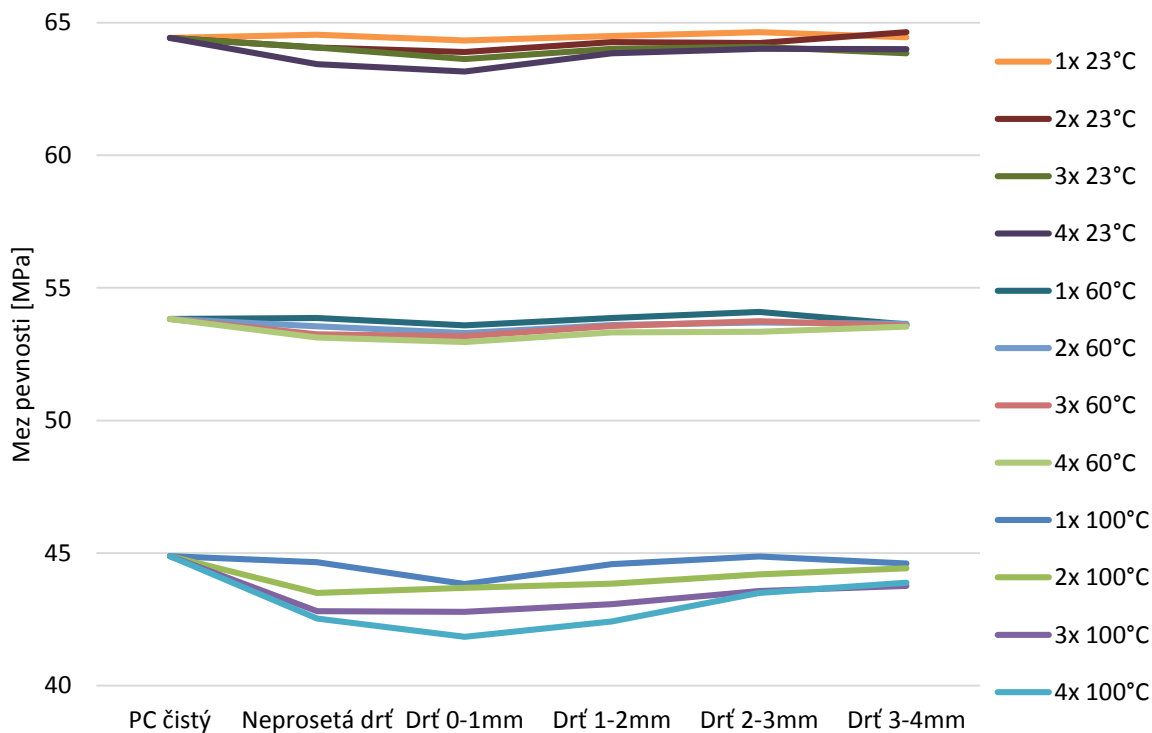
Se zvyšující teplotou došlo k poklesu hodnot modulu, přibližně o 250 MPa při každém zvýšení testovací teploty pro původní polykarbonát.

Recyklace způsobila i to, že drtě s většími částicemi 2 až 4 mm vykazovaly menší variační koeficient (5 – 8 %). Na druhou stranu drtě s menšími částicemi 0 – 2 mm vykazovaly většinou větší koeficient (7 – 11 %). Neprosetá drť obsahující tyto malé částice, se chovala podobně. Z toho vyplývá stabilnější proces výroby a chování výrobků.



Obr. 7.36 Modul pružnosti v tahu PC

Mez pevnosti PC



Obr. 7.37 Mez pevnosti PC

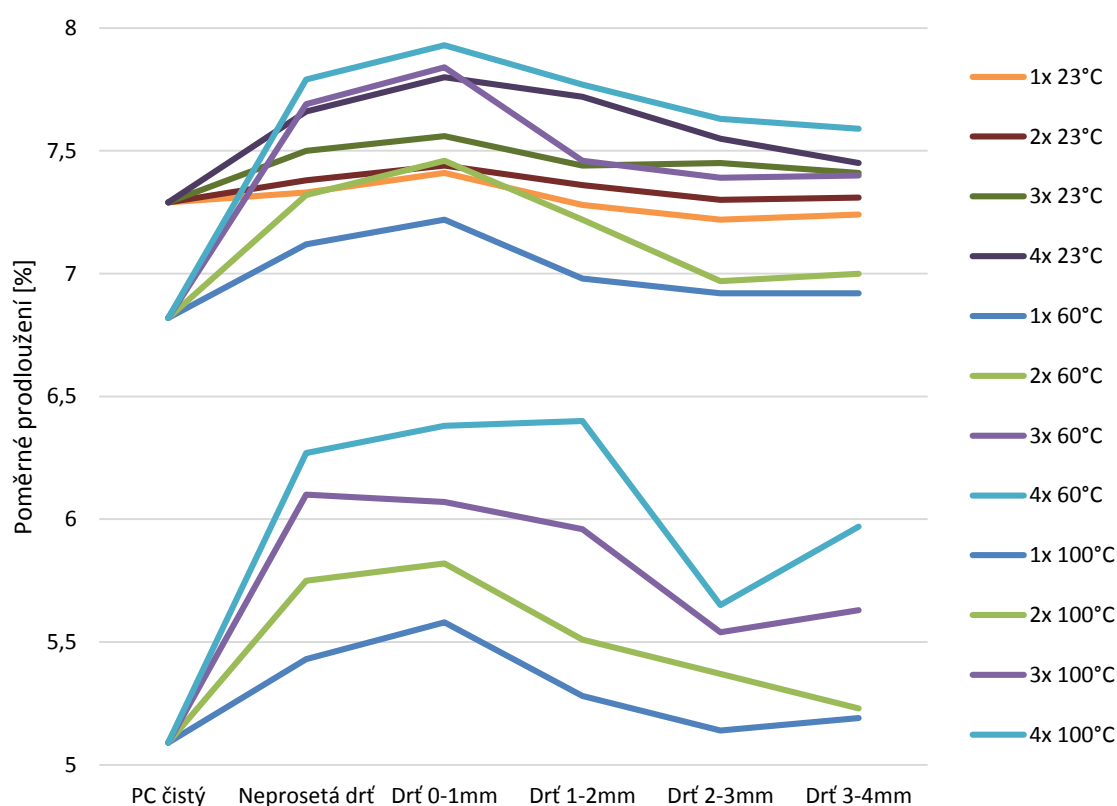
U meze pevnosti došlo pro teploty 23 °C a 60 °C k podobným maximálním rozestupům mezi původním materiálem a recyklovanými drtěmi. Tento rozdíl je do 2 %. Ale při vyšší teplotě (100 °C) se již projevil větší rozdíl (přes 6 %).

Mez pevnosti klesala přibližně o 10 MPa při každém zvýšení teploty měření, což je pokles okolo 16 %.

Naměřené hodnoty meze pevnosti vykazují vysokou důvěryhodnost a neliší se od sebe pro danou sadu měření. Tato důvěryhodnost je podložena variačním koeficientem, který se pohybuje pouze v řádech několika desetin procent pro první recyklaci. Ale se zvyšováním počtem recyklací se zvyšovala hodnota variačního koeficientu k jednomu procentu.

Poměrné prodloužení PC

Podobná tendence výsledků jako u modulu pružnosti v tahu se projevila i u poměrného prodloužení, kde se zvyšující se teplotou dochází k nárůstu maximálních rozdílů naměřených dat pro jednotlivé teploty. U pokojové teploty je rozdíl mezi původním materiálem a drtí z prachových částic, která má nejdelší protažení, pouze 7 %. Ale při teplotě 60 °C je tento rozdíl již 16 % a při teplotě 100 °C je rozdíl v protažení dokonce o 25 % větší. Zvětšení rozdílů vlivem teploty ve výsledcích u recyklovaných drtí při teplotě 60 °C je tak velké, že překryje hodnoty za teploty 23 °C.



Obr. 7.38 Poměrné prodloužení PC

Při zvyšování teploty docházelo ke zmenšování hodnoty poměrného protažení. Z hodnoty 7,3 % při 23 °C došlo k poklesu na 6,8 % při 60 °C a při 100 °C na hodnotu prodloužení 5,1 % pro původní materiál.

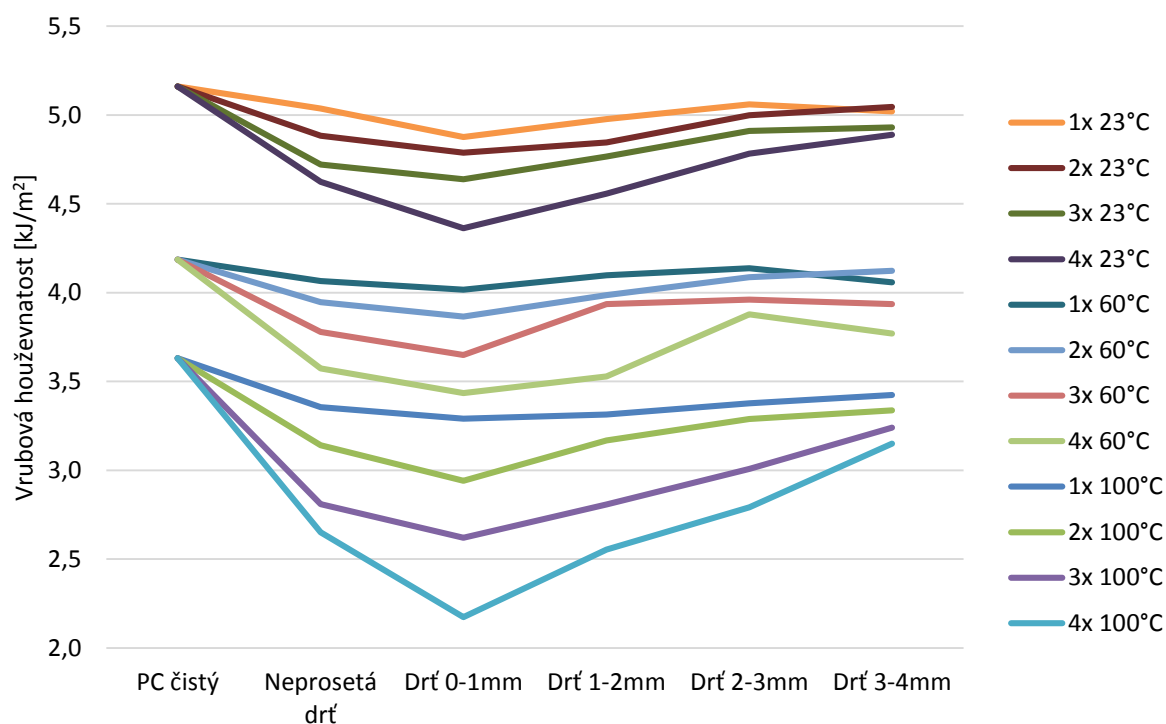
Opětovné zpracování materiálu způsobilo to, že při zvyšování počtu recyklací se zvedá i variační koeficient. Pro první recyklaci se hodnota koeficientu pohybuje kolem 2%, ale již při čtvrté recyklaci se zvýšila hodnota dvojnásobně (u teploty 23 °C). Zvýšením teploty (na 60 °C) se zvedala i hodnota variačního koeficientu a při teplotě 100 °C se jeho hodnota se zvětšila na 10 % pro čtvrtou recyklaci.

Vrubová houževnatost PC

Recyklace způsobila pro teploty 23 ° a 60 °C přibližně podobné maximální odchylky okolo 16 % mezi referenčním polykarbonátem a drtí z prachových částic při čtvrté recyklaci, která měla největší pokles houževnatosti. Za zvýšené teploty 100 °C se ale tento rozdíl zvětšil až na hodnotu 40 %. U drtě 3 – 4 mm došlo jen k 13% zhoršení hodnoty vrubové houževnatosti vůči referenčnímu materiálu.

Zvyšováním teploty při měření docházelo k poklesu hodnot houževnatosti. Přibližně o 1 kJ/m² při každém zvýšení teploty.

Naměřená data vykazovala pro všechny teploty podobnou důvěryhodnost pro dané drtě. Původní polymer měl hodnotu variačního koeficientu přibližně 4 %. U recyklovaných materiálů došlo k nárůstu této hodnoty až na hodnotu 10 %, nejčastěji pro drtě s menšími částicemi.



Obr. 7.39 Vrubová houževnatost PC

Zkouška tvrdosti PC

Recyklace neměla příliš velký vliv na změnu tvrdosti, hodnoty se lišily pouze v řádu jednoho procenta. Ale tyto změny již jsou statisticky významné pro drtě s menšími částicemi 0 až 2 mm od třetí recyklace. U drtí 2 až 4 mm k tomuto efektu nedošlo a tak mají hodnoty tvrdosti pro všechny recyklace statisticky nevýznamný rozdíl. Tento rozdíl je dán i tím, že naměřená data mají vysokou důvěryhodnost, protože hodnoty variačních koeficientů se pohybují do většinou do půl procenta.

Zkouška indexu toku taveniny PC

U zkoušky indexu toku taveniny došlo k výraznějšímu projevu změny naměřených hodnot u regranulovaných materiálů vůči první recyklaci pro dané testované drtě. Tyto změny se tolik neprojevily u předešlých mechanických vlastností.

První recyklace způsobila menší zvýšení hodnoty indexu taveniny o několik procent pro drt' 2 – 3 mm. Ale na druhou stranu při posledním zpracování drt' z prachových částic měla vyšší hodnotu o téměř 20% lepší vůči původnímu polykarbonátu. Naměřená data vykazují poměrně vysokou důvěryhodnost, protože hodnoty variačního koeficientu se pohybují kolem půl procenta a v celém průběhu recyklování se jeho hodnota nezvyšuje.

Zkouška zatékavosti PC

Zkouška zatékavosti má podobnou tendenci jako index toku taveniny. Došlo jen k většímu maximální zlepšení, které je o 25 % větší u drtě z prachových částic vůči původnímu materiálu. Hodnoty variačního koeficientu se v průběhu recyklace výrazněji nemění a pohybují se v řádu dvou procent.

Diferenciální skenovací kalorimetrie PC (DSC)

Metoda měření diferenciální skenovací kalorimetrie DSC ukázala, že u vybraných recyklovaných drtí poklesla teplota skelného přechodu. U drtí 3 – 4 mm bylo snížení teploty menší oproti drti z prachových částic, u kterých byl znatelnější pokles. U drtě z prachových částic poklesla teplota přes půl stupně po první recyklaci a téměř o jeden stupeň po čtvrté recyklaci vůči původnímu polykarbonátu.

Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací PC (FTIR)

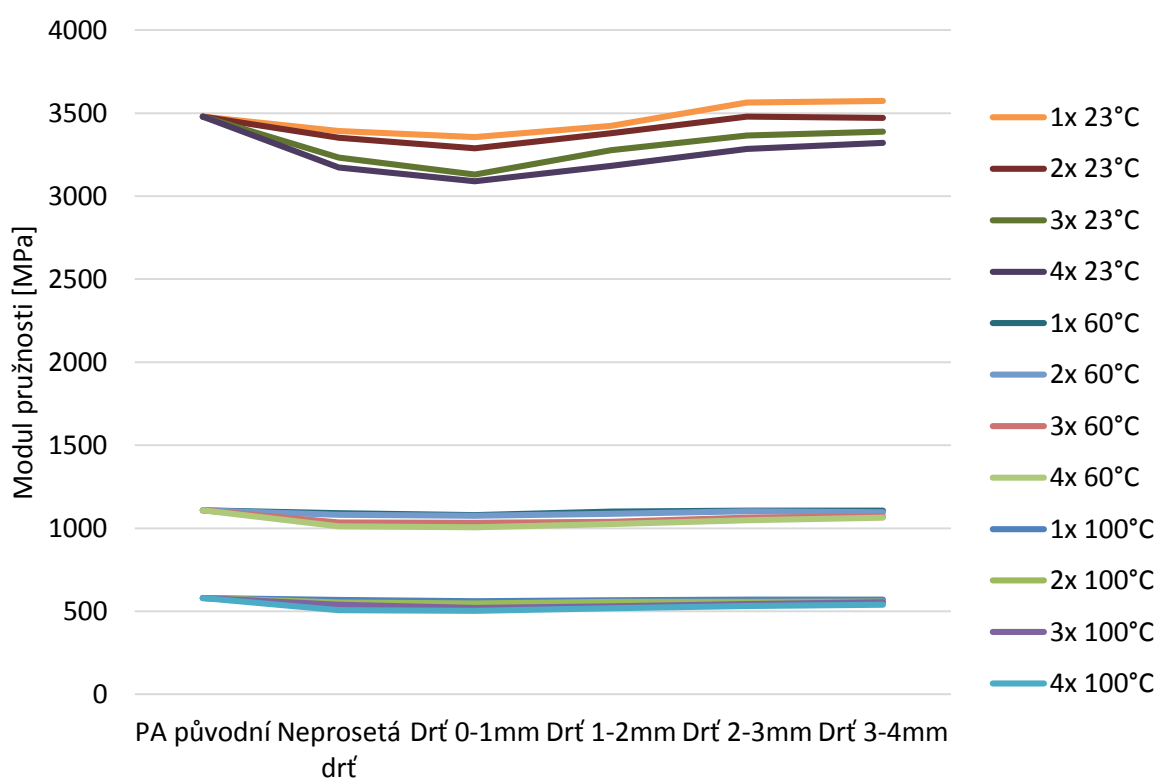
Infračervená spektroskopie ukázala, že vlivem recyklace došlo k degradaci polykarbonátu. Štěpením řetězců vznikly zejména hydroxylové skupiny, které jsou charakteristické při degradaci polykarbonátu způsobené hydrolyzou. Původní polykarbonát nevykazuje žádnou degradaci materiálu.

Modul pružnosti PA

Modul pružnosti v tahu měřený při pokojové teplotě 23 °C a zvýšených teplotách 60 °C a 100 °C pro testované recyklované drtě podle velikosti částic lze pozorovat na *Obr. 7.40*. Zvyšováním teploty nedochází k zvyšování maximálního rozdílu pro dané teploty mezi původním polyamidem a drtí s největším snížením modulu, kterým je vždy drť z prachových částic. Tento rozdíl se pohybuje okolo 11 %.

Zvýšením teploty z 23 °C na 60 °C došlo v poklesu modulu pružnosti přibližně na jednu třetinu (pokles o 2370 MPa). Tento pokles je dán přechodem přes teplotu skelného přechodu (38 °C). Dalším zvýšením teploty na 100 °C byl pokles již jen poloviční (pokles o 530 MPa).

Naměřená data modulu pružnosti vykazují vyšší důvěryhodnost u drtí s většími částicemi 2 až 4 mm. Zvyšování zkušební teploty i počtu recyklací se zvyšoval i variační koeficient, kdy pro první recyklaci při 23 °C se jeho hodnota pohybovala kolem 4 %, ale již při teplotě 100 °C a čtrté recyklace se jeho hodnota pohybovala okolo 10 %.

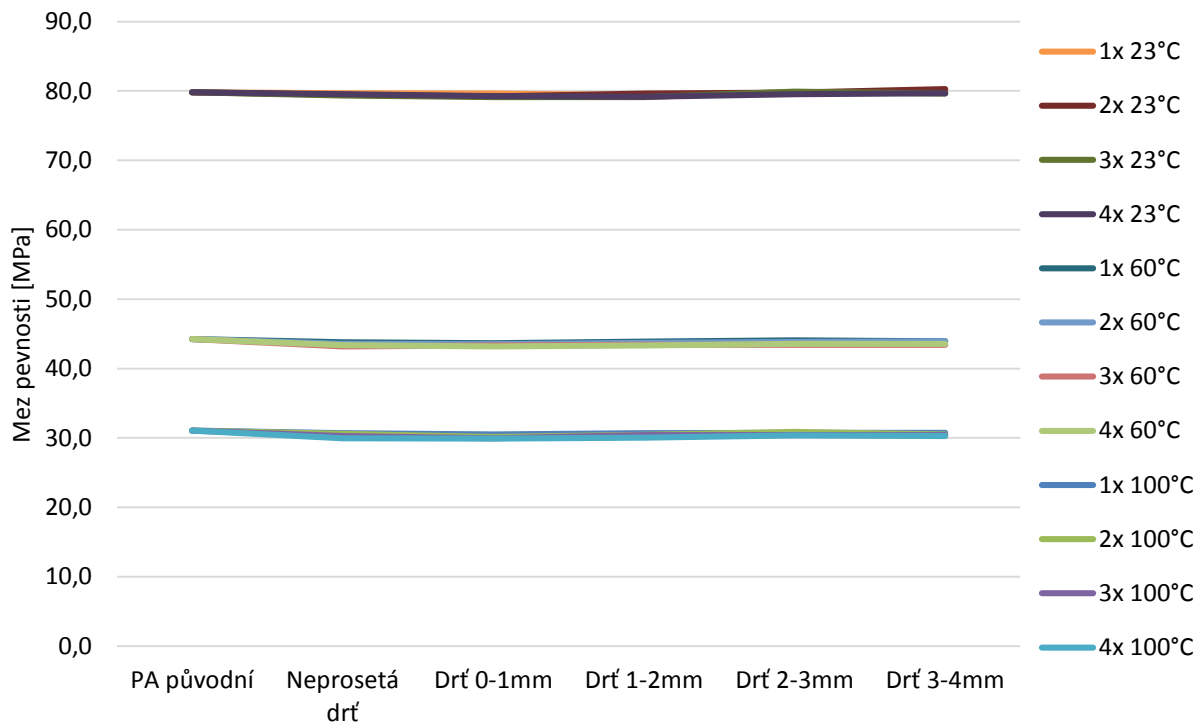


Obr. 7.40 Modul pružnosti v tahu PA

Mez pevnosti PA

Mez pevnosti polyamidu vykazuje se zvyšující teplotou zvyšující se maximální rozestup mezi původním materiálem a recyklovanými drtlemi. Při

pokožové teplotě 23 °C je tento rozestup pouze jedno procento, při teplotě 60 °C je již přes dvě procenta a při teplotě 100 °C skoro čtyři procenta.



Obr. 7.41 Mez pevnosti PA

Se zvýšením teploty z 23 °C na 60 °C došlo i k poklesu meze pevnosti o necelou polovinu. Při zvýšení teploty na 100 °C došlo k dalšímu snížení hodnoty pevnosti o necelou třetinu.

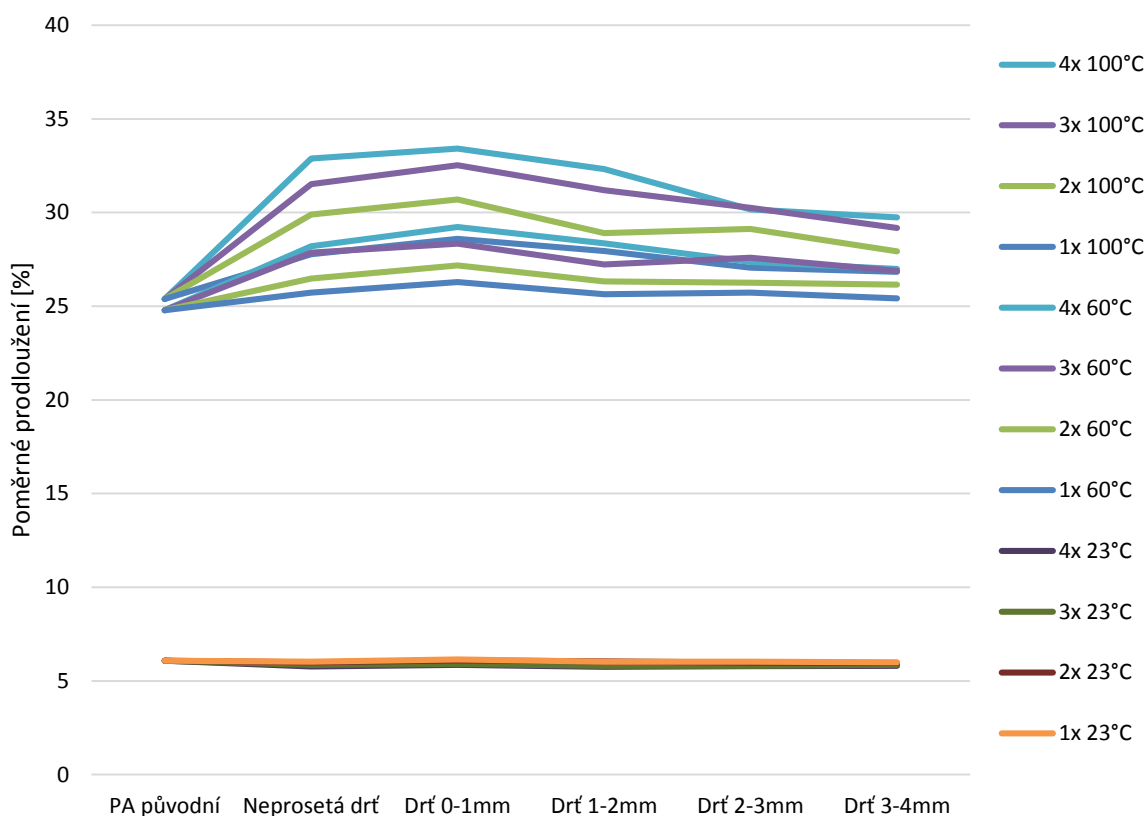
Podobně jako u polykarbonátu, tak i zde došlo u meze pevnosti k situaci, že naměřená data mají vysokou důvěryhodnost, protože hodnota variačního koeficientu se pohybuje okolo jednoho procenta při pokojové teplotě 23 °C. Ale se zvýšením teploty na 60 °C či 100 °C došlo ke zvýšení variačního koeficientu ke třem procentům.

Poměrné prodloužení PA

Poměrné prodloužení v tahu (Obr. 7.42) se při pokojové teplotě snižovalo s rostoucím počtem recyklací. Docházelo ke zmenšování prodloužení, kdy nejnižší hodnotu vykazovala drť 1 – 2 mm (o 5% nižší než původní materiál).

Ale při zvýšení zkušební teploty na 60 ° a 100 °C se situace obrátila. Kdy se vzrůstajícím počtem recyklací docházelo ke zvětšování prodloužení. Drť z prachových částic při čtvrté recyklaci vykazuje až o třetinu větší protažení.

Zvětšení protažení došlo i při zvýšení z teploty 23 °C, kde bylo protažení pro původní polyamid 6,1 %. U teploty 60 °C stoupla hodnota čtyřnásobně na 24,8 % a za teploty 100 °C již jen na 25,4 %.



Obr. 7.42 Poměrné prodloužení PA

Větší míru důvěryhodnosti naměřených dat vykazují drtě s většími částicemi 2 až 4 mm, které mají hodnotu variačního koeficientu okolo 6 %. Drtě s menšími částicemi a tedy i neprosetá drť mají tuto hodnotu vyšší, přibližně 10 %.

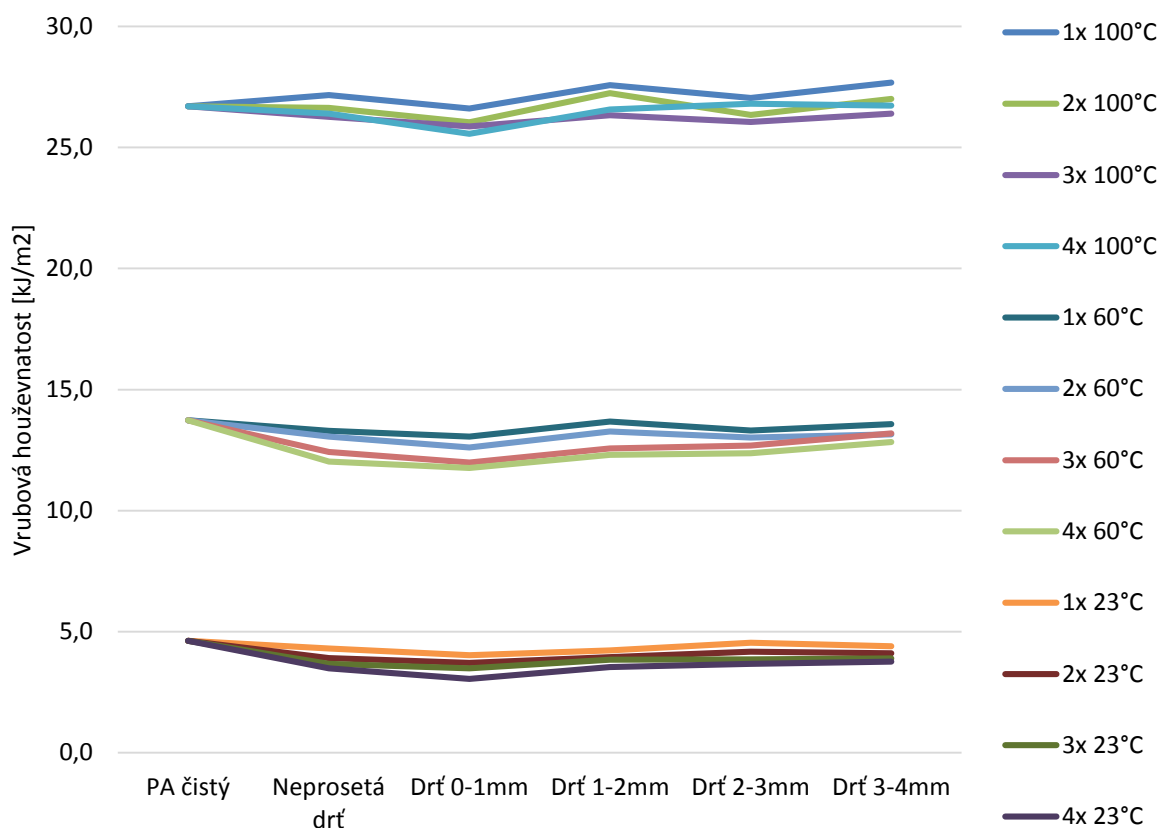
Vrubová houževnatost PA

Vlivem zvyšování zkušební teploty došlo ke snižování maximálního rozestupu hodnot vrubové houževnatosti mezi referenčním polyamidem a recyklovanými drtěmi pro dané teploty.

Za teploty 23 °C byl pokles houževnatosti u drtě z prachových částic při čtvrté recyklaci až o 34 %. Za zvýšené teploty 60 °C ale došlo ke snížení rozdílu naměřených hodnot na 14 %. Za teploty 100 °C došlo k dalšímu snížení tohoto rozdílu, pouze na hodnotu 4 % pro drť z prachových částic při čtvrté recyklaci. První recyklace dokonce zlepšila vrubovou houževnatost o necelé 4 %.

Zvýšením teploty při měření z pokojové na teplotu 60 °C došlo k nárůstu vrubové houževnatosti přibližně trojnásobnému. Dalším zvýšením na teplotu 100 °C přineslo ještě dvojnásobný růst.

Naměřená data se stoupající teplotou vykazují mírný pokles variačního koeficientu.



Obr. 7.43 Vrubová houževnatost PA

Zkouška tvrdosti PA

Tvrdość recyklovaných drtí ukázala, že hodnoty poklesly maximálně pouze o 1,5 % u drtí při čtvrté recyklaci. Tento pokles je relativně malý, ale je to již statisticky významný rozdíl pro neprosetou drť a drť z prachových částic již při první recyklaci. Od třetí recyklace to platí již pro všechny recyklované drtě. Je to dáno i tím, že data vykazují velkou důvěryhodnost. Variační koeficient se pohybuje jenom do jedno procenta.

Zkouška indexu toku taveniny PA

Obdobně jako u polykarbonátu došlo k situaci, že až u zkoušky indexu toku taveniny přineslo větší změny regranulovaného recyklátu oproti první recyklaci pro daný typ drtě.

Ihned první recyklace způsobila zvětšení hodnot indexu toku taveniny o více jak 10 % u drtí s malými částicemi 0 až 2 mm. Poslední čtvrtá recyklace přinesla u drtě z prachových částic zlepšení tečení až o 40 %, drť 3 – 4 mm vykazovala jenom poloviční zlepšení (o 20%) vůči původnímu materiálu.

Variační odchylka se během všech čtyř recyklací neměnila a její hodnota se u všech drtí pohybovala na hodnotě kolem jednoho procenta. Tedy naměřená data vykazují vysokou důvěryhodnost.

Zkouška zatékavosti PA

Podobnou tendenci jako u zkouška indexu toku taveniny vykazuje i zkoušky zatékavosti, postupné zvyšování délky zatečení polymerní taveniny ve spirále. Jen největší zlepšení přesahuje hodnotu o polovinu vyšší než původní polyamid, která vykazuje drť z prachových částic u čtvrté recyklace. Naměřená data tedy během celého měření vykazovala shodnou důvěryhodnost.

Diferenciální skenovací kalorimetrie PA (DSC)

Diferenciální skenovací kalorimetrie ukázala, že vlivem recyklace se zvýšila teplota krystalizace o půl stupně pro všechny recyklované materiály, které byly měřeny. Došlo jenom ke zvýšení teploty bez dalšího nárůstu vlivem většího počtu recyklací.

Naměřená data stupně krystalinity ukázala větší rozdíly mezi recyklovanými materiály. Původní polyamid vykazuje největší stupeň krystalinity. Již první recyklace způsobila pokles krystalinity přibližně o 3 procenta a čtvrtá recyklace způsobila pokles o téměř 8 %. Snížení krystalinity je nejvíce patrné u drtí z prachových částic pro dané recyklace. Mechanické vlastnosti jsou závislá na stupni krystalinity u semikrystalických polymerů a tak jeho poklesem se snížili i tyto vlastnosti.

FTIR PA

Naměřená FTIR spektra ukázala, že došlo k degradaci polyamidu vlivem recyklace. Došlo ke vzniku karbonylových skupin, ale nárůst těchto skupin není tak patrný jako u polykarbonátu. Došlo tedy k termooxidačnímu procesu způsobující degradaci polymeru.

U obou materiálu lze pozorovat pokles mechanických vlastností. Nejlépe to lze vyzorovat u vrubové houževnatosti. Naopak u zpracovatelských vlastností došlo ke zlepšení až o polovinu. Drtě z prachových částic vykazují největší změny téměř ve všech měřených vlastnostech. S postupným zvětšováním částic se zmenšuje i vliv recyklace. U drtí 2 – 4 mm docházelo k případům, že i po čtvrté recyklaci vykazovaly statisticky nevýznamné rozdíly s původním polymerem.

Se zvyšováním zkušební teploty se zvyšovaly i rozdíly mezi připravenými drtěmi a původními materiály téměř ve všech případech. Vyšší zkušební teploty byly zvoleny z důvodu, že se testované materiály využívají i za zvýšených teplot, například v automobilech, kde se v oblasti motoru a světel mohou vyskytovat takovéto teploty.

Regranulace zapříčinila změny pouze u zpracovatelských zkoušek, kde došlo ke zvýšení naměřených hodnot. U mechanických vlastností se takto přípravné materiály chovaly podobně jako drtě daných velikostí při první recyklaci.

Další problematika vyplynula z pohledu práce s recyklovanou drtí. Zejména drtí z prachových částic. Tyto částice jsou příliš lehké a tak se vlivem statického náboje přilnávaly ke všem plochám (násypka, prosévací miska, apod.). S drtí 1 – 2 mm a většími se již takový problém nevyskytoval. Po regranulaci drtí z prachových částic se tento problém již nevyskytoval.

8 PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI

Předložená práce se zabývá vlivem přípravy recyklovaného materiálu na vlastnosti výrobku. Měření bylo provedeno tak, aby výsledky byly aplikovatelné v praxi.

Předpokládané hlavní přínosy předložené práce budou v následujících směrech:

- Lepší pochopení vlivu přípravy recyklátu na mechanické a zpracovatelské vlastnosti výrobku.
- Využití výsledků měření pro bližší popis chování recyklovaného materiálu a pro lepší možnosti aplikace pro zvolené materiály v praxi.
- Ekonomický dopad na náklady spojené s nákupem primárního materiálu, náklady vynaložené na likvidaci odpadu a náklady na energetické vstupy při zpracování.
- Omezení negativního účinku odpadů na životní prostředí
- Vhodnější využití technologického odpadu.

9 ZÁVĚR

Předložená práce se zabývá výzkumem vlivu zpracování odpadu z termoplastů na vlastnosti výrobku.

Bylo přichystáno několik typů drtí recyklovaného materiálu, které se lišily velikostí částic, jež vznikly při drcení polymerního technologického dopadu. Byla to neprosetá drť přímo z drtiče, obsahující všechny velikosti částic. Pomocí prosévání byla drť rozdělena na jednotlivé frakce, lišící se velikostí částic. Od malých prachových částic, až po velké částice, větší než původní granulát. Testované konstrukční materiály byly semikrystalický polyamid 6 a amorfní polykarbonát. Recyklovaný materiál byl vždy použit ze stejného materiálu, jako je původní nezpracovaný polymerní materiál. Recyklace byla provedena 4x, aby se lépe projevil vliv vícenásobného zpracování. Další metoda, která byla využita k přípravě recyklátu, byla regranulace předešlých drtí.

Takhle připravené a zpracované drtě byly podrobeny mechanickým a zpracovatelským zkouškám. Mechanické zkoušky byly měřeny při pokojové teplotě 23 °C, ale i zvýšené teplotě 60 °C a 100 °C, kromě zkoušky tvrdosti. Naměřené výsledky byly podpořeny měřením složení materiálů.

Z výsledků lze sledovat, že recyklované drtě s většími částicemi v celém průběhu měření mají menší změny v měřených vlastnostech. Postupně se pak tyto změny zvyšovaly se zmenšováním velikostí částic až k drtím z prachových částic, které přinesly největší změny. Neprosetá drť, obsahující všechny velikosti částic, vykazovala větší změny vlastností než drtě s většími částicemi 2 až 4 mm a byla tedy pravděpodobně ovlivněná prachovými částicemi.

Přidáním dalšího zpracování (tepelně-mechanického namáhání) - regranulace, nepřineslo změny v mechanických vlastnostech vůči první recyklaci. Regranulace se projevila až u tokových vlastností, kde došlo ke zvýšení naměřených hodnot.

Obsah drtí z prachových částic byl pouze 2 % z celkové hmotnosti neproseté drtě. I když je tento obsah velmi malý, má velký vliv na neprosetou drť. Částečně tomu dopomohla i drť 1 – 2 mm, která často vykazovala větší změny vlastností oproti drtím 2 až 4 mm.

Recyklace způsobila u znovu zpracovaných materiálů pokles hodnot o 7 % u modulu pružnosti a poměrného protažení. Na vrubovou houževnatost měla recyklace větší vliv, došlo ke snížení hodnot o 16 % u PC a o 34 % u PA. Na druhou stranu došlo k malým změnám u meze pevnosti a tvrdosti, kde byl pokles hodnot jen do jednoho procenta. Uvedené příklady změn náleží teplotě 23 °C pro čtvrtou recyklaci. Se zvyšující se teplotou se zvyšovaly i naměřené rozdíly, kromě vrubové houževnatosti PA, kde se rozdíly zmenšovaly.

Tokové vlastnosti charakterizované indexem toku taveniny a zatékavostí taveniny testovaných polymerů naopak vykazovaly opačnou tendenci, tj. nejlepší tokové vlastnosti vykazovala tavenina z prachových částic.

Recyklace způsobila i změnu teploty skleného přechodu a teplotu krystalinity. Pokles krystalinity potvrzuje změnu mechanického chování u PA. Ke změnám došlo i kvůli degradaci materiálů. Vlivem degradace došlo k vzniku hydroxylových a karbonylových skupin.

Recyklovaný polykarbonát vykazoval v celém průběhu měření pozvolnější změny v měřených vlastnostech oproti recyklovanému polyamidu, u kterého došlo mezi druhou a třetí recyklací často k výraznějším rozdílu naměřených hodnot.

U drtí s prachovými částicemi většinou dochází k většímu rozptylu naměřených hodnot, a tedy vykazují tudíž nižší stabilitu chování u měřených vlastností oproti původním materiálům či drtěmi s většími částicemi. Z toho vyplývá méně stabilní proces výroby a případně horší konečné vlastnosti výrobků.

Doporučení je takové, že by bylo vhodné odstranit z neproseté drtě prachové částice, popřípadě i částice velikosti 1 – 2 mm. Tím by se dosáhlo menšího poklesu mechanických vlastností a lepšího využití technologického odpadu.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Goodship, Vanessa. Introduction to plastics recycling. 2nd ed. Shrewsbury: Smithers Rapra Technology, 2007, iv, 174 s. ISBN 978-1-84735-085-5.
- [2] Moraczewski, K. Characterization of Multi-injected Poly(epsilon-caprolactone). *Polymer Testing*. 2014, vol. 33 s. 116-120. ISSN:0142-9418.
- [3] La Mantia, Francesco Paolo. Handbook of plastics recycling. Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, UK: Rapra Technology Ltd. 2002. ISBN 1-85957-325-8.
- [4] Bahlouli, N., Pessey, D., Raveyre, C., Guillet, J., Ahzi, S., Dahoun, A., Hiver, J.M., Recycling effects on the rheological and thermomechanical properties of polypropylene-based composites. *Materials and Design*, 33 (1), pp. 451-458, 2012. ISSN: 0264-1275.
- [5] Duarte, Glaucea Warmeling; Pellegrin, Marcelo Zaniboni de; Júnior, Jair Fiori; Santos, André Luiz Grandó; Riella, Humberto Gracher; Fiori, Márcio Antônio. Mechanical Properties of Recycled Compounds of Polypropylene for Building Products., *Journal of Materials Science Research*. 2014, vol. 3, no. 194. ISSN:1927-0585.
- [6] Aurrekoetxea, J., Sarrionandia, M.A., Urrutibeascoa, I., Maspoch, M.Ll. Effects of recycling on the microstructure and the mechanical properties of isotactic polypropylene. *Journal of Materials Science*, 36 (11), pp. 2607-2613, 2001. ISSN: 0022-2461.
- [7] La Mantia, Francesco Paolo. Recycling of plastic materials. Toronto: ChemTec Pub., c1993, vi, 189 p. ISBN 18-951-9803-8..
- [8] Brandrup, Johannes. Recycling and recovery of plastics. Munich: Hanser Publishers, 1996, xxxiv, 893 s. ISBN 1-56990-214-3.
- [9] Miller, Laurel a Stephen Aldridge. Why shrink-wrap a cucumber?: the complete guide to environmental packaging. London: Laurence King Publishing, 2012, 248 s. ISBN 978-1-85669-757-6.
- [10] Kizlink, Juraj. Nakládání s odpady. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2007, 284s. ISBN 978-80-214-3348-9.
- [11] La Mantia, Francesco Paolo. Recycling of Pvc and Mixed Plastic Waste. Toronto: ChemTec Pub, 1996. ISBN 1-895198-11-9.

- [12] Chain extension of poly (ethylene terephthalate) by reactive extrusion with secondary stabilizer (2012) *Materials Research*, 15 (3), pp. 467-472. ISSN 1516-1439.
- [13] Mleziva, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.
- [14] Kuta, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2007. 978-80-7080-367-7.
- [15] Kudláček, Ivan. *Ekologie průmyslu*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 8001024954.
- [16] Kepák, František. *Průmyslové odpady*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 2005, sv. ISBN 80-7044-709-51.
- [17] José Aguado, David P. *Feedstock recycling of plastic wastes*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 1999, 206 p. ISBN 978-085-4045-310.
- [18] Lenfeld, Petr. *Technologie vstřikování*. Technická univerzita v Liberci. 2015 ISBN: 978-80-88058-74-8.
- [19] Kučerová, Eva. *Elektrotechnické materiály a prostředí*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2002. 174 s. ISBN: 80-7082-940-0.
- [20] Mañas, Miroslav, Michal Staněk a David Mañas. *Výrobní stroje a zařízení I*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 264 s. ISBN 978-80-7318-596-1.
- [21] Mañas, Miroslav, Helštýn, Josef. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenská a plastikářské stroje II*. Editační středisko VUT Brno, 1990. ISBN 80-214-0213.
- [22] Bobčík, Ladislav a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů: I.díl – Vstřikování termoplastů*. Uniplast Brno, 1999 jako 2. upravené vydání.
- [23] Odboru technologie tváření kovů a plastů FSI VUT v Brně. *Vstřikovací formy*. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/>.
- [24] Technická univerzita v Liberci, Katedra strojírenské technologie, *Studijní materiály*. Dostupné z: www.ksp.tul.cz.
- [25] Beaumont, John P. *Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.

- [26] Vojtěch, Dalibor. Materiály a jejich mezní stavy. Vyd. 1. V Praze: Vysoká škola chemicko-technologická, 2010, 204 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
- [27] Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. Dostupné z <http://www.ksp.vslib.cz/>.
- [28] Ptáček, Luděk. Nauka o materiálu II. Brno: CERM, c1999, 350 s. ISBN 80-720-4130-4.
- [29] Kolouch, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstříkáním. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha 1, 1986. ISBN 04-247-86.
- [30] Campo, E. Selection of Polymeric Materials - How to Select Design Properties from Different Standards. William Andrew Publishing/Plastics Design Library. 2008. ISBN 978-0-8155-1551-7.
- [31] Wypych, George. Handbook of Plasticizers (2nd Edition). ChemTec Publishing. 2012. ISBN 978-1-895198-50-8.
- [32] Osswald, Tim A. International plastics handbook: the resource for plastics engineers. 4. přeprac. vyd. Cincinnati: Hanser, 2006, 902 s. ISBN 978-1-56990-399-5..
- [33] ČSN EN ISO 527-1:2012. Plasty – Stanovení tahových vlastností – část 1: Základní principy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2012.
- [34] ČSN EN ISO 527-2:2012. Plasty – Stanovení tahových vlastností – část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [35] ČSN EN ISO 179-1:2010. Plasty – Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy - Část 1: Neinstrumentovaná rázová zkouška. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [36] ČSN EN ISO 179-2:2000. Plasty – Stanovení rázové houževnatosti Charpy – část 2: Instrumentovaná rázová zkouška. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
- [37] ČSN EN ISO 868:2003. Plasty a ebonit – Stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
- [38] Staněk, Michal, Mañas, David A Miroslav Mañas. Stavebnicová testovací vstříkací forma. Česká republika. Užitečný vzor. 2012.

- [39] ČSN EN ISO 1133-1:2012. Plasty - Stanovení hmotnostního (MFR) a objemového (MVR) indexu toku taveniny termoplastů - Část 1: Standardní metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [40] ČSN EN ISO 11357. Plasty - Diferenciální snímací kalorimetrie. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [41] Kocman, Karel. Speciální technologie: obrábění. 3., přeprac. a dopl. vyd. Brno: CERM, 2004. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2562-8.
- [42] Hindls, Richard. Statistika pro ekonomy. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-43-6.
- [43] Friedrich, Václav. Statistika pro ekonomy. 2. přepracované vydání. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Regionální centrum celoživotního vzdělávání, 2006. 241 s. ISBN 80-248-0381-X.
- [44] Neubauer, Jiří, Sedlačík, Marek a Kříž, Oldřich. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4273-1.
- [45] Řezanková, Hana a Löster, Tomáš. Základy statistiky. Praha: Oeconomica, 2013. ISBN 978-80-245-1957-9.
- [46] Meloun, Milan a Militký, Jiří. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
- [47] Meloun, Milan a Militký, Jiří. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
- [48] Weifu Dong, Pieter Gijsman, Influence of temperature on the thermo-oxidative degradation of polyamide 6 films, Polymer Degradation and Stability, Volume 95, Issue 6, June 2010, Pages 1054-1062, ISSN 0141-3910.
- [49] Kuan-Hua Su, Jia-Horng Lin, Chih-Ching Lin, Influence of reprocessing on the mechanical properties and structure of polyamide 6.
- [50] Crespo, J.E; PARRES, F; PEYDRÓ, M.A; NAVARRO, R. Study of Rheological, Thermal, and Mechanical Behavior of Reprocessed Polyamide 6. Polymer Engineering & Science. 2013, vol. 53, no. 4 s. 679-688. ISSN:0032-3888.

- [51] Kocman, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [52] Kuram, Emel; TASCI, Enis; ALTAN, Ali Ihsan; MEDAR, Mehmet Metin; YILMAZ, Faruk; OZCELIK, Babur. Investigating the Effects of Recycling Number and Injection Parameters on the Mechanical Properties of Glass-fibre Reinforced Nylon 6 Using Taguchi Method., *Materials and Design*. 2013, vol. 49 s. 139-150. ISSN:0264-1275.
- [53] Pérez, J.M.; J.L. Vilas, J.M. Laza, S. Arnáiz, F. Mijangos, E. Bilbao, M. Rodríguez, L.M. León, Effect of reprocessing and accelerated ageing on thermal and mechanical polycarbonate properties, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 210., Issue 5, 19 March 2010, Pages 727-733, ISSN 0924-0136.
- [54] Peinado, V., Castell, P., García, L., & Fernandez, a. (2015). Effect of extrusion on the mechanical and rheological properties of a reinforced poly(lactic acid): Reprocessing and recycling of biobased materials. *Materials*, 8(10), 7106-7117.
- [55] Liu, Z.Q; CUNHA, A.M; YI, X.-S; BERNARDO, A.C. Key Properties to Understand the Performance of Polycarbonate Reprocessed by Injection Molding. *Journal of Applied Polymer Science*. 2000, vol. 77, no. 6 s. 1393-1400. ISSN:0021-8995.
- [56] Feller, J.F; BOURMAUD, A. Rheological and Calorimetric Properties of Recycled Bisphenol a Poly(carbonate). *Polymer Degradation and Stability*. 2003, vol. 82, no. 1 s. 99-104. ISSN:0141-3910.

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA**Publikace evidované v databázi Web of Science k 26.7.2016**

1. MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, GAJZLEROVÁ, LENKA, OVSÍK, MARTIN, KRÁTKÝ, PETR, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM, DANĚK, MICHAL, MAŇAS, MARTIN. Effect of low doses beta irradiation on micromechanical properties of surface layer of injection molded polypropylene composite. *Radiation Physics and Chemistry*, 2015, roč. 114, č. Neuveden, s. 25-30. ISSN 0969-806X.
2. MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, STANĚK, MICHAL, OVSÍK, MARTIN, ŘEZNÍČEK, MARTIN, GAJZLEROVÁ, LENKA, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM, MAŇAS, MARTIN. Effect of Beta Irradiation on Mechanical Properties of Surface Layer of Injection Moulded High Density Polyethylene (HDPE). *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, 2015, roč. 68, č. 5, s. 52-56. ISSN 0948-3276.

Publikace evidované v databázi Scopus k 26.6.2016

3. BEDNARIK, M., MANAS, D., MANAS, M., MIZERA, A., SENKERIK, V. Mechanical properties of irradiated polyamide under thermal stress (2016) *Defect and Diffusion Forum*, 368, pp. 178-181.
4. MAŇAS, D., OVSÍK, M., MAŇAS, M., STANĚK, M., HYLOVÁ, L., ŠENKEŘÍK, V., Opočenský, M. Micro-hardness of irradiated polyamide (2016) *Defect and Diffusion Forum*, 368, pp. 162-165.
5. ŠENKEŘÍK, V., STANĚK, M., MAŇAS, D., MAŇAS, M., ŠKROBÁK, A., OVSÍK, M. Effect of recycled particle size to micro-hardness properties of styrene acrylonitrile (2016) *Defect and Diffusion Forum*, 368, pp. 154-157.
6. OVSÍK, M., ŠENKEŘÍK, V., MAŇAS, D., MAŇAS, M., STANĚK, M., GAJZLEROVÁ, L. The behaviour of cross-linking filled PP to micro-indentation test (2016) *Defect and Diffusion Forum*, 368, pp. 138-141
7. OVSÍK, MARTIN, KRÁTKÝ, PETR, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, STANĚK, MICHAL, GAJZLEROVÁ, LENKA, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Micro-indentation test and morphology of electron beam irradiated HDPE. In *Key Engineering Materials*. Zurich :

Trans Tech Publications Ltd., 2015, s. 189-192. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-03835-555-7.

8. ŠKROBÁK, ADAM, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, OVSÍK, MARTIN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŘEZNÍČEK, MARTIN. The Effect of Technology on Micromechanical Properties of Rubber. In *Key Engineering Materials*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2015, s. 261-264. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-03835-555-7.
9. ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, ŠKROBÁK, ADAM, OVSÍK, MARTIN. The behaviour of recycled material with particles of various sizes of polyamide 6 to micro hardness. In *Key Engineering Materials*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2015, s. 225-228. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-03835-555-7.
10. ŠKROBÁK, ADAM, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, OVSÍK, MARTIN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŘEZNÍČEK, MARTIN. Mechanical properties of rubber samples. In *Key Engineering Materials*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2014, s. 249-252. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-03785-876-9.
11. ŘEZNÍČEK, MARTIN, MAŇAS, DAVID, STANĚK, MICHAL, OVSÍK, MARTIN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM, KRÁTKÝ, PETR. Creep test evaluation. In *Advanced Materials Research*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2014, s. 270-273. ISSN 1022-6680. ISBN 9783038352549.
12. OVSÍK, MARTIN, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, STANĚK, MICHAL, KRÁTKÝ, PETR, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Nano-indentation test of PA12 after radiation cross-linking. *International Journal of Mechanics*, 2014, roč. 8, č. 1, s. 231-238. ISSN 1998-4448
13. ŘEZNÍČEK, MARTIN, OVSÍK, MARTIN, MAŇAS, DAVID, ŠKROBÁK, ADAM, STANĚK, MICHAL, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Corelation of results of creep and micro-indentation creep for PP-copo. In *Key Engineering Materials*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2014, s. 233-236. ISSN 1013-9826. ISBN 978-3-03785-876-9.
14. ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, ŠKROBÁK, ADAM, NAVRÁTIL, JAN.

- Behavior of Recycled Material at Higher Temperature in Compression Test. In *Advanced Materials Research*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2014, s. 274-277. ISSN 1022-6680. ISBN 978-3-03835-254-9.
15. ŠKROBÁK, ADAM, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, OVSÍK, MARTIN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŘEZNÍČEK, MARTIN. The influence of the production process on mechanical properties of rubber testing samples. In *Advanced Materials Research*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2014, s. 37-41. ISSN 1022-6680. ISBN 9783038352549.
16. ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, ŠKROBÁK, ADAM, NAVRÁTIL, JAN. Comparison of mechanical properties of different particle sizes of recycled polycarbonate at higher temperature. *International Journal of Mechanics*, 2014, roč. 8, č. 1, s. 268-275. ISSN 1998-4448.
17. STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, OVSÍK, MARTIN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM. Injection molding of rubber compound influenced by injection mold surface roughness. In *Advanced Materials Research*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2014, s. 283-287. ISSN 1022-6680. ISBN 9783038352549.
18. MAŇAS, DAVID, OVSÍK, MARTIN, MAŇAS, MIROSLAV, STANĚK, MICHAL, KOČMAN, KAREL, BEDNAŘÍK, MARTIN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Nanohardness of electron beam irradiated HDPE. In *Advanced Materials Research*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2014, s. 410-414. ISSN 1022-6680. ISBN 9783038352549.
19. ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, ŠKROBÁK, ADAM, NAVRÁTIL, JAN. Size effect of recycled material to tensile properties of PC. In *Advanced Materials Research*. Zurich : Trans Tech Publications Ltd., 2014, s. 278-282. ISSN 1022-6680. ISBN 9783038352549.
20. NAVRÁTIL, JAN, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, KYAS, KAMIL, ŠKROBÁK, ADAM, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Tensile toughness of irradiated HDPE. *International Journal of Mechanics*, 2013, roč. 7, č. 3, s. 327-334. ISSN 1998-4448.

21. STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, KYAS, KAMIL, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM, NAVRÁTIL, JAN. How amount of talc influence the polymer flow. *International Journal of Mechanics*, 2013, roč. 7, č. 3, s. 277-284. ISSN 1998-4448.
22. KYAS, KAMIL, STANĚK, MICHAL, ŠKROBÁK, ADAM, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, ŘEZNÍČEK, MARTIN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Influence of runner section on curing rate during injection molding of NBR compound. *International Journal of Mechanics*, 2013, roč. 7, č. 3, s. 242-250. ISSN 1998-4448.
23. ŠKROBÁK, ADAM, STANĚK, MICHAL, KYAS, KAMIL, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, ŘEZNÍČEK, MARTIN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Comparison of mechanical properties of injection molded and compression molded rubber samples. *International Journal of Mechanics*, 2013, roč. 7, č. 4, s. 409-416. ISSN 1998-4448.
24. KYAS, KAMIL, STANĚK, MICHAL, NAVRÁTIL, JAN, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM. Rubber product properties influenced by runners trajectory. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulations*, 2013, roč. 7, č. 1, s. 1-8. ISSN 1998-0159.
25. STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, KYAS, KAMIL, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM, NAVRÁTIL, JAN. Polymer Fluidity Influenced by the Percentage of Filler. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulations*, 2012, roč. 6, č. 6, s. 542-549. ISSN 1998-0159.
26. KYAS, KAMIL, ČERNÝ, JAKUB, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM. Measuring of Temperature and Pressure in Injection Mold. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulations*, 2012, roč. 6, č. 6, s. 600-607. ISSN 1998-0159.
27. STANĚK, MICHAL, MAŇAS, DAVID, MAŇAS, MIROSLAV, NAVRÁTIL, JAN, KYAS, KAMIL, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM. Comparison of Different Rapid Prototyping Methods. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulations*, 2012, roč. 6, č. 6, s. 550-557. ISSN 1998-0159.

28. ŠANDA, ŠTĚPÁN, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, STANĚK, MICHAL, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Gate effect on quality of injected part. *Chemické listy*, 2011, roč. 105, č. 15 S.ISSUE, s. 301-303. ISSN 0009-2770.
29. STANĚK, MICHAL, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, PATA, VLADIMÍR, ŠANDA, ŠTĚPÁN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH, ŠKROBÁK, ADAM. How the filler influence the fluidity of polymer. *Chemické listy*, 2011, roč. 105, č. neveden, s. 303-305. ISSN 0009-2770.
30. STANĚK, MICHAL, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, KYAS, KAMIL, NAVRÁTIL, JAN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Injection Molding Process and Its Optimization. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity"*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2011, s. 0155-0156. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-901509-83-4.
31. STANĚK, MICHAL, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, KYAS, KAMIL, PATA, VLADIMÍR, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Rapid Prototyping the Fast Tool for Model Production. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity"*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2011, s. 0157-0158. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-901509-83-4.
32. KYAS, KAMIL, STANĚK, MICHAL, MAŇAS, MIROSLAV, MAŇAS, DAVID, NAVRÁTIL, JAN, ŠENKEŘÍK, VOJTĚCH. Influence of Runner System Design on Molding Process. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity"*. Vienna : DAAAM International Vienna, 2011, s. 0733-0734. ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-901509-83-4.

CV AUTORA

Osobní údaje

Jméno a příjmení, tituly: **Vojtěch Šenkeřík, Ing.**

E-mail: vsenkerik@ft.utb.cz

Státní příslušnost: ČR

Školní vzdělání

- 9/2010 – dosud UTB ve Zlíně, Fakulta technologická
doktorský studijní program: Procesní inženýrství
studijní obor: Nástroje a procesy
- 9/2008 – 6/2010 UTB ve Zlíně, Fakulta technologická
magisterský studijní program: Procesní inženýrství
studijní obor: Konstrukce technologických zařízení
- 9/2005 – 6/2008 UTB ve Zlíně, Fakulta technologická
bakalářský studijní program: Procesní inženýrství
studijní obor: Technologická zařízení
- 9/2001 – 6/2005 Střední průmyslová škola strojnická, Vsetín
obor: Strojírenství
zaměření: výpočetní technika

Pedagogická činnost

Úvod do CAD, Výrobní stroje a zařízení I, II,
Aplikovaná mechanika, Technické kreslení II,
Inženýrská grafika, Stavba strojů a zařízení, Výrobní
stroje a zařízení, CAE, Počítačová podpora konstrukce
II; ,CAD I, CAD II, CAD III

Znalosti a dovednosti

Anglicky – středně pokročilý

Software

CATIA, Inventor, AutoCAD, Moldflow Insight,
Cadmould, NX

Stáž

8/2009 - Hella Autotechnik, s.r.o., Mohelnice

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A. Materiálový list PC
- Příloha B. Materiálový list PA
- Příloha C. Modul pružnosti v tahu PC při 23 °C
- Příloha D. Modul pružnosti v tahu PC při 60 °C
- Příloha E. Modul pružnosti v tahu PC při 100 °C
- Příloha F. Mez pevnosti v tahu PC při 23 °C
- Příloha G. Mez pevnosti v tahu PC při 60 °C
- Příloha H. Mez pevnosti v tahu PC při 100 °C
- Příloha I. Poměrné prodloužení PC při 23 °C
- Příloha J. Poměrné prodloužení PC při 60 °C
- Příloha K. Poměrné prodloužení PC při 100 °C
- Příloha L. Vrubová houževnatost PC při 23 °C
- Příloha M. Vrubová houževnatost PC při 60 °C
- Příloha N. Vrubová houževnatost PC při 100 °C
- Příloha O. Tvrdost PC při 23 °C
- Příloha P. Index toku taveniny PC
- Příloha Q. Délka zatečení PC
- Příloha R. Modul pružnosti v tahu PA při 23 °C
- Příloha S. Modul pružnosti v tahu PA při 60 °C
- Příloha T. Modul pružnosti v tahu PA při 100 °C
- Příloha U. Mez pevnosti v tahu PA při 23 °C
- Příloha V. Mez pevnosti v tahu PA při 60 °C
- Příloha W. Mez pevnosti v tahu PA při 100 °C
- Příloha X. Poměrné prodloužení PA při 23 °C
- Příloha Y. Poměrné prodloužení PA při 60 °C
- Příloha Z. Poměrné prodloužení PA při 100 °C
- Příloha AA. Vrubová houževnatost PA při 23 °C
- Příloha BB. Vrubová houževnatost PA při 60 °C
- Příloha CC. Vrubová houževnatost PA při 100 °C
- Příloha DD. Tvrdost PA při 23 °C
- Příloha EE. Index toku taveniny PA
- Příloha FF. Délka zatečení PA

Příloha A. Materiálový list PC



Typical Values

Property	Test Condition	Unit	Standard	Makrolon®	
				2205	2207
Rheological properties					
C Melt volume-flow rate	300 °C; 1.2 kg	cm ³ /10 min	ISO 1133	35	35
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2; 500 bar	%	ISO 294-4	0.65	0.65
C Molding shrinkage, normal	60x60x2; 500 bar	%	ISO 294-4	0.65	0.65
Molding shrinkage, parallel/normal	Value range based on general practical experience	%	b.o. ISO 2577	0.5 - 0.7	0.5 - 0.7
C Melt mass-flow rate	300 °C; 1.2 kg	g/10 min	ISO 1133	37	37
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)					
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2400	2400
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	65	66
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	6.0	6.0
C Nominal strain at break	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	> 50	> 50
Stress at break	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	60	60
Strain at break	50 mm/min	%	b.o. ISO 527-1,-2	115	115
C Tensile creep modulus	1 h	MPa	ISO 899-1	2100	2100
C Tensile creep modulus	1000 h	MPa	ISO 899-1	1700	1700
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	2350	2350
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178	97	98
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178	7.1	7.0
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178	73	74
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N	N
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N	N
Charpy impact strength	-60 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N	N
Charpy notched impact strength	23 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 179-1eA	55P(C)	55P(C)
Charpy notched impact strength	-30 °C; 3 mm	kJ/m ²	ISO 7391/b.o. ISO 179-1eA	12C	12C
Izod notched impact strength	23 °C; 3.2 mm	kJ/m ²	b.o. ISO 180-A	65P(C)	65P(C)
Izod notched impact strength	-30 °C; 3.2 mm	kJ/m ²	b.o. ISO 180-A	12C	12C
C Puncture maximum force	23 °C	N	ISO 6603-2	4900	4900
C Puncture maximum force	-30 °C	N	ISO 6603-2	5900	5900
C Puncture energy	23 °C	J	ISO 6603-2	55	55
C Puncture energy	-30 °C	J	ISO 6603-2	60	60
Ball indentation hardness		N/mm ²	ISO 2039-1	115	116

Příloha B. Materiálový list PA

TECHNICAL DATA SHEET

novamid B30 P

ISO 9001 CERTIFIED

ISSUED DATE: 01/11/2006

Novamid ® B30 P is a Polyamide 6, heat stabilised, nucleated and lubricated.

PROPERTIES	CONDITIONS	TEST METHOD	UNITS	VALUES
PHYSICAL PROPERTIES				
Density	23 °C	ISO 1183	g/cm ³	1,12
Water absorption	23 °C	ISO 62	%	3
Moisture absorption	23 °C	ISO 62	%	9,5
Flammability	1,6 mm	UL-94		V-2
PROCESSING CONDITIONS				
Melt Volume rate	275°C/5 kg	ISO 1133	cm ³ /10 min	175
Melt temperature, injection moulding			°C	250-270
Mould temperature			°C	40-80
Moulding Shrinkage	longitudinal transversal		%	0,9-1,1 0,8-1,1
Spiral Test ¹⁾	T _{melt} : 270 °C T _{mold} : 60 °C		mm	435
MECHANICAL PROPERTIES (dry/cond.)				
Tensile modulus	23 °C, 1 mm/min	ISO 527-2	MPa	3400 / 1050
Yield stress	23 °C, 50 mm/min	ISO 527-2	MPa	85 / 40
Yield strain	23 °C, 50 mm/min	ISO 527-2	%	3,5 / 25
Nominal strain at break	23 °C, 50 mm/min	ISO 527-2	%	18 / > 50
Flexural modulus	23 °C, 2 mm/min	ISO 178	MPa	2900 / 720
Flexural strength	23 °C, 2 mm/min	ISO 178	MPa	110 / 30
Charpy unnotched impact strength ²⁾	23°C -30°C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	NB/NB - / -
Charpy notched impact strength	23°C -30°C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	4,4 / 50 - / -
Izod unnotched impact strength ³⁾	23°C -30°C	ISO 180/1eU	kJ/m ²	NB/NB - / -
Izod notched impact strength	23°C -30°C	ISO 180/1eU	kJ/m ²	6,5 / - - / -
THERMAL PROPERTIES				
Melting temperature (DSC)	10°C/min	ISO 3146	°C	223
Heat Deflection Temperature (HDT)	1,8 MPa 0,45 MPa	ISO 75-2	°C	85 187
Thermal coefficient of linear expansion	23-80°C long. 23-80°C transv.	DIN 53752	10 ⁻⁴ /K	0,7 1
ELECTRICAL PROPERTIES (dry/cond.)				
Dielectric constant	1MHz	IEC 60250		3,5 / 7
Dissipation factor	1 MHz	IEC 60250		230 / 3000
Volume resistivity		IEC 60093	Ω.m	10 e ¹³ / 10 e ¹⁸
Surface resistivity		IEC 60093	Ω	10 e ¹³ / 10 e ¹⁸
Comparative tracking index		IEC 60112		800

1) Wall thickness: 2 mm, Maximum injection pressure: 100 bar; Injection speed: 25 %.

2) NB: No break.

3) Hammer energy 5,4 J.

Central offices
Independencia, 21, 3^a
50001 Zaragoza, Spain
T +34 976 216 129
F +34 976 238 703
www.novamid.com

Plant
Poligono de Mábica, Ctra de Barcelona, Km 329,2
50016 Zaragoza, Spain
T +34 976 465 579
F +34 976 574 108

NOVAMID ® B30P
registered trade mark by NOVAMID PLASTICS

Příloha C. Modul pružnosti v tahu PC při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	2395	79	3,3	2405	2530	2280	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	2372	216	9,1	2330	2790	1960	0,006	Zamítá Ho	0,768	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	2319	253	10,9	2315	2700	1810	0,002	Zamítá Ho	0,402	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	2380	233	9,8	2325	2790	2040	0,004	Zamítá Ho	0,857	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	2383	106	4,4	2390	2520	2200	0,403	Nezamítá Ho	0,788	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2372	161	6,8	2380	2580	1960	0,045	Zamítá Ho	0,706	Nezamítá Ho
1x regenerace	Neprosetá drť	2367	114	4,8	2360	2510	2180	0,291	Nezamítá Ho	0,553	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	2325	175	7,5	2355	2530	1970	0,027	Zamítá Ho	0,288	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	2376	135	5,7	2395	2530	2110	0,126	Nezamítá Ho	0,720	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	2385	100	4,2	2390	2550	2200	0,506	Nezamítá Ho	0,816	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2366	127	5,4	2340	2560	2220	0,175	Nezamítá Ho	0,568	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	2360	198	8,4	2350	2640	2070	0,012	Zamítá Ho	0,628	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	2313	234	10,1	2365	2660	1920	0,003	Zamítá Ho	0,333	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	2367	171	7,2	2340	2720	2130	0,032	Zamítá Ho	0,661	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	2363	137	5,8	2315	2560	2210	0,117	Nezamítá Ho	0,552	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2390	263	11,0	2355	2840	1950	0,001	Zamítá Ho	0,957	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	2312	195	8,4	2295	2580	2070	0,013	Zamítá Ho	0,251	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	2258	171	7,6	2355	2420	1990	0,031	Zamítá Ho	0,043	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	2318	212	9,1	2320	2550	2060	0,007	Zamítá Ho	0,321	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	2342	192	8,2	2280	2670	2100	0,014	Zamítá Ho	0,455	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2351	180	7,7	2325	2650	2030	0,022	Zamítá Ho	0,510	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	2278	143	6,3	2260	2490	2080	0,094	Nezamítá Ho	0,045	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	2236	209	9,4	2265	2510	1920	0,008	Zamítá Ho	0,047	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	2260	174	7,7	2195	2500	2070	0,028	Zamítá Ho	0,048	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	2321	214	9,2	2335	2760	2020	0,007	Zamítá Ho	0,344	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2322	174	7,5	2405	2490	2050	0,028	Zamítá Ho	0,266	Nezamítá Ho

Příloha D. Modul pružnosti v tahu PC při 60 °C

Počet recyklací	Materiál	x [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	2138	109	5,1	2125	2330	2010	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	2066	156	7,5	2060	2340	1830	0,303	Nezamítá Ho	0,270	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	2047	239	11,7	2040	2370	1720	0,029	Zamítá Ho	0,312	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	2099	189	9,0	2085	2380	1780	0,117	Nezamítá Ho	0,598	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	2136	105	4,9	2135	2310	1990	0,913	Nezamítá Ho	0,969	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2118	185	8,7	2190	2370	1780	0,131	Nezamítá Ho	0,783	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	2081	146	7,0	2100	2340	1760	0,399	Nezamítá Ho	0,360	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	2038	144	7,1	2020	2360	1810	0,416	Nezamítá Ho	0,114	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	2087	131	6,3	2070	2320	1830	0,594	Nezamítá Ho	0,380	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	2138	105	4,9	2155	2260	2000	0,910	Nezamítá Ho	1,000	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2110	105	5,0	2120	2310	1980	0,919	Nezamítá Ho	0,586	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	2022	210	10,4	2025	2300	1760	0,064	Nezamítá Ho	0,158	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	2017	212	10,5	1945	2410	1650	0,061	Nezamítá Ho	0,145	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	2082	219	10,5	2110	2470	1630	0,049	Zamítá Ho	0,502	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	2079	161	7,8	2095	2440	1820	0,258	Nezamítá Ho	0,375	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2060	146	7,1	2045	2290	1860	0,394	Nezamítá Ho	0,215	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	1968	148	7,5	1990	2160	1650	0,370	Nezamítá Ho	0,013	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	1938	212	10,9	2005	2240	1580	0,061	Nezamítá Ho	0,021	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	1958	230	11,8	1960	2400	1560	0,036	Zamítá Ho	0,048	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	2059	184	8,9	2060	2410	1750	0,135	Nezamítá Ho	0,282	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2059	214	10,4	1965	2390	1840	0,057	Nezamítá Ho	0,336	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	1978	190	9,6	1950	2290	1650	0,113	Nezamítá Ho	0,042	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	1892	246	13,0	1810	2440	1540	0,023	Zamítá Ho	0,013	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	1926	160	8,3	1940	2210	1690	0,270	Nezamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	2044	225	11,0	2130	2290	1630	0,042	Zamítá Ho	0,273	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	2034	168	8,2	2065	2300	1750	0,215	Nezamítá Ho	0,136	Nezamítá Ho

Příloha E. Modul pružnosti v tahu PC při 100 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	1916	94	4,9	1900	2120	1790	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	1833	149	8,1	1835	2050	1590	0,1899	Nezamítá Ho	0,1745	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	1795	206	11,5	1775	2070	1490	0,0291	Zamítá Ho	0,1266	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	1854	143	7,7	1885	2090	1660	0,2277	Nezamítá Ho	0,2926	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	1875	145	7,7	1875	2100	1690	0,2159	Nezamítá Ho	0,4859	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	1874	142	7,6	1885	2060	1660	0,2341	Nezamítá Ho	0,4703	Nezamítá Ho
1x regenerulace	Neprosetá drť	1825	100	5,5	1850	1960	1620	0,856	Nezamítá Ho	0,063	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	1825	100	5,5	1850	1960	1620	0,856	Nezamítá Ho	0,063	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	1848	69	3,7	1835	1960	1760	0,372	Nezamítá Ho	0,098	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	1861	97	5,2	1890	2010	1690	0,923	Nezamítá Ho	0,239	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	1866	70	3,7	1890	1980	1750	0,386	Nezamítá Ho	0,217	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	1828	182	9,9	1830	2160	1550	0,0638	Nezamítá Ho	0,2134	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	1766	195	11,0	1825	2010	1460	0,0414	Zamítá Ho	0,0523	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	1862	203	10,9	1905	2220	1520	0,0325	Zamítá Ho	0,4776	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	1886	150	8,0	1920	2170	1630	0,1808	Nezamítá Ho	0,6181	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	1879	167	8,9	1920	2080	1620	0,1025	Nezamítá Ho	0,5704	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	1764	191	10,8	1760	2030	1480	0,0474	Zamítá Ho	0,0460	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	1678	183	10,9	1640	2000	1450	0,0601	Nezamítá Ho	0,0028	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	1809	153	8,4	1840	2000	1590	0,1662	Nezamítá Ho	0,0906	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	1847	149	8,0	1840	2120	1650	0,1916	Nezamítá Ho	0,2546	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	1824	135	7,4	1800	2010	1630	0,2973	Nezamítá Ho	0,1113	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	1703	166	9,7	1625	1980	1540	0,1085	Nezamítá Ho	0,0035	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	1640	187	11,4	1580	1920	1400	0,0532	Nezamítá Ho	0,0009	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	1754	177	10,1	1795	1990	1510	0,0740	Nezamítá Ho	0,0262	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	1785	114	6,4	1765	1990	1630	0,5808	Nezamítá Ho	0,0160	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	1782	142	8,0	1810	1980	1580	0,2393	Nezamítá Ho	0,0297	Zamítá Ho

Příloha F. Mez pevnosti v tahu PC při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	64,4	0,2	0,3	64,5	64,7	64,1	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	64,6	0,2	0,2	64,6	64,8	64,3	0,689	Nezamítá Ho	0,105	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	64,3	0,1	0,2	64,3	64,5	64,1	0,573	Nezamítá Ho	0,242	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	64,5	0,3	0,4	64,4	64,9	64,2	0,165	Nezamítá Ho	0,474	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	64,6	0,3	0,5	64,6	65,6	64,2	0,048	Zamítá Ho	0,106	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	64,5	0,2	0,3	64,5	64,6	64,1	0,956	Nezamítá Ho	0,713	Nezamítá Ho
1x regenerace	Neprosetá drť	64,5	0,2	0,3	64,5	64,8	64,2	0,716	Nezamítá Ho	0,368	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	64,4	0,2	0,3	64,4	64,6	64,1	0,956	Nezamítá Ho	0,395	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	64,5	0,1	0,2	64,4	64,8	64,2	0,685	Nezamítá Ho	0,605	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	64,6	0,3	0,5	64,6	65,6	64,2	0,048	Zamítá Ho	0,106	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	64,3	0,2	0,3	64,3	64,6	64,0	0,895	Nezamítá Ho	0,348	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	64,1	0,3	0,4	64,0	64,6	63,6	0,262	Nezamítá Ho	0,002	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	63,9	0,4	0,6	63,8	64,4	63,4	0,044	Zamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	64,3	0,2	0,3	64,3	64,5	63,9	0,772	Nezamítá Ho	0,096	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	64,2	0,2	0,3	64,2	64,8	63,9	0,481	Nezamítá Ho	0,056	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	64,6	0,3	0,5	64,6	65,2	64,3	0,063	Nezamítá Ho	0,095	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	64,1	0,5	0,7	64,0	64,8	63,0	0,008	Zamítá Ho	0,039	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	63,6	0,4	0,6	63,6	64,3	62,9	0,016	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	64,0	0,5	0,8	64,0	65,1	63,0	0,002	Zamítá Ho	0,042	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	64,1	0,5	0,7	64,0	65,1	63,5	0,006	Zamítá Ho	0,064	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	63,9	1,0	1,6	64,2	64,8	61,0	0,000	Zamítá Ho	0,111	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	63,4	0,4	0,6	63,4	64,4	63,0	0,017	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	63,2	0,6	1,0	63,1	64,4	62,1	0,001	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	63,9	0,7	1,1	64,3	64,4	62,7	0,000	Zamítá Ho	0,028	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	64,0	0,6	1,0	64,1	64,9	63,0	0,001	Zamítá Ho	0,076	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	64,0	0,6	1,0	64,0	64,9	63,0	0,001	Zamítá Ho	0,068	Nezamítá Ho

Příloha G. Mez pevnosti v tahu PC při 60 °C

Počet recyklací	Materiál	x [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	53,8	0,2	0,4	53,8	54,1	53,5	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	53,9	0,3	0,6	53,9	54,4	53,4	0,087	Nezamítá Ho	0,823	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	53,6	0,3	0,6	53,7	54,0	52,7	0,128	Nezamítá Ho	0,071	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	53,9	0,2	0,4	53,9	54,3	53,5	0,489	Nezamítá Ho	0,700	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	54,1	0,5	0,9	54,0	54,9	53,4	0,010	Zamítá Ho	0,153	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	53,6	0,3	0,7	53,6	54,3	53,1	0,085	Nezamítá Ho	0,130	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	53,8	0,2	0,3	53,8	54	53,6	0,569	Nezamítá Ho	0,404	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	53,7	0,2	0,3	53,7	53,9	53,4	0,569	Nezamítá Ho	0,053	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	53,9	0,2	0,4	53,9	54,2	53,6	0,881	Nezamítá Ho	0,456	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	53,9	0,1	0,3	53,9	54,3	53,8	0,488	Nezamítá Ho	0,189	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	53,7	0,2	0,4	53,8	54,1	53,4	0,953	Nezamítá Ho	0,240	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	53,6	0,4	0,8	53,7	54,3	52,8	0,020	Zamítá Ho	0,096	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	53,3	0,3	0,7	53,3	54,1	52,9	0,084	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	53,6	0,3	0,5	53,6	54,1	53,2	0,252	Nezamítá Ho	0,058	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	53,7	0,3	0,5	53,6	54,2	53,4	0,338	Nezamítá Ho	0,247	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	53,7	0,3	0,6	53,7	54,2	53,1	0,151	Nezamítá Ho	0,158	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	53,3	0,3	0,6	53,2	53,8	52,7	0,106	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	53,2	0,5	0,9	53,1	53,9	52,4	0,013	Zamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	53,6	0,4	0,8	53,7	54,1	52,9	0,018	Zamítá Ho	0,113	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	53,7	0,3	0,6	53,6	54,3	53,4	0,144	Nezamítá Ho	0,474	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	53,6	0,3	0,6	53,7	53,9	53,0	0,155	Nezamítá Ho	0,055	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	53,1	0,3	0,6	53,1	53,6	52,6	0,124	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	53,0	0,3	0,5	52,9	53,4	52,6	0,279	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	53,3	0,7	1,3	53,3	54,5	52,2	0,001	Zamítá Ho	0,055	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	53,4	0,8	1,4	53,1	54,8	52,6	0,000	Zamítá Ho	0,081	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	53,5	0,5	1,0	53,4	54,4	53,0	0,007	Zamítá Ho	0,130	Nezamítá Ho

Příloha H. Mez pevnosti v tahu PC při 100 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	44,9	0,4	0,9	45,0	45,5	44,2	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	44,7	0,5	1,2	44,6	46,0	43,9	0,410	Nezamítá Ho	0,280	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	43,8	0,4	1,0	43,8	44,7	43,1	0,670	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	44,6	0,5	1,0	44,6	45,4	43,9	0,663	Nezamítá Ho	0,136	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	44,9	0,4	0,8	44,8	45,5	44,4	0,897	Nezamítá Ho	0,912	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	44,6	0,4	1,0	44,5	45,3	44,0	0,709	Nezamítá Ho	0,170	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	44,4	0,3	0,7	44,4	45	44,0	0,589	Nezamítá Ho	0,006	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	44,2	0,5	1,1	44,3	44,7	43,2	0,564	Nezamítá Ho	0,002	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	44,4	0,4	0,8	44,5	45	43,7	0,866	Nezamítá Ho	0,021	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	44,8	0,4	1,0	44,9	45,7	44,2	0,725	Nezamítá Ho	0,762	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	44,7	0,4	1,0	44,8	45,3	43,9	0,673	Nezamítá Ho	0,402	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	43,5	0,5	1,1	43,6	44,4	42,8	0,532	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	43,7	0,6	1,3	44,0	44,4	42,6	0,231	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	43,9	0,2	0,5	43,8	44,2	43,5	0,119	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	44,2	0,6	1,3	44,1	45,1	43,5	0,294	Nezamítá Ho	0,007	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	44,4	0,6	1,3	44,5	45,1	43,5	0,275	Nezamítá Ho	0,055	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	42,8	0,4	0,9	42,8	43,5	42,2	1,000	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	42,8	0,3	0,8	42,8	43,2	42,0	0,753	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	43,1	0,4	1,0	43,1	43,6	42,1	0,705	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	43,6	0,3	0,7	43,6	44,2	43,0	0,493	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	43,8	0,6	1,4	43,8	45,0	42,8	0,164	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	42,5	0,4	0,8	42,5	43,2	42,0	0,776	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	41,8	0,5	1,2	41,9	43,0	41,2	0,506	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	42,4	0,6	1,3	42,7	43,0	41,4	0,304	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	43,5	0,3	0,6	43,5	43,9	43,1	0,251	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	43,9	0,4	1,0	43,9	44,8	43,2	0,673	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Příloha I. Poměrné prodloužení PC při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	x [%]	s [%]	v [%]	M [%]	Max [%]	Min [%]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	7,3	0,1	1,8	7,3	7,5	7,0	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	7,3	0,1	1,9	7,3	7,6	7,1	0,800	Nezamítá Ho	0,541	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,4	0,2	2,1	7,4	7,7	7,2	0,573	Nezamítá Ho	0,095	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,3	0,2	2,6	7,3	7,5	6,9	0,282	Nezamítá Ho	0,897	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	7,2	0,2	2,1	7,2	7,5	7,0	0,627	Nezamítá Ho	0,311	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	7,2	0,2	2,4	7,2	7,5	7,0	0,395	Nezamítá Ho	0,499	Nezamítá Ho
1x regenerulace	Neprosetá drť	7,3	0,1	1,6	7,3	7,5	7,1	0,815	Nezamítá Ho	0,867	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,4	0,1	1,5	7,4	7,6	7,2	0,694	Nezamítá Ho	0,099	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,3	0,2	3,2	7,4	7,6	6,9	0,094	Nezamítá Ho	1,000	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	7,2	0,2	2,8	7,2	7,5	6,9	0,204	Nezamítá Ho	0,331	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	7,3	0,2	2,6	7,2	7,5	6,9	0,305	Nezamítá Ho	0,696	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	7,4	0,1	1,9	7,4	7,6	7,1	0,829	Nezamítá Ho	0,175	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,4	0,2	3,4	7,4	7,9	7,2	0,065	Nezamítá Ho	0,127	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,4	0,2	2,8	7,4	7,8	7,0	0,187	Nezamítá Ho	0,400	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	7,3	0,1	1,5	7,3	7,5	7,1	0,618	Nezamítá Ho	0,862	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	7,3	0,2	2,6	7,4	7,6	7,0	0,260	Nezamítá Ho	0,799	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	7,5	0,2	3,0	7,6	7,8	7,2	0,122	Nezamítá Ho	0,025	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,6	0,3	4,2	7,5	8,0	7,0	0,014	Zamítá Ho	0,029	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,4	0,3	4,3	7,4	8,1	7,0	0,013	Zamítá Ho	0,209	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	7,5	0,3	4,3	7,4	8,0	7,0	0,012	Zamítá Ho	0,185	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	7,4	0,2	2,3	7,5	7,7	7,2	0,436	Nezamítá Ho	0,110	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	7,7	0,3	4,3	7,6	8,3	7,3	0,010	Zamítá Ho	0,006	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,8	0,4	5,5	7,8	8,3	7,2	0,002	Zamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,7	0,4	5,2	7,7	8,4	6,9	0,002	Zamítá Ho	0,007	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	7,6	0,3	3,6	7,6	7,9	7,1	0,041	Zamítá Ho	0,018	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	7,5	0,2	2,7	7,4	7,9	7,2	0,209	Nezamítá Ho	0,060	Nezamítá Ho

Příloha J. Poměrné prodloužení PC při 60 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [%]	s [%]	v [%]	M [%]	Max [%]	Min [%]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	6,8	0,2	2,8	6,85	7,20	6,50	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	7,1	0,3	3,8	7,05	7,60	6,80	0,3513	Nezamítá Ho	0,0139	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,2	0,2	3,0	7,20	7,60	6,90	0,7311	Nezamítá Ho	0,0007	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,0	0,2	2,6	6,95	7,30	6,70	0,8697	Nezamítá Ho	0,0888	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	6,9	0,3	4,4	6,85	7,40	6,50	0,2008	Nezamítá Ho	0,4149	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	6,9	0,2	3,4	6,85	7,30	6,60	0,5694	Nezamítá Ho	0,3388	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	7,2	0,1	0,9	7,2	7,3	7,1	0,004	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,3	0,2	2,2	7,3	7,5	7,0	0,530	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,0	0,1	2,0	7,0	7,3	6,8	0,365	Nezamítá Ho	0,017	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	6,9	0,1	1,6	6,9	7,1	6,8	0,107	Nezamítá Ho	0,156	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	6,9	0,1	2,1	6,9	7,2	6,7	0,365	Nezamítá Ho	0,540	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	7,3	0,2	3,3	7,40	7,60	6,90	0,5352	Nezamítá Ho	0,0001	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,5	0,3	3,9	7,45	8,00	6,90	0,2442	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,2	0,3	4,4	7,10	7,80	6,80	0,1548	Nezamítá Ho	0,0048	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	7,0	0,2	3,0	7,00	7,30	6,60	0,8161	Nezamítá Ho	0,1328	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	7,0	0,3	4,5	7,00	7,40	6,30	0,1698	Nezamítá Ho	0,1598	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	7,7	0,3	3,3	7,80	8,00	7,20	0,4552	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,8	0,3	3,5	7,75	8,40	7,50	0,3239	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,5	0,4	4,7	7,40	8,20	6,80	0,0894	Nezamítá Ho	0,0002	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	7,4	0,2	3,0	7,45	7,70	7,00	0,7018	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	7,4	0,2	2,9	7,35	7,70	7,00	0,7688	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	7,8	0,4	4,6	7,70	8,50	7,30	0,0844	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	7,9	0,4	4,6	7,80	8,70	7,40	0,0719	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	7,8	0,3	3,3	7,70	8,30	7,40	0,4390	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	7,6	0,4	4,9	7,70	8,20	7,10	0,0660	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	7,6	0,2	2,6	7,60	8,00	7,30	0,9604	Nezamítá Ho	0,0000	Zamítá Ho

Příloha K. Poměrné prodloužení PC při 100 °C

Počet recyklací	Materiál	x [%]	s [%]	v [%]	M [%]	Max [%]	Min [%]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	5,1	0,1	2,7	5,10	5,30	4,90	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	5,4	0,3	5,6	5,45	5,90	4,90	0,025	Zamítá Ho	0,007	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	5,6	0,3	4,7	5,55	6,00	5,20	0,071	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	5,3	0,3	5,4	5,30	5,70	4,90	0,040	Zamítá Ho	0,089	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,1	0,3	6,6	5,10	5,70	4,70	0,012	Zamítá Ho	0,688	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	5,2	0,5	9,6	5,25	5,90	4,40	0,001	Zamítá Ho	0,568	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	5,5	0,1	2,7	5,5	5,8	5,2	0,846	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	5,5	0,4	6,8	5,5	6,1	5,0	0,006	Zamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	5,3	0,2	3,8	5,4	5,5	4,9	0,279	Nezamítá Ho	0,018	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,2	0,2	4,6	5,2	5,8	4,9	0,112	Nezamítá Ho	0,176	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	5,2	0,2	4,3	5,2	5,6	5,0	0,167	Nezamítá Ho	0,154	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	5,8	0,4	6,9	5,90	6,20	4,90	0,004	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	5,8	0,5	8,8	5,60	6,70	5,20	0,001	Zamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	5,5	0,3	5,9	5,50	6,10	4,90	0,018	Zamítá Ho	0,002	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,4	0,3	5,3	5,35	6,00	5,00	0,039	Zamítá Ho	0,017	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	5,2	0,3	6,4	5,15	5,70	4,60	0,014	Zamítá Ho	0,261	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	6,1	0,3	4,5	6,10	6,60	5,60	0,054	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	6,1	0,3	5,1	6,10	6,50	5,60	0,025	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	6,0	0,2	3,9	5,85	6,30	5,60	0,131	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,5	0,3	5,8	5,35	6,10	5,20	0,019	Zamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	5,6	0,4	6,9	5,55	6,20	5,00	0,005	Zamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	6,3	0,4	6,0	6,35	6,70	5,50	0,006	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	6,4	0,8	12,0	6,00	8,00	5,60	0,000	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	6,4	0,5	8,4	6,35	7,20	5,30	0,000	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,7	0,3	5,3	5,70	6,20	5,20	0,031	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	6,0	0,4	7,1	6,05	6,60	5,30	0,003	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Príloha L. Vrubová houževnatost PC při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	α [kJ/m ²]	s [kJ/m ²]	v [%]	M [kJ/m ²]	Max [kJ/m ²]	Min [kJ/m ²]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	5,2	0,2	3,3	5,2	5,5	4,9	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	5,0	0,2	4,8	5,1	5,4	4,6	0,334	Nezamítá Ho	0,224	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	4,9	0,3	7,2	4,8	5,4	4,5	0,047	Zamítá Ho	0,041	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	5,0	0,5	9,9	5,1	5,6	4,0	0,004	Zamítá Ho	0,304	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,1	0,2	4,9	5,1	5,6	4,7	0,296	Nezamítá Ho	0,322	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	5,0	0,3	6,5	4,9	5,6	4,6	0,069	Nezamítá Ho	0,266	Nezamítá Ho
1x regenerulace	Neprosetá drť	5,0	0,1	2,6	5,0	5,19	4,8	0,433	Nezamítá Ho	0,041	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	4,9	0,2	4,5	4,8	5,35	4,7	0,472	Nezamítá Ho	0,013	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,9	0,2	4,2	4,9	5,32	4,7	0,575	Nezamítá Ho	0,019	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,1	0,2	3,3	5,0	5,32	4,8	0,965	Nezamítá Ho	0,299	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	5,0	0,2	4,1	5,0	5,28	4,7	0,607	Nezamítá Ho	0,099	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	4,9	0,2	5,0	5,0	5,1	4,3	0,300	Nezamítá Ho	0,013	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	4,8	0,4	8,6	4,8	5,5	4,2	0,015	Zamítá Ho	0,022	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,8	0,2	4,4	4,8	5,1	4,5	0,515	Nezamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,0	0,2	4,5	5,0	5,3	4,6	0,433	Nezamítá Ho	0,101	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	5,0	0,2	3,8	5,1	5,4	4,7	0,745	Nezamítá Ho	0,194	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	4,7	0,3	5,6	4,7	5,1	4,1	0,216	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	4,6	0,5	10,2	4,6	5,3	4,0	0,006	Zamítá Ho	0,006	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,8	0,4	7,7	5,0	5,3	4,2	0,033	Zamítá Ho	0,009	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	4,9	0,2	4,7	4,9	5,2	4,5	0,397	Nezamítá Ho	0,017	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	4,9	0,2	4,0	4,9	5,2	4,6	0,663	Nezamítá Ho	0,017	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	4,6	0,4	9,4	4,8	5,1	4,0	0,011	Zamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	4,4	0,4	8,5	4,3	4,9	3,9	0,033	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,6	0,3	7,4	4,5	5,2	4,1	0,059	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	4,8	0,3	6,8	4,7	5,4	4,3	0,069	Nezamítá Ho	0,007	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	4,9	0,3	5,2	4,8	5,3	4,6	0,253	Nezamítá Ho	0,016	Zamítá Ho

Příloha M. Vrubová houževnatost PC při 60 °C

Počet recyklací	Materiál	x [kJ/m ²]	s [kJ/m ²]	v [%]	M [kJ/m ²]	Max [kJ/m ²]	Min [kJ/m ²]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	4,2	0,1	3,5	4,2	4,4	3,9	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	4,1	0,1	2,8	4,1	4,2	3,9	0,498	Nezamítá Ho	0,069	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	4,0	0,3	6,2	4,0	4,5	3,6	0,125	Nezamítá Ho	0,097	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,1	0,3	8,2	4,0	4,9	3,6	0,021	Zamítá Ho	0,485	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	4,1	0,2	4,7	4,1	4,6	3,9	0,391	Nezamítá Ho	0,563	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	4,1	0,3	6,4	4,2	4,6	3,7	0,091	Nezamítá Ho	0,578	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	4,1	0,1	1,8	4,1	4,18	4,0	0,054	Nezamítá Ho	0,055	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	4,0	0,1	2,2	4,0	4,14	3,8	0,160	Nezamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,1	0,2	4,2	4,1	4,46	3,9	0,619	Nezamítá Ho	0,202	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	4,1	0,1	2,6	4,1	4,34	4,0	0,349	Nezamítá Ho	0,308	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	4,1	0,1	2,9	4,1	4,27	3,9	0,548	Nezamítá Ho	0,091	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	3,9	0,3	6,8	4,0	4,3	3,4	0,081	Nezamítá Ho	0,031	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3,9	0,3	7,4	3,8	4,3	3,5	0,057	Nezamítá Ho	0,008	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,0	0,2	4,2	3,9	4,3	3,8	0,678	Nezamítá Ho	0,015	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	4,1	0,2	3,9	4,1	4,4	3,8	0,800	Nezamítá Ho	0,190	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	4,1	0,3	6,3	4,1	4,5	3,8	0,106	Nezamítá Ho	0,531	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	3,8	0,2	5,4	3,8	4,1	3,4	0,343	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3,6	0,2	4,8	3,7	4,0	3,3	0,584	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3,9	0,3	7,0	4,0	4,3	3,4	0,072	Nezamítá Ho	0,027	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	4,0	0,2	5,7	3,9	4,4	3,5	0,218	Nezamítá Ho	0,021	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	3,9	0,3	6,8	3,9	4,3	3,4	0,082	Nezamítá Ho	0,025	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	3,6	0,2	5,7	3,6	4,0	3,3	0,340	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3,4	0,2	5,3	3,4	3,7	3,2	0,521	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3,5	0,2	5,0	3,6	3,8	3,2	0,567	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	3,9	0,3	7,6	3,8	4,4	3,6	0,048	Zamítá Ho	0,012	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	3,8	0,2	5,4	3,8	4,1	3,5	0,337	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Příloha N. Vrubová houževnatost PC při 100 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [kJ/m ²]	s [kJ/m ²]	v [%]	M [kJ/m ²]	Max [kJ/m ²]	Min [kJ/m ²]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	3,6	0,2	4,4	3,7	3,8	3,2	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	3,4	0,2	6,1	3,4	3,7	3,0	0,483	Nezamítá Ho	0,005	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3,3	0,3	9,6	3,4	3,7	2,6	0,057	Nezamítá Ho	0,010	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3,4	0,2	7,0	3,4	3,7	2,9	0,260	Nezamítá Ho	0,012	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	3,4	0,2	6,5	3,5	3,7	2,9	0,345	Nezamítá Ho	0,037	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	3,5	0,2	6,0	3,5	3,8	3,2	0,438	Nezamítá Ho	0,088	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	3,3	0,1	3,7	3,3	3,51	3,2	0,418	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3,3	0,2	4,7	3,3	3,53	3,1	0,946	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3,3	0,2	4,7	3,3	3,53	3,1	0,946	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	3,4	0,1	3,3	3,3	3,5	3,1	0,273	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	3,4	0,2	5,5	3,5	3,75	3,2	0,631	Nezamítá Ho	0,025	Zamítá Ho
2x	Neprosetá drť	3,1	0,3	8,9	3,1	3,6	2,7	0,111	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	2,9	0,2	5,7	3,0	3,2	2,7	0,873	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3,2	0,3	9,6	3,3	3,5	2,6	0,067	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	3,3	0,2	6,8	3,3	3,6	3,0	0,342	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	3,3	0,2	7,0	3,4	3,6	2,8	0,283	Nezamítá Ho	0,006	Zamítá Ho
3x	Neprosetá drť	2,8	0,2	6,8	2,9	3,1	2,6	0,599	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	2,6	0,2	7,7	2,6	3,0	2,3	0,505	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	2,8	0,2	5,7	2,8	3,0	2,6	0,996	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	3,0	0,2	5,0	3,0	3,3	2,9	0,867	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	3,2	0,3	8,7	3,2	3,7	2,8	0,108	Nezamítá Ho	0,002	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	2,7	0,1	5,5	2,7	2,9	2,4	0,805	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	2,2	0,2	7,4	2,2	2,4	1,9	0,974	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	2,6	0,1	5,9	2,5	2,8	2,3	0,846	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	2,8	0,2	8,8	2,7	3,3	2,5	0,222	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	3,1	0,1	4,1	3,2	3,4	3,0	0,512	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Príloha O. Tvrdost PC při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	x [ShD]	s [ShD]	v [%]	M [ShD]	Max [ShD]	Min [ShD]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	80,4	0,3	0,3	80	80,8	80	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	80,2	0,7	0,9	80	81,3	78,6	0,006	Zamítá Ho	0,376	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	80,2	0,4	0,5	80	80,8	79,7	0,349	Nezamítá Ho	0,141	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	80,4	0,5	0,6	80	81,2	79,8	0,077	Nezamítá Ho	0,958	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	80,6	0,7	0,9	80	82	79,8	0,007	Zamítá Ho	0,581	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	80,4	0,7	0,8	81	81,4	79,4	0,009	Zamítá Ho	0,903	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	80,2	0,3	0,4	80,3	80,7	79,5	0,592	Nezamítá Ho	0,182	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	80,1	0,5	0,6	80,2	81,0	79,3	0,062	Nezamítá Ho	0,174	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	80,4	0,4	0,5	80,4	81,0	79,7	0,190	Nezamítá Ho	0,856	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	80,3	0,3	0,3	80,4	80,7	79,9	0,934	Nezamítá Ho	0,436	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	80,5	0,3	0,4	80,5	81,0	79,9	0,449	Nezamítá Ho	0,681	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	80,3	0,2	0,3	80,35	80,7	80	0,557	Nezamítá Ho	0,343	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	80,3	0,4	0,5	80,4	80,8	79,3	0,194	Nezamítá Ho	0,673	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	79,9	0,5	0,6	79,9	80,6	79	0,091	Nezamítá Ho	0,013	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	80,4	0,5	0,6	80,25	81,4	79,9	0,103	Nezamítá Ho	0,868	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	80,2	0,4	0,5	80	80,95	79,75	0,200	Nezamítá Ho	0,257	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	80,0	0,3	0,4	80,05	80,6	79,6	0,607	Nezamítá Ho	0,012	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	80,1	0,3	0,4	80,15	80,6	79,6	0,745	Nezamítá Ho	0,047	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	80,1	0,3	0,3	80,2	80,5	79,7	0,982	Nezamítá Ho	0,023	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	80,2	0,3	0,4	80,2	80,6	79,6	0,553	Nezamítá Ho	0,114	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	80,3	0,4	0,5	80,2	80,95	79,65	0,146	Nezamítá Ho	0,489	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	80,1	0,2	0,3	80,05	80,45	79,75	0,700	Nezamítá Ho	0,008	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	79,9	0,3	0,4	80,05	80,3	79,3	0,421	Nezamítá Ho	0,002	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	79,9	0,4	0,6	79,95	80,5	79,1	0,132	Nezamítá Ho	0,012	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	80,2	0,2	0,3	80,25	80,6	79,9	0,714	Nezamítá Ho	0,121	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	80,2	0,5	0,6	80,2	81	79,5	0,107	Nezamítá Ho	0,324	Nezamítá Ho

Příloha P. Index toku taveniny PC

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [g/10min]	s [g/10min]	v [%]	M [g/10min]	Max [g/10min]	Min [g/10min]	F-test (p-hodnota) vyhodnocení		T-test (p-hodnota) vyhodnocení	
-	PC původní	36,4	0,3	0,7	36,3	36,8	36,1	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	38,6	0,2	0,5	38,6	38,8	38,2	0,331	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	39,2	0,3	0,9	39,3	39,8	38,5	0,388	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	38,7	0,3	0,7	38,6	39,1	38,3	0,856	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	37,5	0,4	1,0	37,4	38,1	36,9	0,241	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	38,1	0,3	0,7	38,1	38,4	37,7	0,973	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	39,0	0	0,5	39,0	39,2	38,6	0,331	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	39,7	0	0,6	39,8	40,0	39,2	0,910	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	39,0	0	0,7	38,9	39,4	38,6	0,856	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	37,9	0	0,8	37,9	38,4	37,4	0,772	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	38,3	0	0,6	38,3	38,6	38,0	0,744	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
2x	Neprosetá drť	40,1	0,2	0,4	40,1	40,3	39,6	0,283	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	40,2	0,4	0,9	40,2	40,6	39,3	0,321	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	40,3	0,3	0,7	40,3	40,7	39,8	0,958	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	38,9	0,3	0,8	38,8	39,5	38,5	0,522	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	39,1	0,3	0,8	39,1	39,7	38,7	0,671	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
3x	Neprosetá drť	40,5	0,4	0,9	40,6	41,0	39,7	0,378	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	41,1	0,3	0,7	41,2	41,4	40,4	0,705	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	40,6	0,3	0,7	40,6	41,0	40,1	0,651	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	39,6	0,3	0,8	39,6	40,1	39,1	0,613	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	39,6	0,3	0,7	39,5	40,3	39,2	0,756	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	42,1	0,1	0,3	42,1	42,3	41,9	0,051	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	43,1	0,3	0,7	43,0	43,6	42,7	0,605	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	42,0	0,2	0,6	41,9	42,4	41,7	0,816	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	41,5	0,3	0,7	41,5	42,1	41,1	0,700	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	41,0	0,3	0,8	40,9	41,4	40,6	0,605	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Příloha Q. Délka zatečení PC

Počet recyklací	Materiál	x [mm]	s [mm]	v [%]	M [mm]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PC původní	82,4	1,1	1,4	82,5	84	81	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	89,1	1,6	1,8	89,5	91	86	0,314	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	89,9	2,2	2,5	90,5	93	86	0,053	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	88,2	1,7	2,0	88,0	91	86	0,211	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	86,7	1,2	1,4	86,5	88	85	0,851	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	85,5	1,4	1,7	85,0	88	84	0,466	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
1x regenerace	Neprosetá drť	90,1	1,6	1,8	90,5	92	87	0,314	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	91,9	2,2	2,4	92,5	95	88	0,053	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	90,0	1,7	1,9	89,8	93	88	0,211	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	87,0	1,2	1,4	86,8	88	85	0,851	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	87,5	1,4	1,6	87,0	90	86	0,466	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
2x	Neprosetá drť	92,2	0,9	0,9	92,0	94	91	0,477	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	95,4	1,2	1,3	95,5	97	93	0,827	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	92,6	0,8	0,9	93,0	94	91	0,339	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	89,6	0,8	0,9	90,0	91	88	0,339	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	89,9	1,2	1,4	90,0	92	88	0,789	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
3x	Neprosetá drť	94,7	1,7	1,8	95,5	97	92	0,203	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	98,9	1,9	1,9	98,5	101	96	0,139	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	95,2	1,4	1,5	95,5	97	93	0,506	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	90,6	1,4	1,5	90,0	93	89	0,566	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	92,2	3,6	3,9	93,0	96	82	0,002	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	96,6	1,9	1,9	96,5	100	94	0,145	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	103,5	2,1	2,0	104,0	106	100	0,071	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	96,5	1,9	1,9	96,0	99	94	0,143	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	92,6	1,3	1,4	92,0	95	91	0,684	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	93,4	1,8	1,9	93,5	96	90	0,169	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Příloha R. Modul pružnosti v tahu PA při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	x [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	3480	76	2,2	3485	3620	3360	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	3393	149	4,4	3395	3610	3150	0,059	Nezamítá Ho	0,136	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	3356	197	5,9	3345	3640	3060	0,009	Zamítá Ho	0,095	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	3424	143	4,2	3455	3660	3230	0,074	Nezamítá Ho	0,315	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	3565	128	3,6	3555	3800	3400	0,137	Nezamítá Ho	0,105	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	3574	142	4,0	3585	3760	3360	0,077	Nezamítá Ho	0,098	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	3399	97	2,8	3365	3610	3290	0,489	Nezamítá Ho	0,064	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	3381	174	5,1	3415	3680	3110	0,022	Zamítá Ho	0,135	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	3444	144	4,2	3415	3750	3250	0,073	Nezamítá Ho	0,515	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	3512	122	3,5	3560	3650	3310	0,175	Nezamítá Ho	0,514	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	3549	78	2,2	3550	3660	3430	0,963	Nezamítá Ho	0,073	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	3352	151	4,5	3370	3580	3120	0,055	Nezamítá Ho	0,035	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3289	154	4,7	3270	3590	3080	0,048	Zamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3379	153	4,5	3410	3570	3160	0,051	Nezamítá Ho	0,093	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	3479	90	2,6	3500	3620	3340	0,639	Nezamítá Ho	0,980	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	3471	106	3,1	3510	3630	3300	0,339	Nezamítá Ho	0,839	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	3232	266	8,2	3210	3680	2740	0,001	Zamítá Ho	0,015	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3130	184	5,9	3100	3560	2870	0,015	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3276	309	9,4	3180	3760	2900	0,000	Zamítá Ho	0,071	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	3366	381	11,3	3170	3920	2920	0,000	Zamítá Ho	0,391	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	3389	321	9,5	3205	3890	3060	0,000	Zamítá Ho	0,419	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	3173	318	10,0	3035	3700	2770	0,000	Zamítá Ho	0,012	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3090	329	10,7	3045	3590	2630	0,000	Zamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3183	201	6,3	3155	3650	2910	0,008	Zamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	3284	343	10,4	3325	3780	2740	0,000	Zamítá Ho	0,111	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	3322	218	6,6	3350	3680	3020	0,004	Zamítá Ho	0,055	Nezamítá Ho

Příloha S. Modul pružnosti v tahu PA při 60 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	1109	43	3,9	1105	1170	1040	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	1091	84	7,7	1075	1290	1010	0,057	Nezamítá Ho	0,576	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	1079	91	8,4	1095	1210	910	0,036	Zamítá Ho	0,382	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	1101	93	8,5	1105	1250	950	0,030	Zamítá Ho	0,818	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	1106	71	6,4	1090	1240	1010	0,154	Nezamítá Ho	0,915	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	1106	91	8,3	1120	1240	900	0,035	Zamítá Ho	0,930	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	1088	49	4,5	1095	1170	1010	0,724	Nezamítá Ho	0,344	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	1075	109	10,1	1040	1250	940	0,011	Zamítá Ho	0,394	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	1092	64	5,9	1105	1210	960	0,243	Nezamítá Ho	0,519	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	1108	57	5,2	1130	1200	1030	0,407	Nezamítá Ho	0,967	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	1099	55	5,0	1100	1170	1010	0,485	Nezamítá Ho	0,671	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	1081	97	9,0	1075	1220	900	0,024	Zamítá Ho	0,438	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	1076	68	6,3	1090	1180	960	0,190	Nezamítá Ho	0,234	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	1086	84	7,8	1075	1250	970	0,057	Nezamítá Ho	0,476	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	1103	61	5,6	1100	1200	980	0,302	Nezamítá Ho	0,813	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	1096	33	3,0	1095	1170	1040	0,439	Nezamítá Ho	0,481	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	1035	104	10,0	1010	1240	840	0,015	Zamítá Ho	0,064	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	1032	57	5,5	1025	1100	940	0,422	Nezamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	1038	62	6,0	1040	1170	930	0,289	Nezamítá Ho	0,011	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	1064	109	10,2	1050	1220	870	0,011	Zamítá Ho	0,264	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	1071	83	7,8	1040	1240	980	0,063	Nezamítá Ho	0,239	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	1012	84	8,3	1005	1150	840	0,057	Nezamítá Ho	0,007	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	1005	84	8,3	1010	1130	860	0,060	Nezamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	1025	83	8,1	1030	1130	880	0,065	Nezamítá Ho	0,014	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	1049	90	8,6	1030	1250	920	0,037	Zamítá Ho	0,089	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	1064	77	7,3	1055	1230	970	0,096	Nezamítá Ho	0,144	Nezamítá Ho

Příloha T. Modul pružnosti v tahu PA při 100 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	580	36	6,2	565	660	540	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	568	31	5,4	560	620	520	0,6708	Nezamítá Ho	0,4563	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	561	25	4,4	560	610	520	0,2837	Nezamítá Ho	0,2062	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	567	53	9,4	580	630	490	0,2506	Nezamítá Ho	0,5511	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	570	48	8,4	570	640	490	0,3958	Nezamítá Ho	0,6222	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	571	49	8,5	565	640	500	0,3727	Nezamítá Ho	0,6602	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	565	53	9,3	570	630	450	0,262	Nezamítá Ho	0,489	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	561	32	5,7	560	600	510	0,750	Nezamítá Ho	0,251	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	564	57	10,0	570	630	460	0,188	Nezamítá Ho	0,483	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	567	33	5,9	575	610	520	0,826	Nezamítá Ho	0,435	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	561	32	5,7	560	600	510	0,750	Nezamítá Ho	0,251	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	552	54	9,8	545	650	480	0,2284	Nezamítá Ho	0,2132	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	548	59	10,9	545	620	420	0,1462	Nezamítá Ho	0,1835	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	556	60	10,8	555	650	480	0,1411	Nezamítá Ho	0,3156	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	556	49	8,7	565	630	450	0,3743	Nezamítá Ho	0,2485	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	558	62	11,2	555	660	450	0,1144	Nezamítá Ho	0,3702	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	539	58	10,8	530	650	470	0,1607	Nezamítá Ho	0,0893	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	521	62	11,9	525	620	410	0,1182	Nezamítá Ho	0,0234	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	529	58	10,9	540	600	420	0,1707	Nezamítá Ho	0,0369	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	544	46	8,5	535	620	460	0,4541	Nezamítá Ho	0,0815	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	554	49	8,8	560	610	470	0,3679	Nezamítá Ho	0,2139	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	506	63	12,4	500	600	430	0,1075	Nezamítá Ho	0,0067	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	502	60	11,9	505	610	420	0,1419	Nezamítá Ho	0,0035	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	518	59	11,3	535	600	430	0,1551	Nezamítá Ho	0,0146	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	532	55	10,3	535	600	460	0,2212	Nezamítá Ho	0,0409	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	540	54	9,9	555	600	440	0,2428	Nezamítá Ho	0,0792	Nezamítá Ho

Příloha U. Mez pevnosti v tahu PA při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	x [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	79,8	0,5	0,6	80,0	80,7	78,9	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	79,7	0,7	0,9	79,7	81,0	78,7	0,259	Nezamítá Ho	0,622	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	79,6	0,8	1,0	79,8	81,3	78,2	0,151	Nezamítá Ho	0,544	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	79,4	0,9	1,2	79,4	80,9	78,2	0,081	Nezamítá Ho	0,237	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	79,7	0,5	0,6	79,9	80,3	78,8	0,953	Nezamítá Ho	0,675	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	79,9	0,8	1,0	79,7	81,1	78,9	0,207	Nezamítá Ho	0,949	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	79,6	0,7	0,9	79,5	81	78,4	0,281	Nezamítá Ho	0,507	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	79,6	0,4	0,5	79,7	80	78,8	0,495	Nezamítá Ho	0,257	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	79,4	0,8	1,0	79,5	80,8	78,2	0,149	Nezamítá Ho	0,173	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	79,6	0,6	0,7	79,6	80,9	78,8	0,682	Nezamítá Ho	0,443	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	79,7	1,0	1,2	79,5	81,6	78,4	0,061	Nezamítá Ho	0,706	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	79,4	1,1	1,4	79,2	81,4	77,5	0,032	Zamítá Ho	0,340	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	79,2	1,0	1,3	79,2	80,7	77,9	0,045	Zamítá Ho	0,127	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	79,6	1,3	1,6	79,5	81,7	77,0	0,009	Zamítá Ho	0,673	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	79,8	0,9	1,1	79,8	81,2	78,5	0,126	Nezamítá Ho	0,812	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	80,3	0,7	0,9	80,4	81,5	79,0	0,373	Nezamítá Ho	0,145	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	79,3	0,7	0,8	79,2	80,6	78,0	0,394	Nezamítá Ho	0,091	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	79,1	0,9	1,2	79,0	80,4	77,8	0,085	Nezamítá Ho	0,051	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	79,1	0,9	1,2	79,1	80,8	77,6	0,087	Nezamítá Ho	0,054	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	79,9	1,1	1,3	79,8	81,6	78,1	0,033	Zamítá Ho	0,862	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	79,6	0,9	1,1	79,7	81,2	78,2	0,119	Nezamítá Ho	0,519	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	79,5	0,8	1,1	79,6	80,8	78,0	0,141	Nezamítá Ho	0,370	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	79,2	0,7	0,9	79,0	80,5	78,5	0,363	Nezamítá Ho	0,052	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	79,2	1,0	1,2	79,0	80,8	77,5	0,065	Nezamítá Ho	0,081	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	79,6	0,7	0,9	79,5	80,5	77,9	0,262	Nezamítá Ho	0,360	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	79,7	0,6	0,7	79,6	80,4	78,4	0,703	Nezamítá Ho	0,562	Nezamítá Ho

Příloha V. Mez pevnosti v tahu PA při 60 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	44,2	0,5	1,1	44,4	44,7	43,2	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	43,8	0,6	1,4	43,9	44,6	42,6	0,645	Nezamítá Ho	0,095	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	43,7	1,6	3,6	43,6	46,3	41,5	0,003	Zamítá Ho	0,320	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	43,9	1,0	2,4	43,9	45,4	42,4	0,044	Zamítá Ho	0,376	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	44,1	0,7	1,7	44,0	45,4	42,6	0,286	Nezamítá Ho	0,575	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	43,9	0,6	1,3	44,0	44,6	42,7	0,667	Nezamítá Ho	0,233	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	43,7	0,9	2,1	44,1	45,1	42,0	0,084	Nezamítá Ho	0,184	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	43,6	0,5	1,2	43,8	44,3	42,7	0,840	Nezamítá Ho	0,029	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	43,9	0,8	1,8	43,9	45,3	42,5	0,181	Nezamítá Ho	0,375	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	43,9	1,0	2,3	44,5	45,3	42,4	0,047	Zamítá Ho	0,458	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	44,0	0,9	2,0	44,2	45,2	42,3	0,118	Nezamítá Ho	0,452	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	43,6	1,5	3,3	43,2	46,3	41,5	0,004	Zamítá Ho	0,215	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	43,5	1,0	2,3	43,4	44,8	42,1	0,058	Nezamítá Ho	0,065	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	43,7	0,9	2,1	43,6	45,2	42,3	0,086	Nezamítá Ho	0,166	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	43,8	0,8	1,7	44,0	45,1	42,3	0,247	Nezamítá Ho	0,205	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	43,9	1,0	2,2	44,0	45,6	41,9	0,061	Nezamítá Ho	0,413	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	43,2	0,8	1,8	43,1	44,3	42,0	0,205	Nezamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	43,3	0,8	1,9	43,4	44,5	42,0	0,175	Nezamítá Ho	0,012	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	43,4	0,7	1,6	43,4	44,6	42,1	0,348	Nezamítá Ho	0,012	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	43,4	0,6	1,4	43,2	44,7	42,6	0,534	Nezamítá Ho	0,008	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	43,4	0,8	1,9	43,3	45,3	42,4	0,168	Nezamítá Ho	0,022	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	43,4	0,7	1,7	43,7	44,4	42,1	0,316	Nezamítá Ho	0,010	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	43,2	0,9	2,1	43,5	44,3	41,2	0,112	Nezamítá Ho	0,008	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	43,3	1,0	2,3	43,1	45,2	41,9	0,054	Nezamítá Ho	0,025	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	43,5	0,8	1,8	43,4	45,0	42,5	0,186	Nezamítá Ho	0,043	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	43,6	0,8	1,8	43,6	44,7	42,6	0,219	Nezamítá Ho	0,047	Zamítá Ho

Příloha W. Mez pevnosti v tahu PA při 100 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [MPa]	s [MPa]	v [%]	M [MPa]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	31,1	0,4	1,3	31,2	31,7	30,2	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	30,7	0,8	2,7	30,8	32,6	29,3	0,049	Zamítá Ho	0,241	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	30,5	1,3	4,2	30,7	32,2	28,6	0,003	Zamítá Ho	0,201	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	30,7	1,0	3,2	30,8	32,3	28,7	0,019	Zamítá Ho	0,287	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	30,7	0,6	2,0	30,6	31,7	29,9	0,289	Nezamítá Ho	0,171	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	30,7	0,6	2,0	30,9	31,6	29,6	0,241	Nezamítá Ho	0,182	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	30,9	0,4	1,4	30,8	31,48	30,2	0,913	Nezamítá Ho	0,289	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	30,4	0,5	1,5	30,4	31,3	29,8	0,775	Nezamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	30,6	0,5	1,6	30,5	31,4	30,0	0,632	Nezamítá Ho	0,052	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	30,8	0,4	1,2	30,8	31,3	30,2	0,748	Nezamítá Ho	0,167	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	30,6	0,5	1,5	30,4	31,5	30,1	0,784	Nezamítá Ho	0,033	Zamítá Ho
2x	Neprosetá drť	30,6	0,8	2,5	30,4	32,6	29,9	0,084	Nezamítá Ho	0,118	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	30,1	1,0	3,3	29,9	32,5	29,3	0,018	Zamítá Ho	0,017	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	30,5	1,2	4,0	30,3	32,2	29,0	0,004	Zamítá Ho	0,168	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	30,9	0,9	2,9	31,2	32,2	29,3	0,037	Zamítá Ho	0,547	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	30,5	0,7	2,4	30,5	31,8	29,5	0,122	Nezamítá Ho	0,059	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	30,3	1,2	4,1	30,3	32,0	28,3	0,003	Zamítá Ho	0,088	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	29,9	1,0	3,3	30,2	31,2	28,2	0,019	Zamítá Ho	0,005	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	30,4	1,3	4,3	30,2	32,6	28,4	0,002	Zamítá Ho	0,159	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	30,4	0,6	2,0	30,4	31,2	29,1	0,259	Nezamítá Ho	0,014	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	30,4	0,6	2,1	30,4	31,4	29,5	0,218	Nezamítá Ho	0,019	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	30,0	1,0	3,3	30,2	31,6	28,0	0,019	Zamítá Ho	0,006	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	29,9	1,3	4,2	30,1	31,8	27,8	0,003	Zamítá Ho	0,015	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	30,1	0,9	2,9	30,0	31,4	28,7	0,043	Zamítá Ho	0,005	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	30,4	0,8	2,8	30,5	31,7	28,7	0,052	Nezamítá Ho	0,031	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	30,3	0,4	1,4	30,1	31,1	29,8	0,923	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho

Příloha X. Poměrné prodloužení PA při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	x [%]	s [%]	v [%]	M [%]	Max [%]	Min [%]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	6,1	0,1	2,2	6,1	6,3	5,8	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	6,0	0,5	7,9	5,9	7,0	5,5	0,001	Zamítá Ho	0,766	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	6,2	0,6	9,7	6,2	7,0	5,3	0,000	Zamítá Ho	0,736	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	6,0	0,5	7,9	6,2	6,7	5,2	0,001	Zamítá Ho	0,766	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	6,0	0,5	8,4	6,0	6,7	5,2	0,000	Zamítá Ho	0,734	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	6,0	0,4	6,8	5,9	6,7	5,5	0,003	Zamítá Ho	0,535	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	6,0	0,2	3,9	6,1	6,4	5,6	0,105	Nezamítá Ho	0,446	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	6,1	0,3	5,4	6,1	6,7	5,7	0,012	Zamítá Ho	0,803	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	6,0	0,2	4,0	6,1	6,4	5,6	0,090	Nezamítá Ho	0,394	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	6,0	0,1	2,3	6,0	6,3	5,8	0,917	Nezamítá Ho	0,286	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	6,0	0,2	3,4	6,0	6,3	5,7	0,216	Nezamítá Ho	0,469	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	6,0	0,5	7,9	6,1	6,6	5,2	0,001	Zamítá Ho	0,589	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	6,1	0,6	9,8	6,1	6,9	5,2	0,000	Zamítá Ho	0,923	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	6,0	0,4	7,1	6,1	6,7	5,3	0,002	Zamítá Ho	0,791	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	6,0	0,4	7,3	5,9	6,7	5,4	0,001	Zamítá Ho	0,480	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	6,0	0,3	5,7	6,1	6,4	5,3	0,010	Zamítá Ho	0,335	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	5,9	0,5	8,7	5,9	6,6	4,9	0,000	Zamítá Ho	0,207	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	5,9	0,5	8,9	6,1	6,5	4,8	0,000	Zamítá Ho	0,360	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	5,8	0,5	7,8	5,9	6,5	4,9	0,001	Zamítá Ho	0,102	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,8	0,4	7,4	5,8	6,6	5,2	0,002	Zamítá Ho	0,090	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	5,9	0,4	7,6	5,8	6,6	5,1	0,001	Zamítá Ho	0,173	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	5,8	0,4	6,8	5,7	6,4	5,3	0,003	Zamítá Ho	0,039	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	5,9	0,6	9,7	6,1	6,7	4,9	0,000	Zamítá Ho	0,253	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	5,8	0,4	7,6	5,8	6,4	5,0	0,001	Zamítá Ho	0,045	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	5,8	0,4	7,7	5,8	6,3	5,1	0,001	Zamítá Ho	0,079	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	5,8	0,4	6,5	5,9	6,3	5,1	0,005	Zamítá Ho	0,058	Nezamítá Ho

Příloha Y. Poměrné prodloužení PA při 60 °C

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [%]	s [%]	v [%]	M [%]	Max [%]	Min [%]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	24,8	1,0	4,0	24,90	26,00	23,20	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	25,7	1,8	7,1	26,15	29,80	23,30	0,0795	Nezamítá Ho	0,1872	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	26,3	2,8	10,8	24,85	32,10	23,30	0,0042	Zamítá Ho	0,1496	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	25,6	2,3	8,9	24,95	29,60	23,30	0,0199	Zamítá Ho	0,3130	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	25,7	2,3	9,1	25,35	29,00	22,50	0,0173	Zamítá Ho	0,2746	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	25,4	2,2	8,7	25,05	29,50	22,80	0,0242	Zamítá Ho	0,4388	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	25,4	2,0	7,9	25,4	28,7	21,8	0,045	Zamítá Ho	0,455	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	26,1	3,2	12,4	26,3	30,7	21,3	0,002	Zamítá Ho	0,247	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	25,5	2,4	9,3	25,6	29,9	21,9	0,016	Zamítá Ho	0,416	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	25,9	1,7	6,5	25,8	28,4	23,2	0,129	Nezamítá Ho	0,104	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	25,4	2,0	7,9	25,4	28,7	21,8	0,045	Zamítá Ho	0,455	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	26,5	2,8	10,7	27,30	30,40	21,90	0,0042	Zamítá Ho	0,1075	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	27,2	3,2	11,6	28,15	31,00	22,30	0,0019	Zamítá Ho	0,0430	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	26,3	2,6	10,0	27,40	30,10	21,80	0,0072	Zamítá Ho	0,1185	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	26,3	1,5	5,6	26,45	28,50	23,20	0,2469	Nezamítá Ho	0,0229	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	26,2	2,0	7,8	26,30	29,80	23,40	0,0429	Zamítá Ho	0,0849	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	27,9	1,7	6,1	28,20	31,10	25,40	0,1244	Nezamítá Ho	0,0002	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	28,3	2,6	9,2	28,10	32,50	23,50	0,0080	Zamítá Ho	0,0012	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	27,2	2,4	9,0	27,10	32,60	24,10	0,0125	Zamítá Ho	0,0120	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	27,6	1,4	5,2	27,05	30,10	25,90	0,2839	Nezamítá Ho	0,0001	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	26,9	1,4	5,3	27,00	29,50	24,30	0,2885	Nezamítá Ho	0,0018	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	28,2	3,0	10,5	28,90	32,10	23,90	0,0031	Zamítá Ho	0,0040	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	29,2	3,0	10,1	29,65	33,40	24,90	0,0031	Zamítá Ho	0,0005	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	28,4	2,1	7,3	28,25	31,90	24,60	0,0364	Zamítá Ho	0,0002	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	27,4	2,0	7,2	27,60	30,70	24,00	0,0529	Nezamítá Ho	0,0023	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	27,0	1,7	6,1	27,80	28,60	23,80	0,1398	Nezamítá Ho	0,0030	Zamítá Ho

Příloha Z. Poměrné prodloužení PA při 100 °C

Počet recyklací	Materiál	x [%]	s [%]	v [%]	M [%]	Max [%]	Min [%]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	25,4	1,2	4,6	25,80	26,60	23,20	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	27,8	2,9	10,3	26,45	33,10	24,70	0,013	Zamítá Ho	0,032	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	28,6	3,1	10,8	27,85	36,20	25,40	0,008	Zamítá Ho	0,009	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	27,9	2,6	9,4	29,65	30,60	23,90	0,024	Zamítá Ho	0,016	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	27,1	2,3	8,4	27,70	30,50	22,80	0,060	Nezamítá Ho	0,065	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	26,8	1,8	6,8	27,60	28,80	22,90	0,192	Nezamítá Ho	0,062	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	27,5	1,8	6,7	27,2	30,3	25,1	0,192	Nezamítá Ho	0,009	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	28,7	3,0	10,4	28,6	35,3	23,9	0,010	Zamítá Ho	0,006	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	28,3	2,9	10,4	28,0	32,9	23,2	0,011	Zamítá Ho	0,014	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	27,4	1,5	5,5	27,4	30,2	25,5	0,447	Nezamítá Ho	0,006	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	26,4	1,8	6,9	26,4	29,6	24,1	0,191	Nezamítá Ho	0,172	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	29,9	3,2	10,8	30,40	34,00	25,80	0,006	Zamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	30,7	2,3	7,6	30,60	34,50	27,50	0,050	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	28,9	2,8	9,7	30,15	32,10	23,00	0,015	Zamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	29,1	2,7	9,2	28,05	34,30	26,40	0,020	Zamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	27,9	1,4	5,0	27,65	30,20	26,20	0,595	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
3x	Neprosetá drť	31,5	3,0	9,5	31,25	37,10	27,70	0,009	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	32,5	2,1	6,6	32,60	36,70	28,80	0,082	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	31,2	2,4	7,8	30,15	35,10	28,30	0,039	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	30,3	1,8	6,0	30,50	33,20	27,30	0,210	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	29,2	1,8	6,2	28,80	32,20	26,20	0,199	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	32,9	3,4	10,3	32,15	39,80	28,40	0,004	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	33,4	3,8	11,3	33,80	39,20	27,70	0,002	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	32,3	2,0	6,1	32,65	35,00	29,30	0,128	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	30,2	2,6	8,5	30,90	33,20	25,70	0,027	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	29,7	2,6	8,8	29,70	33,30	25,30	0,024	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Příloha AA. Vrubová houževnatost PA při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	x [kJ/m ²]	s [kJ/m ²]	v [%]	M [kJ/m ²]	Max [kJ/m ²]	Min [kJ/m ²]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	4,6	0,2	3,6	4,6	5,0	4,4	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	4,3	0,4	8,9	4,3	5,0	3,8	0,020	Zamítá Ho	0,030	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	4,0	0,3	8,3	4,1	4,5	3,5	0,047	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,2	0,3	6,7	4,3	4,7	3,7	0,123	Nezamítá Ho	0,002	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	4,5	0,1	2,6	4,5	4,7	4,4	0,326	Nezamítá Ho	0,219	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	4,4	0,2	5,6	4,4	4,8	3,9	0,245	Nezamítá Ho	0,030	Zamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	4,2	0,2	3,6	4,2	4,5	4,0	0,833	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	4,1	0,3	7,2	4,1	4,6	3,7	0,095	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,3	0,3	6,3	4,2	4,8	3,9	0,164	Nezamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	4,5	0,2	3,5	4,5	4,7	4,2	0,872	Nezamítá Ho	0,038	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	4,4	0,1	3,1	4,4	4,6	4,1	0,568	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
2x	Neprosetá drť	3,9	0,4	9,7	3,9	4,5	3,3	0,021	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3,7	0,3	8,7	3,7	4,3	3,3	0,058	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	4,0	0,3	7,2	4,0	4,3	3,5	0,122	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	4,2	0,2	5,4	4,2	4,6	3,9	0,363	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	4,1	0,3	6,6	4,2	4,5	3,5	0,155	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
3x	Neprosetá drť	3,7	0,2	5,3	3,7	3,9	3,3	0,616	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3,5	0,3	7,4	3,5	4,0	3,2	0,199	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3,8	0,3	6,6	3,8	4,3	3,4	0,216	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	3,9	0,2	4,9	3,9	4,1	3,6	0,693	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	3,9	0,2	4,6	3,9	4,2	3,6	0,815	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	3,5	0,4	10,3	3,6	4,0	2,9	0,030	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	3,1	0,3	9,4	3,1	3,5	2,5	0,117	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	3,5	0,3	9,6	3,5	4,2	3,1	0,042	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	3,7	0,2	6,1	3,7	4,1	3,3	0,370	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	3,8	0,1	3,7	3,8	4,0	3,5	0,605	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Příloha BB. Vrubová houževnatost PA při 60 °C

Počet recyklací	Materiál	x [kJ/m ²]	s [kJ/m ²]	v [%]	M [kJ/m ²]	Max [kJ/m ²]	Min [kJ/m ²]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	13,7	0,5	3,8	13,8	14,7	12,9	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	13,3	0,6	4,8	13,3	14,2	12,3	0,551	Nezamítá Ho	0,125	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	13,1	0,7	5,5	13,1	14,2	12,0	0,357	Nezamítá Ho	0,034	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	13,7	1,0	7,1	13,5	15,7	12,2	0,083	Nezamítá Ho	0,880	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	13,3	1,1	8,1	13,0	14,8	11,4	0,044	Zamítá Ho	0,294	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	13,6	1,0	7,1	13,8	14,6	12,1	0,081	Nezamítá Ho	0,678	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	13,2	0,7	5,1	13,2	14,67	12,3	0,469	Nezamítá Ho	0,078	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	13,2	0,9	6,5	13,1	14,48	12,0	0,161	Nezamítá Ho	0,105	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	13,6	0,5	3,4	13,7	14,03	12,5	0,694	Nezamítá Ho	0,599	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	13,4	0,5	4,0	13,3	14,32	12,6	0,962	Nezamítá Ho	0,180	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	13,4	0,4	3,4	13,4	14,1	12,6	0,649	Nezamítá Ho	0,134	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	13,1	0,9	6,8	13,2	14,6	11,7	0,135	Nezamítá Ho	0,065	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	12,6	0,4	2,9	12,6	13,3	12,1	0,310	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	13,3	1,1	8,2	13,8	14,5	11,4	0,041	Zamítá Ho	0,257	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	13,0	0,9	7,2	12,6	14,5	11,9	0,099	Nezamítá Ho	0,061	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	13,1	1,0	7,7	13,1	15,2	11,8	0,062	Nezamítá Ho	0,140	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	12,4	0,8	6,4	12,7	13,6	10,9	0,224	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	12,0	1,2	9,7	11,6	14,2	10,1	0,025	Zamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	12,6	1,0	8,3	12,3	14,1	10,6	0,052	Nezamítá Ho	0,008	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	12,7	0,6	4,5	12,7	13,4	11,8	0,789	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	13,2	0,8	6,4	13,0	14,6	12,1	0,177	Nezamítá Ho	0,112	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	12,0	0,8	6,6	12,0	13,7	10,8	0,223	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	11,8	1,1	9,2	11,6	13,5	10,4	0,043	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	12,3	0,6	4,5	12,2	13,4	11,7	0,871	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	12,4	1,0	8,4	12,4	14,4	10,5	0,052	Nezamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	12,8	0,3	2,4	12,8	13,3	12,4	0,119	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Příloha CC. Vrubová houževnatost PA při 100 °C

Počet recyklací	Materiál	x [kJ/m ²]	s [kJ/m ²]	v [%]	M [kJ/m ²]	Max [kJ/m ²]	Min [kJ/m ²]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	26,7	0,8	3,1	26,7	28,0	25,4	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	27,2	0,9	3,5	26,8	29,0	26,2	0,724	Nezamítá Ho	0,298	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	26,6	0,8	3,1	26,6	28,1	25,6	0,955	Nezamítá Ho	0,809	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	27,6	0,9	3,3	27,2	28,9	26,1	0,820	Nezamítá Ho	0,048	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	27,0	1,4	5,3	26,7	29,9	24,5	0,131	Nezamítá Ho	0,553	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	27,7	0,6	2,3	27,9	28,5	26,6	0,399	Nezamítá Ho	0,012	Zamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	26,8	0,7	2,6	26,9	28,14	25,8	0,609	Nezamítá Ho	0,762	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	26,8	1,2	4,6	26,9	28,74	25,1	0,252	Nezamítá Ho	0,797	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	27,2	1,0	3,6	27,2	28,77	25,8	0,645	Nezamítá Ho	0,273	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	26,9	0,5	1,7	27,0	27,56	26,1	0,097	Nezamítá Ho	0,610	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	27,1	0,7	2,6	27,1	28,21	26,3	0,588	Nezamítá Ho	0,293	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	26,6	0,8	2,9	26,6	28,0	25,5	0,784	Nezamítá Ho	0,853	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	26,0	1,3	4,9	26,3	28,0	23,4	0,234	Nezamítá Ho	0,207	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	27,2	0,9	3,4	27,0	28,8	26,1	0,767	Nezamítá Ho	0,211	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	26,3	1,1	4,2	26,7	28,6	24,8	0,412	Nezamítá Ho	0,444	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	27,0	0,8	3,0	26,6	28,8	26,1	0,955	Nezamítá Ho	0,450	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	26,3	1,4	5,3	26,3	28,2	23,6	0,146	Nezamítá Ho	0,422	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	25,9	1,7	6,5	26,1	28,9	23,8	0,049	Zamítá Ho	0,197	Nezamítá Ho
	Drť 1-2mm	26,3	1,0	3,9	26,3	27,6	24,7	0,566	Nezamítá Ho	0,404	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	26,1	1,0	3,7	26,3	27,3	24,6	0,686	Nezamítá Ho	0,145	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	26,4	1,1	4,1	26,1	28,0	24,8	0,438	Nezamítá Ho	0,515	Nezamítá Ho
4x	Neprosetá drť	26,4	1,2	4,6	26,6	27,9	24,5	0,274	Nezamítá Ho	0,536	Nezamítá Ho
	Drť 0-1mm	25,6	0,9	3,7	25,3	26,9	24,4	0,728	Nezamítá Ho	0,015	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	26,6	0,9	3,2	26,7	28,3	25,4	0,937	Nezamítá Ho	0,733	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	26,8	1,8	6,7	26,4	30,7	24,6	0,033	Zamítá Ho	0,878	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	26,7	0,9	3,5	26,8	28,8	25,4	0,738	Nezamítá Ho	0,964	Nezamítá Ho

Příloha DD. Tvrdost PA při 23 °C

Počet recyklací	Materiál	x [ShD]	s [ShD]	v [%]	M [ShD]	Max [ShD]	Min [ShD]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	74,6	0,3	0,4	75	75,2	74,1	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	73,7	0,8	1,1	74	75	72,6	0,016	Zamítá Ho	0,006	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	73,7	0,8	1,0	73	75,3	72,6	0,021	Zamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	74,4	0,5	0,7	74	75,2	73,6	0,160	Nezamítá Ho	0,361	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	74,2	0,6	0,8	74	75,2	73,4	0,142	Nezamítá Ho	0,114	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	74,4	0,9	1,2	74	76	73,1	0,009	Zamítá Ho	0,486	Nezamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	73,8	0,6	0,8	73,7	74,6	72,9	0,143	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	73,8	0,7	0,9	74,0	75,0	72,7	0,053	Nezamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	74,2	0,4	0,6	74,2	75,0	73,7	0,547	Nezamítá Ho	0,051	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	74,3	0,5	0,7	74,3	75,0	73,3	0,185	Nezamítá Ho	0,212	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	74,3	0,6	0,8	74,2	75,3	73,2	0,097	Nezamítá Ho	0,192	Nezamítá Ho
2x	Neprosetá drť	73,9	0,4	0,5	73,9	74,3	73,2	0,874	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	73,9	0,5	0,6	73,95	74,5	73	0,320	Nezamítá Ho	0,002	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	74,3	0,4	0,5	74,35	74,8	73,5	0,587	Nezamítá Ho	0,169	Nezamítá Ho
	Drť 2-3mm	74,1	0,7	1,0	74,05	75,6	73,1	0,025	Zamítá Ho	0,125	Nezamítá Ho
	Drť 3-4mm	74,2	0,5	0,6	74,1	75,2	73,6	0,302	Nezamítá Ho	0,066	Nezamítá Ho
3x	Neprosetá drť	73,8	0,5	0,7	73,85	74,5	73	0,242	Nezamítá Ho	0,001	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	73,5	0,5	0,6	73,45	74,4	72,8	0,302	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	73,9	0,6	0,8	74,05	74,6	72,8	0,090	Nezamítá Ho	0,006	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	73,9	0,6	0,8	73,75	74,8	72,9	0,114	Nezamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	73,9	0,4	0,6	73,9	74,6	73	0,413	Nezamítá Ho	0,003	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	73,5	0,5	0,7	73,55	74,2	72,8	0,244	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	73,5	0,3	0,4	73,65	73,9	72,9	0,971	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	73,6	0,3	0,4	73,55	74,2	73,2	0,562	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	73,9	0,6	0,8	73,85	74,8	73	0,124	Nezamítá Ho	0,004	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	74,1	0,6	0,9	73,95	75,3	73	0,063	Nezamítá Ho	0,046	Zamítá Ho

Příloha EE. Index toku taveniny PA

Počet recyklací	Materiál	\bar{x} [g/10min]	s [g/10min]	v [%]	M [g/10min]	Max [g/10min]	Min [g/10min]	F-test (p-hodnota) vyhodnocení		T-test (p-hodnota) vyhodnocení	
-	PA původní	42,6	0,3	0,7	42,6	43,0	42,0	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	46,5	0,3	0,6	46,5	47,1	46,1	0,844	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	47,5	0,2	0,5	47,4	47,9	47,3	0,485	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	46,9	0,4	0,9	46,9	47,8	46,3	0,381	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	45,5	0,3	0,6	45,4	45,9	45,1	0,676	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	45,2	0,3	0,7	45,1	45,6	44,7	0,922	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
1x regranulace	Neprosetá drť	47,1	0,3	0,7	47,1	47,8	46,6	0,7	Nezamítá Ho	0,0	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	48,8	0,9	1,8	48,7	50,4	47,0	0,0	Zamítá Ho	0,0	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	47,5	0,3	0,7	47,6	48,2	47,1	0,8	Nezamítá Ho	0,0	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	46,1	0,8	1,7	46,4	47,0	44,6	0,0	Zamítá Ho	0,0	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	45,6	0,4	0,8	45,6	46,1	44,9	0,5	Nezamítá Ho	0,0	Zamítá Ho
2x	Neprosetá drť	47,6	0,3	0,7	47,6	48,3	47,1	0,738	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	50,7	0,9	1,7	50,7	52,4	49,0	0,005	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	49,6	0,3	0,6	49,6	50,2	49,1	0,931	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	47,4	0,8	1,7	47,7	48,3	45,9	0,010	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	47,1	0,4	0,8	47,1	47,6	46,4	0,479	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
3x	Neprosetá drť	52,8	0,9	1,6	52,9	54,4	51,2	0,005	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	55,9	0,5	0,9	55,9	57,0	55,1	0,129	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	54,5	0,4	0,7	54,5	55,3	53,9	0,468	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	50,4	0,3	0,5	50,3	50,7	49,8	0,749	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	49,7	0,2	0,4	49,7	50,0	49,5	0,108	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	56,1	0,3	0,5	56,0	56,6	55,8	0,892	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	60,2	0,7	1,2	60,4	61,2	59,0	0,020	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	57,2	0,4	0,6	57,2	57,8	56,4	0,650	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	52,6	0,2	0,4	52,5	53,0	52,2	0,327	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	51,3	0,4	0,8	51,2	52,0	50,7	0,429	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

Příloha FF. Délka zatečení PA

Počet recyklací	Materiál	x [mm]	s [mm]	v [%]	M [mm]	Max [MPa]	Min [MPa]	F-test		T-test	
								(p-hodnota)	vyhodnocení	(p-hodnota)	vyhodnocení
-	PA původní	133,1	1,4	1,0	133,0	135	131	-	-	-	-
1x	Neprosetá drť	144,2	2,3	1,6	144,0	148	141	0,151	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	149,4	2,2	1,5	150,5	152	145	0,160	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	143,2	2,4	1,7	144,0	146	138	0,112	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	138,4	2,3	1,7	138,0	142	135	0,145	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	137,0	1,9	1,4	137,0	140	134	0,313	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
1x regenerulace	Neprosetá drť	145,1	2,3	1,6	144,5	151,0	143,0	0,1	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	156,2	2,7	1,7	157,5	160,0	152,0	0,1	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	146,6	3,2	2,2	145,5	152,0	142,0	0,0	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	140,9	2,1	1,5	141,5	145,0	137,0	0,2	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	137,7	2,1	1,5	137,5	141,0	134,0	0,2	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
2x	Neprosetá drť	148,1	2,3	1,6	147,5	154	146	0,128	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	160,2	2,7	1,7	161,5	164	156	0,055	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	151,6	3,2	2,1	150,5	157	147	0,018	Zamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	146,9	2,1	1,4	147,5	151	143	0,213	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	143,7	2,1	1,4	143,5	147	140	0,249	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
3x	Neprosetá drť	161,7	2,4	1,5	162,0	165	157	0,121	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	182,9	2,1	1,1	182,0	187	180	0,238	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	164,8	1,4	0,8	164,5	167	163	0,958	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	158,9	1,9	1,2	159,0	162	155	0,333	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	160,6	1,1	0,7	160,0	163	159	0,540	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
4x	Neprosetá drť	187,9	1,4	0,7	188,0	190	185	1,000	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 0-1mm	205,6	1,7	0,8	206,0	208	203	0,554	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 1-2mm	193,2	1,4	0,7	193,5	195	191	0,958	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 2-3mm	172,4	1,3	0,7	173,0	174	170	0,836	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho
	Drť 3-4mm	168,5	2,2	1,3	168,0	173	165	0,159	Nezamítá Ho	0,000	Zamítá Ho

