

Analýza mechanických vlastností materiálů na bázi textilních recyklátů

Marek Petrla

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek Petrla**

Osobní číslo: **T150177**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Analýza mechanických vlastností materiálů na bázi textilních recyklátů**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická část – rešerše na téma:
 2. a. Materiály na bázi textilních recyklátů.
 3. b. Mechanické vlastnosti – tuhost, pevnost, pružnost, tvrdost.
 4. c. Druhy zkoušek mechanických vlastností materiálů.
 5. d. Akustické vlastnosti koeficient akustické pohltivosti, koeficient redukce hluku.
6. II. Praktická část:
 7. a. Experimentální měření mechanických vlastností materiálů na bázi textilních recyklátů.
 8. b. Experimentální měření akustických vlastností materiálů na bázi textilních recyklátů.
 9. c. Vyhodnocení experimentálních měření.
10. d. Analýza mechanických a akustických vlastností materiálů na bázi textilních recyklátů.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. VAŇKOVÁ M. a kol.: Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část I. Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1995), 1-144, 1. vydání ISBN 80-214-0695-X.
2. FAHY F: Foundations of Engineering Acoustics. Učební texty vysokých škol. VUT Brno (1996), 1-164, 1. vydání (ISBN 0-12-247665-4).
3. Schroeder M.R., Springer Handbook of Acoustics, Stürtz AG Würzburg (2007), ISBN 0-387-30446-5

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Dušan Fojtů, Ph.D.

Ústav fyziky a mater. inženýrství


Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2017

Ve Zlíně dne 30. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Byly připraveny materiály na bázi textilního recyklovaného materiálu. Byly připraveny směsi tohoto materiálu s polyethylenem, polypropylenem, polyvinylchloridem a polyamidem. Byly experimentálně stanoveny frekvenční závislosti koeficientu akustické pohltivosti a byl stanoven koeficient redukce hluku studovaných materiálů. Dále byly vyhodnoceny mechanické vlastnosti studovaných materiálů – tahové vlastnosti a tvrdost. Na základě všech získaných naměřených hodnot byla vyhodnocena vhodnost jednotlivých materiálů s ohledem na akustické a mechanické vlastnosti.

Klíčová slova: textilní recyklované materiály, polyethylen, polypropylen, polyvinylchlorid, polyamid, koeficient akustické pohltivosti, koeficient redukce hluku, modul pružnosti v tahu, tvrdost.

ABSTRACT

Materials based on textile recycled material were prepared. Mixtures of these materials with polyethylene, polypropylene, polyvinyl chloride and polyamide were prepared. The frequency dependence of the coefficient of acoustic absorption was determined experimentally and the noise reduction coefficient of the studied materials was determined. Further, the mechanical properties of the studied materials - the modulus of tensile elasticity and hardness were evaluated. On the basis of all measured values obtained, the suitability of individual materials with regard to acoustic and mechanical properties was evaluated.

Keywords: Textile recycled materials, polyethylene, polypropylene, polyvinyl chloride, polyamide, acoustic absorption coefficient, noise reduction coefficient, tensile modulus, hardness.

Rád bych zde poděkoval především Ing. Dušanu Fojtů, Ph.D. za obětavé vedení, rady a čas, který mi věnoval při vypracování této práce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 MECHANICKÉ CHARAKTERISTIKY A VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	12
1.1 ZÁKLADNÍ MECHANICKÉ CHARAKTERISTIKY MATERIÁLŮ	12
1.1.1 Modul pružnosti v tahu	12
1.1.2 Modul pružnosti ve smyku.....	13
1.1.3 Koeficient příčné kontrakce	13
1.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	14
1.2.1 Pružnost.....	14
1.2.2 Plasticita	14
1.2.3 Pevnost	14
1.2.4 Houževnatost.....	14
2 ZÁKLADNÍ ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ	15
2.1 ZKOUŠKA TAHEM	15
2.2 ZKOUŠKA TLAKEM	19
2.3 ZKOUŠKA OHYBEM.....	19
2.4 ZKOUŠKA TVRDOSTI.....	21
2.4.1 Zkouška podle Shoreho	21
2.4.2 Zkouška IRHD	22
3 AKUSTICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ	23
3.1 KOEFICIENT AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI.....	23
3.2 KOEFICIENT REDUKCE HLUKU	24
4 MATERIÁLY NA BÁZI TEXTILNÍCH RECYKLÁTŮ	25
4.1 PLNIVO NA BÁZI DRCENÉHO RECYKLÁTU	25
4.1.1 Pryž	25
4.1.2 Textilní materiály	26
4.1.3 Ocel	26
4.2 POJIVO.....	27
4.2.1 Polyethylen.....	27
4.2.2 Polypropylen	28
4.2.3 Polyvinylchlorid	28
4.2.4 Polyamid	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
5 PŘÍPRAVA MATERIÁLŮ	30
5.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	30
6 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI	35
6.1 PŘÍPRAVA A ROZMĚRY VZORKŮ	35
6.1.1 Příprava vzorků	35
6.1.2 Rozměry vzorků	35

6.2	ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI	36
6.2.1	Normalizace	36
6.2.2	Měřicí zařízení	36
6.3	MĚŘENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ	37
6.4	VYHODNOCENÍ FREKVENČNÍ ZÁVISLOSTI KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI VYBRANÝCH MATERIÁLŮ	38
7	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ	39
7.1	PŘÍPRAVA A ROZMĚRY VZORKŮ	39
7.1.1	Příprava vzorků	39
7.1.2	Rozměry vzorků	39
7.2	ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ	39
7.2.1	Normalizace	39
7.2.2	Měřicí zařízení	39
7.3	MĚŘENÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ	39
7.4	VYHODNOCENÍ	41
8	MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ TVRDOSTI	42
8.1	PŘÍPRAVA A ROZMĚRY VZORKŮ	42
8.1.1	Příprava vzorků	42
8.1.2	Rozměry vzorků	42
8.2	ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ TVRDOSTI	42
8.2.1	Normalizace	42
8.2.2	Měřicí zařízení	42
8.3	MĚŘENÍ TVRDOSTI	42
8.4	VYHODNOCENÍ	43
	ZÁVĚR	44
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	46
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	48
	SEZNAM OBRÁZKŮ	51
	SEZNAM TABULEK	52
	SEZNAM PŘÍLOH	53

ÚVOD

Rozvoj automobilového průmyslu sebou nese různá rizika. Jedním z nich je stále větší nárůst odpadů. Nejedná se pouze o odpady z výroby automobilů a jejich komponentů, ale i o celé automobily. Polymerní materiály mají v automobilovém průmyslu stále větší uplatnění. Je snaha nahrazovat kovové součásti polymerními, především termoplasty. Ve velké míře se také využívá pryží pro výrobu různých součástí (hadice, řemeny, těsnící prvky, vlnovce), ale hlavně pro výrobu pneumatik.

Z hlediska recyklace není pneumatika jenom výrobkem z pryže. Kromě pryže se skládá ještě z vyztužujících vláken a ocelových lan, což výrazně komplikuje její recyklaci. Existují technologie, které dokáží tyto jednotlivé materiály oddělit, ale i přesto zůstane jistý podíl směsi již zmíněných materiálů, které se dále oddělit nedají.

Cílem této práce bylo pokusit se najít využití pro tyto druhy obtížně oddělitelných materiálů pro praktické využití, kdy při recyklaci v průmyslu vzniká velké množství materiálu, který je odpadním produktem recyklační linky zničených pneumatik.

Textilní recykláty představují z environmentálního hlediska přírodní obnovitelný surovinný zdroj se značným potenciálem. Výrobky z pryže a na její bázi se vyznačují výbornými mechanicko-fyzikálními vlastnostmi při nízké hmotnosti (zjednodušená doprava a manipulace), malou objemovou hmotností (dobré tepelné technické vlastnosti), snadnou zpracovatelností a úplnou recyklovatelností. Nevýhody, jako jsou hořlavost, degradace stářím, působení biologických škůdců, povětrnosti atd., lze eliminovat především správným konstrukčním řešením, popřípadě jeho další úpravou. Trvanlivost správně navržených konstrukcí z pryže je zcela srovnatelná s jinými konstrukcemi. Pryž dnes nabízí konstruktérům možnost osobitého ztvárnění, možnost vytváření výrazné architektury a designu.

Při měřeních a vyhodnocení jednotlivých mechanicko-akustických vlastností byla zohledňována legislativa nejenom České Republiky, ale také celé Evropské Unie.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MECHANICKÉ CHARAKTERISTIKY A VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

Výběr materiálu pro výrobu různých součástí i stavbu konstrukcí a zařízení je založen na znalosti mechanických, technologických, fyzikálních i chemických vlastností materiálu. Prvým krokem výběru materiálu spočívá v rozboru těchto vlastností, které jsou pro daný účel nejdůležitější. Potřebujeme materiál pevný nebo tvárný? Bude na součást působit velká síla, bude zatěžování pomalé nebo rázové? Při jaké teplotě, případně v jakém prostředí bude součást použita? Po zjištění nejdůležitějších požadovaných vlastností materiálu můžeme vybrat nejvhodnější materiál. Pro vlastní výběr materiálu však potřebujeme vyjádřit požadované vlastnosti číselně. Například, jak moc má být materiál tvárný, aby měl požadovanou pevnost, korozivzdornost a aby byl cenově zajímavý? Vyjádření vlastností materiálu číselnými hodnotami, materiálovými charakteristikami, je úkolem oboru, který se nazývá zkoušení materiálu. Materiálová charakteristika je číselná hodnota, která kvantifikuje určitou vlastnost a která se určuje experimentálně. [1]

Mechanické vlastnosti materiálu jsou pak prakticky čtyři (pružnost, plasticita, pevnost a houževnatost), ale mechanických charakteristik je mnohem víc. Důvod, proč počet vlastností a charakteristik není stejný, spočívá v experimentální povaze mechanických charakteristik. Pro experimentální určení libovolné mechanické charakteristiky musíme z daného materiálu vyrobit zkušební těleso a zkoušet vliv vnější síly (zatížení) na toto těleso. Proto mechanické charakteristiky nejsou absolutní konstanty daného materiálu, ale jsou to veličiny, které do jisté míry závisí na podmínkách zkoušky. [2]

1.1 Základní mechanické charakteristiky materiálů

1.1.1 Modul pružnosti v tahu

Modul pružnosti v tahu (Youngův modul) je poměr napětí a jím vyvolané deformace. Platí v lineární oblasti po mez úměrnosti, tzv. Hookeovské oblasti. Geometricky se jedná o směrnici přímkové části diagramu, která prochází počátkem.

$$E = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} [\text{MPa}] \quad (1)$$

α – úhel mezi osou x a směrnicí [°]

σ – napětí [MPa]

ε – poměrné prodloužení [-]

1.1.2 Modul pružnosti ve smyku

Modul pružnosti ve smyku je poměr mezi smykovým napětím vyvolaným momentem sil a jím způsobenou deformací (zkosem). Vzniklá deformace je podle Hookeova zákona přímo úměrná tečnému napětí τ . U isotropních materiálů souvisí tento modul s Poissonovým číslem. [2]

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

E – modul pružnosti v tahu [MPa]

μ – Poissonovo číslo [-]

1.1.3 Koeficient příčné kontrakce

Koeficient příčné kontrakce (Poissonovo číslo) je převrácenou hodnotou Poissonovy konstanty, která udává poměr mezi relativním prodloužením tyče k jejímu relativnímu příčnému zúžení.

$$\mu = \frac{1}{m} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \text{ [-]} \quad (3)$$

m - Poissonova konstanta [-]

ε_y - Poměrná deformace v podélném směru [-]

ε_x - Poměrná deformace v příčném směru [-]

1.2 Mechanické vlastnosti materiálů

1.2.1 Pružnost

Pružnost neboli elasticita či tuhost je schopnost materiálu nabýt původního tvaru, přestane-li působit síla, která jeho tvar změnila. Z hlediska fyzikální podstaty se pružná deformace zpravidla projevuje změnou objemu deformovaného tělesa. Objemová změna je vratná. Mechanické namáhání pomine a objem se vrátí na původní hodnotu. Při působení vnějšího napětí je elastická deformace vždy přítomná, druhý typ deformace - plastická deformace je v případě konstrukce, strojních součástí nežádoucí. [3]

1.2.2 Plasticita

Plasticita je schopnost látky deformovat se bez porušení nevratným, tvárným způsobem. Zatížení a odlehčení se už neřídí shodnými zákonitostmi – po odstranění zatížení nosného prvku v něm zůstávají trvalé deformace. Závislost mezi napětím a přetvořením již není lineární a hovoří se tedy o fyzikální nelinearitě, při které už nelze využít principu superpozice. K tvárným materiálům, jenž se vyznačují výrazným plastickým chováním, patří ocel nebo plasty. Plastických vlastností oceli se využívá při navrhování ocelových a železobetonových konstrukcí. [3]

1.2.3 Pevnost

Pevnost je schopnost materiálu odolávat mechanickým silám, které se snaží porušit jeho soudržnost. Porušením soudržnosti rozumíme nevratné rozdělení materiálu jako mechanického celku, nebo vznik trhlin. [4]

1.2.4 Houževnatost

Houževnatost je schopnost materiálu klást odpor vnějším silám proti porušení soudržnosti molekul, i když namáhání dosáhne meze pevnosti. [4]

2 ZÁKLADNÍ ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ

Mechanické zkoušky slouží pro stanovení charakteristik mechanických vlastností. Člení se na krátkodobé (jednorázové) a dlouhodobé, z hlediska rychlosti zatěžování na statické (zatížení silou nebo deformací o konstantní nebo postupně narůstající velikosti) a dynamické (jednorázovým nebo opakovaným namáháním). [5]

Tab. 1. Rozdělení zkoušek materiálů

Zatížení	Krátkodobé	Dlouhodobé
Statické	zkouška tahem	zkoušky tečení (creep)
	zkouška tlakem	
	zkouška ohybem	
	zkouška krutem	
	zkouška stříhem	
	zkoušky tvrdosti (statické)	
Dynamické	zkoušky tvrdosti (dynamické)	zkoušky vysokocyklové únavy
	zkoušky rázem v ohybu	
	zkoušky nízkocyklové únavy	

2.1 Zkouška tahem

Zkouška tahem neboli zkouška trhací je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, neboť jí získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Tyto základní hodnoty také uvádíme u každého normovaného materiálu.

Zkoušku tahem neprovádíme zpravidla přímo na vyrobené součásti, nýbrž na zvlášť upravených zkušebních tyčích z téhož materiálu. Tvary a rozměry zkušebních tyčí jsou normovány. Tvar tyčí volíme podle upínacího zařízení použitého trhacího stroje a podle druhu

materiálu. Tyč musí mít stejný průřez po celé délce. Vlastní měřená délka závisí na průřezu zkušební tyče. Je normována a rovná se při kruhovém průřezu $10d$ u dlouhé tyče (d = průměr zkušební tyče) a $5d$ u tyče krátké. Rovněž průměr d je normován. [4]

Při zkoušce tahem změříme na jednom zkušebním tělese čtyři základní normované mechanické vlastnosti materiálu na trhacím stroji (Obr. 1). Výslednou závislost zapisuje záznamové zařízení (Obr. 2).

1. Mez pevnosti v tahu je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly, kterou snese zkušební tyč a původního průřezu tyče.

$$R_m = \frac{F}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

F – zatěžující síla [N]

S_0 – obsah plochy původního průřezu [mm^2]

2. Mez kluzu v tahu R_e ($R_{p0,2}$) je napětí, při němž se zkušební tyč začne výrazně prodlužovat, aniž by stoupla zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (5)$$

F_e – zatěžující síla na mezi kluzu [N]

S_0 - obsah plochy původního průřezu [mm^2]

3. Tažnost A je poměrná podélná trvalá deformace:

$$A = \frac{l_u - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

l_u – délka zkušebního tělesa po protažení [mm]

l_0 – původní délka zkušebního tělesa [mm]

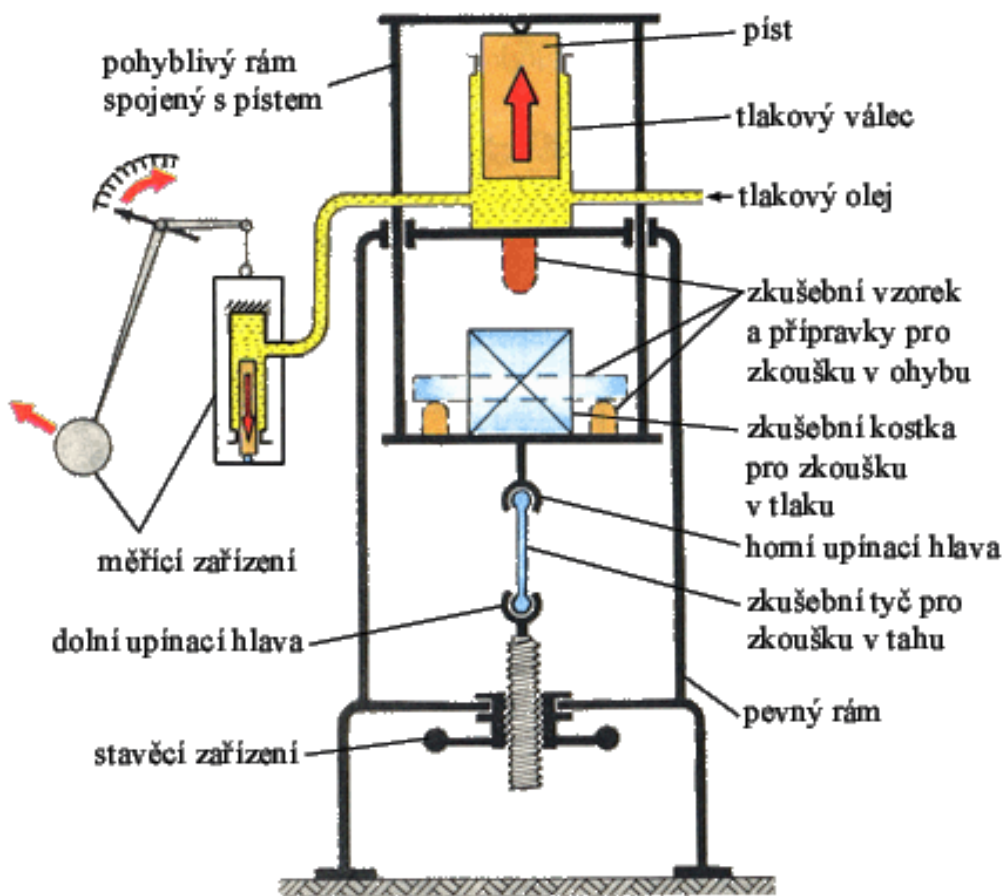
4. Kontrakce Z je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení k původnímu průřezu tyče, vyjádřena v procentech:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

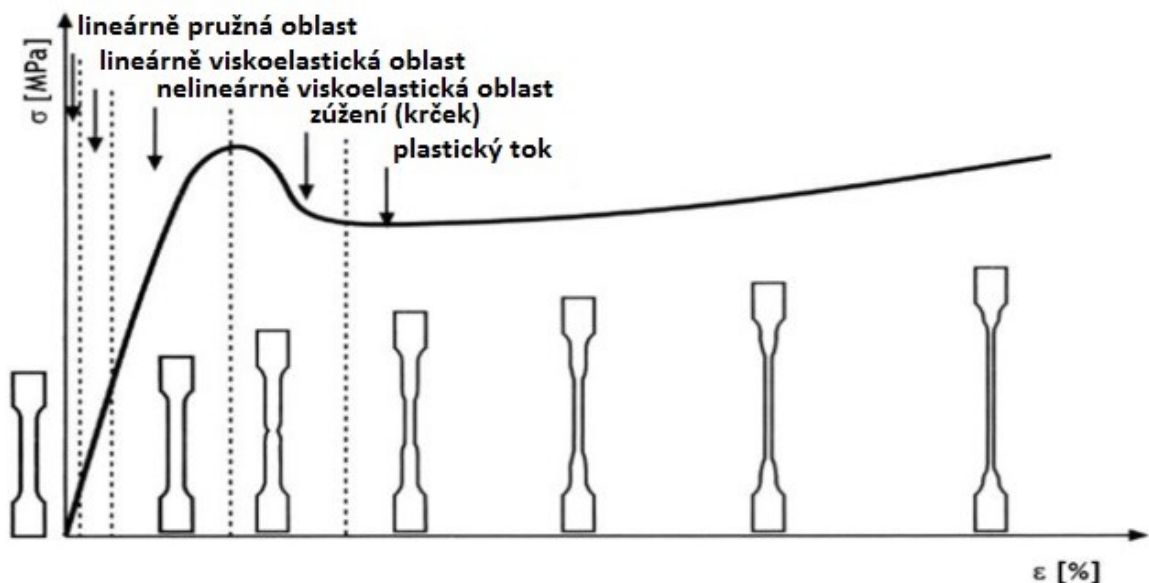
S_0 – původní obsah plochy příčného průřezu zkušebního tělesa [mm²]

S_u – obsah nejmenší plochy příčného průřezu po zkoušce [mm²]

Zkouška tahem se provádí na jednoúčelovém trhacím stroji nebo na univerzálním zkušebním stroji.



Obr. 1. Schéma univerzálního zkušebního stroje
pro zkoušku tahem, tlakem a ohybem



Obr. 2. Deformační křivka termoplastu

2.2 Zkouška tlakem

Zkoušku tlakem používáme méně často než zkoušku tahem, a to např. u ložiskových kovů, litiny, vrstvených tvrzených hmot, keramických látek, stavebních hmot apod. U oceli nebývá tato zkouška nutná, neboť hodnoty meze úměrnosti a kluzu v tahu i tlaku jsou přibližně stejné. Zkušební tělesa mají obvykle tvar válečku o průměru $d = 10$ až 30 mm. Výška válečku h se při hrubých zkouškách rovná průměru d , při přesných měřeních se volí výška $h = 2,5$ až $3d$. Zkušební tělesa z kamene, betonu, dřeva apod. mají tvar krychle. [4]

2.3 Zkouška ohybem

Nejpoužívanější metodou ohybových zkoušek je zkouška rázem v ohybu, která je velmi dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti.

Zkouška vrubová rázem se nejčastěji provádí na Charpyho kyvadlovém kladivu (*Obr.3*). Tvar zkušební tyče je dán normou. [4]

Při zkoušce je jednostranně vrubovaná zkušební tyč ležící na podporách přerážena nárazem kyvadlového kladiva. Hodnota vrubové houževnatosti KC je dána poměrem energie spotřebované k přerážení zkušební tyče a plochy nejmenšího průřezu v místě vrubu. Podle druhu zkoušeného materiálu se používají kladiva o různé energii. V praxi se používají vruby tvaru písmene U (KCU) nebo písmene V (KCV). Za značkou tvaru vrubu se přepisuje jeho hloubka v mm .

$$KC = \frac{W_r}{S_0} \text{ [J.cm}^2\text{]} \quad (8)$$

W_r – energie spotřebovaná k přerážení zkušební tělesa [J]

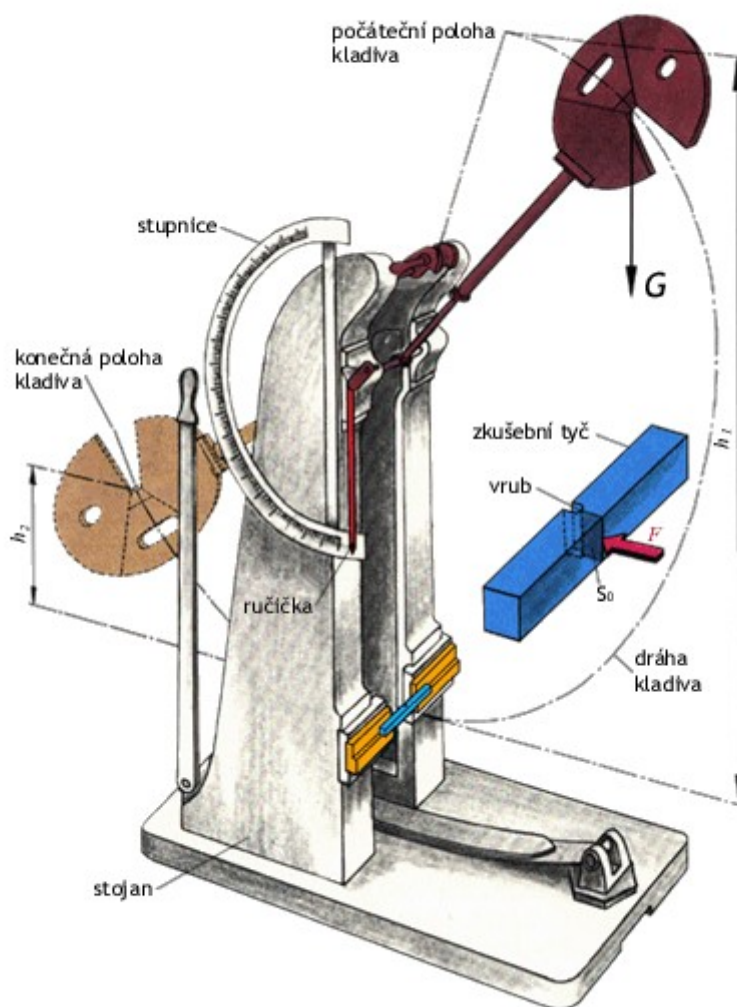
S_0 – obsah plochy průřezu v místě vrubu [cm^2]

$$W_r = G(h_1 - h_2) \text{ [J]} \quad (9)$$

G – tíha kladiva [N]

h_1 – výška, ze které se spouští kladivo [m]

h_2 – výška konečné polohy kladiva po přeražení zkušebního tělesa [m]



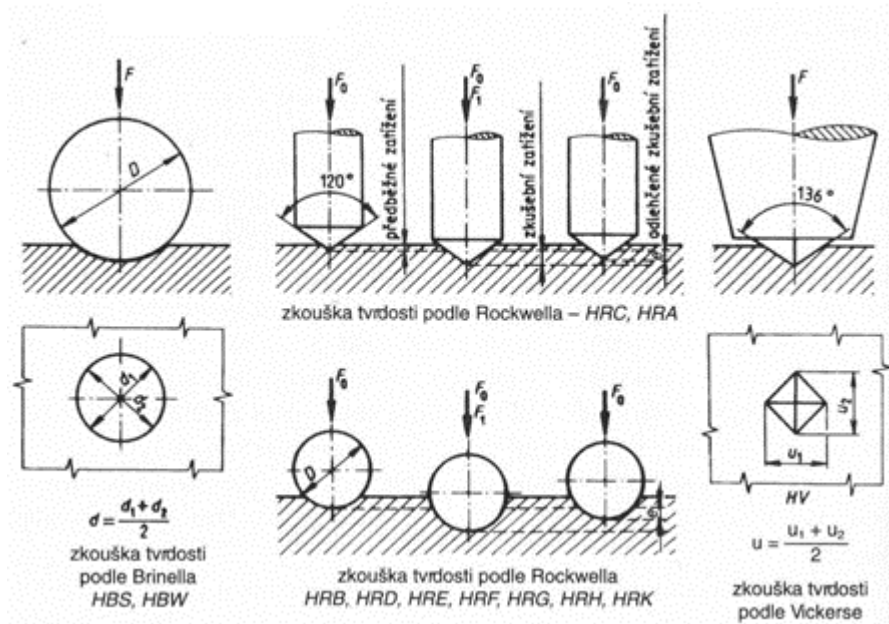
Obr. 3. Charpyho kladivo

2.4 Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti je rychlou a levnou zkouškou, která slouží k odhadu mechanických vlastností materiálu. Tvrdost se určuje vtlačováním indentoru (vnikacího tělíska) definovanou silou do povrchu zkoušeného materiálu. V principu existují dva způsoby měření tvrdosti.

Prvý způsob, používaný u kovů a keramiky, kdy je indentor zamáčknut do materiálu tak, aby došlo k plastické (trvalé) deformaci materiálu. Tyto metody označujeme jako metody vnikací (indentační). Druhý způsob měření tvrdosti je založen na principu elastické interakce povrchu materiálu a zkušebního tělíska a v současné době se používá většinou pro hodnocení pryží a plastů. [4]

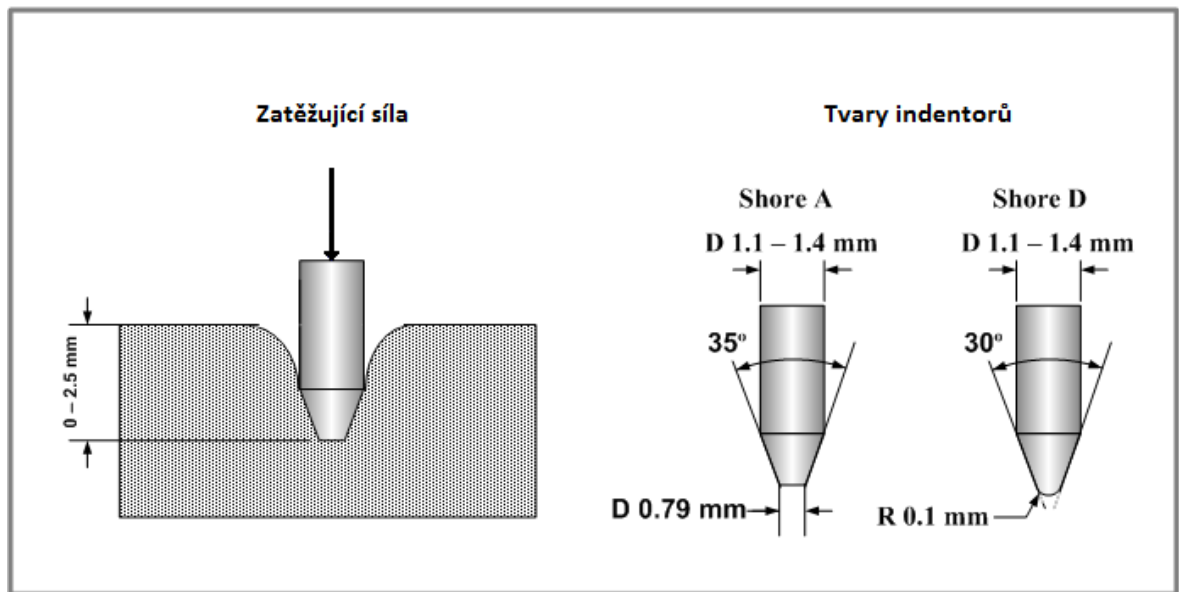
Tvrdost kovů se měří dle Brinella (HB), Vickerse (HV), Rockwella (HR) na tvrdoměrech (Obr. 4). Pro měření tvrdosti pryží, plastů a laků se používá metoda Shoreho (HSh) a IRHD.



Obr. 4. Rozdělení zkoušek tvrdosti a tvary indentorů

2.4.1 Zkouška podle Shoreho

Zkouška tvrdosti podle Shoreho (HSh) je založena na principu měření odporu proti vtlačování ocelového indentoru ve tvaru komolého kužele do povrchu zkoušeného materiálu. Podle přibližné tvrdosti materiálu se volí metoda Shore A pro měkké materiály, pro tvrdé materiály potom metoda Shore D (Obr. 5). [6]



Obr. 5. Zkouška tvrdosti dle Shoreho

2.4.2 Zkouška IRHD

Zkouška tvrdosti IRHD (International Rubber Hardness Degree) se všeobecně používá pro měření tvrdosti pryží. Princip zkoušky je založen na měření hloubky vtažení indentoru ve tvaru ocelové kuličky do povrchu zkoušeného materiálu. [6]

3 AKUSTICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ

Akustika je vědní obor fyziky, který se zabývá studiem zvuku a to především vznikem, šířením a vnímáním zvukového vlnění. Vzhledem k tomu, že se jedná o dosti široký obor, dělí se akustika na další směry:

Fyzikální akustika – zabývá se vznikem, šířením, odrazem a pohlcováním zvukových vln.

Hudební akustika – studuje zvuk pro užití v hudbě.

Fyziologická akustika – zkoumá vliv zvuku na člověka a také člověka, co by vysílače i přijímače zvuku.

Stavební akustika – zabývá se především projektováním místností tak, aby se v nich dal zvuk dobře poslouchat. Dále zkoumá materiály, které dobře pohlcují akustické vlnění, jako zvukové izolanty.

Zvuk je mechanické vlnění, které je schopno vyvolat sluchový vjem.

3.1 Koeficient akustické pohltivosti

Koeficient akustické pohltivosti α nám udává, jak dobře daný materiál pohlcuje akustické vlnění. Velikost koeficientu se pohybuje od 0 do 1. Nula představuje nulovou absorpci, jedna úplnou absorpci.

$$\alpha = \frac{I_a}{I_0} [-] \quad (10)$$

I_a – intenzita absorbovaného vlnění [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

I_0 – intenzita vlnění působícího na překážku [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

Intenzita zvuku je dána jako podíl výkonu zvukového vlnění a obsahu plochy, kterou zvuk prochází.

$$I = \frac{P}{S} [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (11)$$

P – výkon zvukového vlnění [W]

S – obsah plochy [m^2]

Toho se využívá především v tzv. stavební fyzice při volbě akusticko–izolačních materiálů.

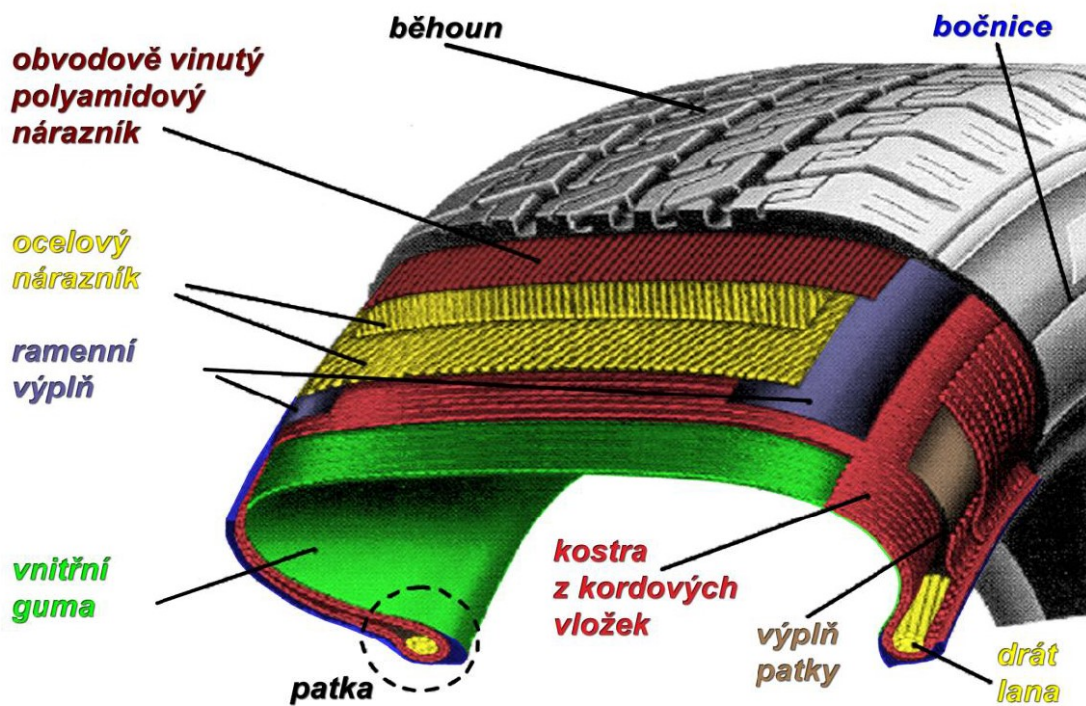
3.2 Koeficient redukce hluku

Koeficient zvukové pohltivosti se mění s frekvencí. Typicky absorpční materiály jsou materiály porézní charakterizované tímto koeficientem, který se zvyšuje s frekvencí. Účinná pohltivost je tedy limitována frekvencí 250 Hz, pod níž nedochází k tak tlumivým účinkům jako nad touto frekvencí. Existují sice absorbéry, které tlumí i velmi nízké frekvence, ale touto problematikou se nebudeme zabývat. Nicméně v typických případech je vhodné pro charakteristiku akustických vlastností materiálu použít jednu veličinu, která se vyhodnocuje z více frekvencí.

Tato veličina byla definována Americkou Společností pro Testování Materiálů (ASTM) jako součást normy C423 a nazývá koeficient hlukové redukce (NRC). Tento koeficient je aritmetickým průměrem hodnot koeficientů zvukové pohltivosti při frekvencích 250, 500, 1000 a 2000 Hz zaokrouhleným nejbližší k 0,05. [7]

4 MATERIÁLY NA BÁZI TEXTILNÍCH RECYKLÁTŮ

Námi použitý recyklát bude v experimentální práci použit jako plnivo do několika druhů běžných termoplastických polymerů, které budou zastávat funkci pojiva. Jedná se o zbytek dále již neoddělitelných částí různých druhů pryží, textilních vláken a ocelových lan. Jsou to zbytky z recyklační linky opotřebovaných a poničených pneumatik, které již nelze použít, ani opravit (Obr. 6).



Obr. 6. Konstrukce pneumatiky

4.1 Plnivo na bázi drceného recyklátu

4.1.1 Pryž

Pryž je polymerní materiál, který vzniká síťováním (vulkanizací) kaučukové směsi.

Přírodní kaučuk (NR) se získává z latexu (šťávy) stromů *Hevea brasiliensis*, které mají původ v Amazonii, ale pro potřeby gumárenského průmyslu se pěstují na plantážích v subtropických oblastech Asie a severní Afriky.

Kaučuk lze připravit také syntetickou cestou z ropy. Syntetické kaučuky se liší svými vlastnostmi dle chemického složení polymerního řetězce. Mezi nejpoužívanější druhy patří: butadienstyrenový (SBR), butadienový (BR), izoprenový (IR), butylový (IIR) a chlorbutylový (CIIR).

Vulkanizace je nevratná chemicko-fyzikální reakce, při níž dochází k zesíťování molekul kaučukového řetězce tvorbou příčných sírných vazeb. Materiál tak výrazně změní své vlastnosti a stane se částečně elastickým. Aby mohla vulkanizace proběhnout, je zapotřebí přítomnost vulkanizačního činidla, kterým je nejčastěji síra, případně její donory.

Dalšími komponenty kaučukových směsí jsou urychlovače (látky podporující činnost vulkanizačních činidel – Vulkacit, MOZ, Thiofise, Thiotax, Sulfenax), aktivátory (látky zvyšující účinek vulkanizačních činidel – Stearin, ZnO, retardéry (látky zpomalující nástup vulkanizace do 120° - Santogard, PVI, Vulkalet G, Duslin), změkčovadla (látky usnadňující zpracovatelnost směsi – parafin, cerezin, ropné oleje, asfalty, dehty, pryskyřice, kalafuna, smrkový dehet), plniva (látky zlepšující mechanické vlastnosti pryže - saze, oxid křemičitý, křída, kaolin, vápenec), antigegradanty, antioxidanty (látky zabraňující předčasnému stárnutí pryže – Santolex IP, Antioxidant CD, PBN fenylbetanaftylamin), plastikační činidla (látky zkracující čas plastikace – Reptazin, Renacit), regenerát (částice starých pryží, přidávané do méně kvalitních směsí) a zvláštní přísady (nadouvadla, faktisy, pigmenty a barviva). [8]

4.1.2 Textilní materiály

Textilní materiály hlavně PA nebo PES impregnované kordy v pneumatikách slouží jako výztuhy. Materiál tkanin může být přírodní (bavlna, viskóza, molino) nebo syntetický (polyamidová, polyesterová a aramidová vlákna) a také jejich kombinace. Tkaniny se před pogumováním impregnují pro zajištění adheze s kaučukovou směsí.

4.1.3 Ocel

Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků, která obsahuje méně než 2,14% uhlíku.

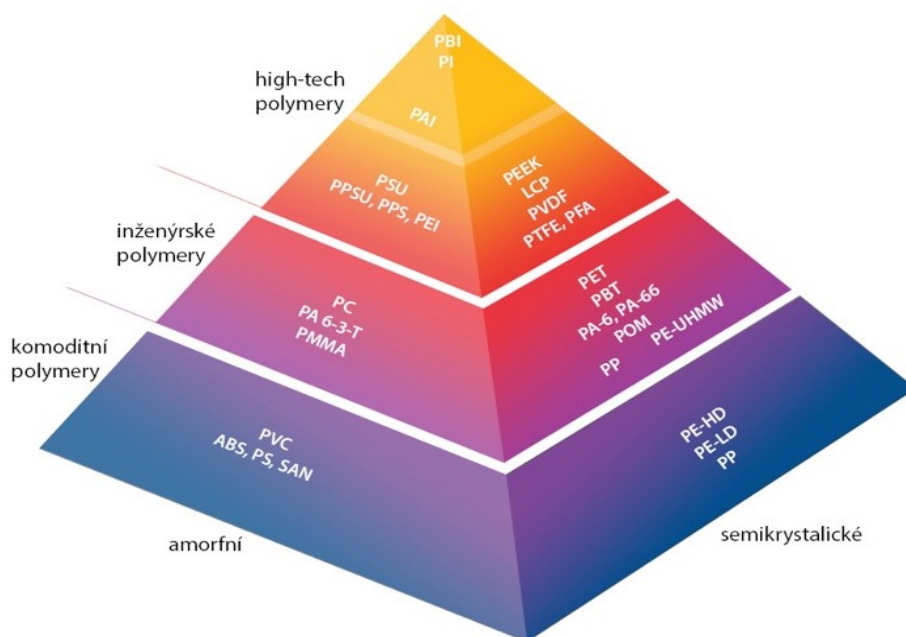
V pneumatikách je ocel, stejně jako s textilní materiály, použita pro výztužné části ve formě lan nebo ocelových kordů, které jsou splétány z jednotlivých drátů. Ocelová lana se nacházejí v patce, nárazníku a kostře. Pro výrobu ocelových lan se používá ušlechtilá pru-

žínová ocel, která bývá legovaná obvykle křemíkem, chromem, vanadem a manganem (oceli dle ČSN 12 090, 13 180, 14 260). Pro dobrou adhezi ke kaučukové směsi jsou ocelové kordy pomosazeny.

4.2 Pojivo

Jako pojivo se v experimentální práci použijí některé druhy běžně dostupných termoplastů.

Termoplasty jsou polymery, které lze za zvýšené teploty uvést do stavu plastického ze stavu tuhého. Tato změna je vratná. Rozdělení druhů termoplastů (Obr. 7). [8]



Obr. 7. Rozdělení termoplastů

4.2.1 Polyethylen

Pojmem polyethylen (PE) označujeme homopolymery ethenu. Jejich vlastnosti jsou silně závislé na molekulové hmotnosti, prostorovém uspořádání merů v řetězci makromolekuly a stupni krystalinity.

Druhy polyethylenu se dělí podle hustoty, která je mírou linearity řetězců makromolekul i krystalinity. Lineární polyethylen je vysokohustotní (PE-HD), rozvětvený je nízkohustotní (PE-LD).

Další druhy polyethylenu jsou například polyethylen o velmi vysoké molekulové hmotnosti (PE-UHMW) a lineární polyethylen s nízkou hustotou (PE-LLD).

Použití: obalový materiál, fólie, trubky, kanystry, pláště kabelů, výrobky pro domácnost, hračky, sportovní potřeby.

Poprvé se podařilo polyetylen připravit roku 1933. Je to nejpoužívanější termoplast na světě.[8]

4.2.2 Polypropylen

Polypropylen (PP) je termoplastický polymer ze skupiny polyolefinů. Vyrábí se polymerací monomeru propylenu. Je to druhý nejpoužívanější plast na světě.

Použití: lana, izolace vodičů, obalový materiál.

Poprvé byl polypropylen vyroben v roce 1954. [8]

4.2.3 Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid (PVC) je polymer ze skupiny vinylových polymerů. Díky levné výrobě vinylchloridu se tak stal celosvětově velmi rozšířeným. Polyvinylchlorid se dá vyrobit v různých tvrdostech. Stupeň tvrdosti se řídí množstvím přidaných změkčovadel. Lze tak vyrábět tvrdé výrobky (trubky, desky, okenní a dveřní profily) nebo měkké výrobky (fólie, hračky, rukavice, ubrusy, podlahoviny, koženka). Chemická odolnost polyvinylchloridu v tvrdém stavu je dobrá, avšak s přibývajícím množstvím změkčovadel se snižuje.

Poprvé byl polyvinylchlorid vyroben v roce 1935.[8]

4.2.4 Polyamid

Polyamidy (PA) jsou lineární polymery charakterizované hlavním polymerním řetězcem, v němž se pravidelně střídají skupiny – CO - NH - s větším počtem skupin methylenových – CH₂ -.

Jedná se o polymer konstrukční, který nachází uplatnění hlavně ve výrobě technických dílů. Dosahuje vynikajících výsledků hodnot mechanických vlastností a to zejména v modifikacích, které jsou plněné (např. skleněnými vlákny).[8]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PŘÍPRAVA MATERIÁLŮ

5.1 Příprava vzorků

Textilní materiál na bázi - polyamidového vlákna + polyethyltereftalát + polyamid + pryž – dále jen Blackwool (Obr. 8).

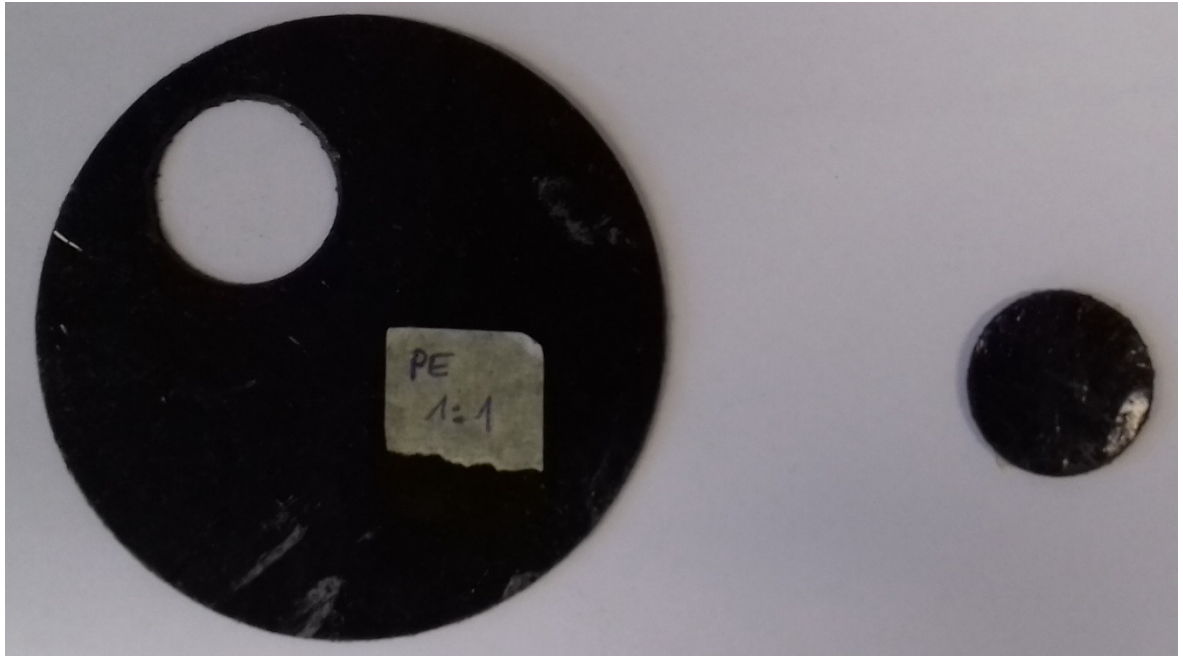


Obr. 8. Blackwool

Pro měření akustických a mechanických vlastností byl namíchán tento materiál v kombinaci s různými polymerními materiály. Míchání se provádělo v hnětiči BRABENDER při teplotě 250°C po dobu 5 minut. Jednalo se o následující hmotnostní poměry:

- Polyethylen (PE-LLD Exxon Mobil Exceed) + textilní recyklát v poměru 1:1.
- Polyethylen (PE-LLD Exxon Mobil Exceed) + textilní recyklát v poměru 2:1.
- Polypropylen (Basell) + textilní recyklát v poměru 1:1.
- Polypropylen (Basell) + textilní recyklát v poměru 2:1.
- Polyamid 6.6 (Akulon) + textilní recyklát v poměru 1:1.
- Polyvinylchlorid (RB1AZZ) + textilní recyklát v poměru 1:1.

Pro měření akustické pohltivosti a mechanických vlastností byl vyřazen materiál PVC 1:1, vzhledem ke konzistenci tohoto materiálu (Obr. 14).



Obr. 9. Polyethylen + textilní recyklát 1:1



Obr. 10. Polyethylen + textilní recyklát 2:1



Obr. 11. Polypropylen + textilní recyklát 1:1



Obr. 12. Polypropylen + textilní recyklát 2:1



Obr. 13. Polyamid + textilní recyklát 1:1



Obr. 14. Polyvinylchlorid + textilní recyklát 1:1

6 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ KOEFICIENTU ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI

6.1 Příprava a rozměry vzorků

6.1.1 Příprava vzorků

Vzorky jednotlivých materiálů byly vyseknuty ocelovým sekacím nožem. Bylo připraveno pět vzorků každého materiálu o průměrech 100 mm a 30 mm. V dalším textu jsou uváděny průměrné hodnoty jednotlivých měření.

6.1.2 Rozměry vzorků

Tab. 2. Tloušťka vzorků pro trubici o průměru 100 mm a 30 mm

Materiál	Tloušťka [mm]	Hustota [kg.m⁻³]
PE 1:1	1,83	1037,447
PE 2:1	3,71	896,519
PP 1:1	2,09	999,584
PP 2:1	3,72	917,349
PA 1:1	2,39	1191,358
PVC 1:1	-	-

6.2 Zařízení pro měření frekvenční závislosti koeficientu zvukové pohltivosti

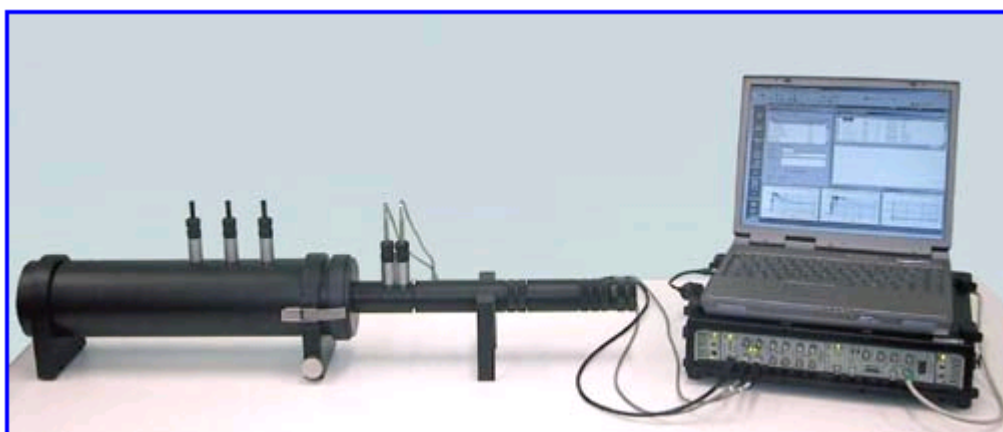
6.2.1 Normalizace

ČSN EN ISO 1996-1 obsahuje prostředí, základní veličiny a postupy pro popis a měření hluku. Jako podklad pro speciální výpočty se používá metodika uvedená např. v normách ČSN EN 11 654 – Akustika – Absorbéry (akustické materiály a konstrukce pro použití v budovách) – Hodnocení zvukové pohltivosti, a ČSN EN 12 354 Stavební akustika pro výpočet vzduchové neprůzvučnosti.

6.2.2 Měřicí zařízení

Měření se provádělo na zařízení firmy B&K. Jedná se dvoumikrofonovou impedanční trubicí typu 4206 (Obr. 15). Ta se používá ke zjišťování koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu zvukové odrazivosti pro vzorky uvedených poloměrů. Skládá se ze dvou trubic o průměru 100 a 30 mm umožňující měření ve frekvenčním rozsahu od 0 do 6400 Hz. Pro samotnou analýzu využívá tříkanálový PULSE multianalyzátor Brüel & Kjaer typ 3560-B-030 (Obr. 16). Jedná se o přenosný přístroj umožňující zpracování a analýzu signálů v reálném čase ve frekvenčním rozsahu od 0 Hz do 25,6 kHz. V kombinaci s dvoumikrofonovou trubicí Brüel & Kjaer 4206 se používá k měření absorpčních charakteristik materiálů.

Pomocí PULSE LabShop software jsou výsledky měření zpracovány do textového souboru ve formě tabulky, která vyjadřuje závislost koeficientu zvukové pohltivosti na dané frekvenci.



Obr. 15. Měřicí zařízení B&K typu 4206



Obr. 16. Tříkanálový PULSE multianalyzátor Brüel & Kjaer typ 3560-B-030

6.3 Měření frekvenční závislosti koeficientu zvukové pohltivosti vibračních materiálů

Měření koeficientu zvukové pohltivosti bylo provedeno na dvoumikrofonové impedanční trubici Brüel & Kjaer typ 4206 a výsledkem tohoto měření byly textové soubory obsahující naměřené závislosti. Takto získaná data byla zpracována pomocí programu Microsoft Excel 2013.

Naměřené závislosti koeficientu zvukové pohltivosti na frekvenci jednotlivých měřených materiálů jsou uvedeny v přílohách (viz. příloha PI – PIII).

Pro vyhodnocení akustických vlastností měřených materiálů byla uvažována frekvenční oblast 50 – 6400 Hz. Celkové výsledky maximálních hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku (Tab. 3).

Tab. 3. Maximální hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku

Materiál	α_{\max} [-]	NRC [-]
PE 1:1	0,766	0,095
PE 2:1	0,758	0,036
PP 1:1	0,449	0,023
PP 2:1	0,742	0,049
PA 1:1	0,839	0,016
PVC 1:1	-	-

6.4 Vyhodnocení frekvenční závislosti koeficientu zvukové pohltivosti vybraných materiálů

Frekvenční závislost původního neextrudovaného textilního recyklovaného materiálu je uvedena v příloze P IV.

Na základě naměřených hodnot koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku lze konstatovat, že žádný z měřených materiálů nepatří mezi dobré akustické izolanty (KAP v rozmezí 0,3-0,6), jelikož ani jeden z materiálů v celém frekvenčním rozhraní nepřesáhl hodnotu koeficientu akustické pohltivosti vyšší než 0,31.

Z měřených materiálů z hlediska koeficientu redukce hluku má nejlepší akustické vlastnosti materiál PP 2:1, naopak nejhorších výsledků dosáhl materiál PA 1:1. Je nutno říci, že ve frekvenčním rozhraní pro výpočet NRC tedy od 100-2000 Hz vykazovaly všechny materiály kromě PA 1:1 kolísavý charakter frekvenční závislosti.

Z celkového průběhu frekvenční závislosti lze považovat za nejlepší materiál PE 2:1, dále materiál PE 1:1 a PP 1:1. Materiály PP 2:1 a PA 1:1 vykazovaly v celém frekvenčním rozhraní horší akusticko-pohltivé vlastnosti než materiály předchozí.

S ohledem na všechny naměřené výsledky lze říci, že kladný vliv na zlepšení akusticko-izolačních vlastností textilního recyklátu má materiál polyethylen.

7 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ

7.1 Příprava a rozměry vzorků

7.1.1 Příprava vzorků

Zkušební tělesa byla vyseknuta z desek sekacím nožem o přesném tvaru. Z každého druhu materiálu bylo vyseknuto pět vzorků normalizovaného tvaru *SI*.

7.1.2 Rozměry vzorků

Rozměry zkušebních těles pro zkoušku tahem jsou dány normou, liší se pouze v tloušťce, která se měří mikrometrem u každého tělesa zvlášť, těsně před založením vzorku do upínacích čelistí stroje. Naměřená hodnota tloušťky se přenesse do počítače, kde se vynásobí s předem zadanou hodnotou šířky. Výsledkem je obsah plochy příčného průřezu pracovní části zkušebního tělesa.

7.2 Zařízení pro měření tahových vlastností

7.2.1 Normalizace

ČSN EN ISO 527-1 stanovuje podmínky, průběh a vyhodnocení zkoušek tahových vlastností pro zkušební tělesa z polymerních materiálů.

7.2.2 Měřicí zařízení

Měření tahových vlastností se provádělo na univerzálním trhacím stroji typu TENSOMETER 2000. Maximální hodnota pracovního rozsahu pro materiály s poměrem 1:1 byla nastavena na 10 MPa, pro materiály s poměrem 2:1 byla 20 MPa. Zatěžující síla byla 1 kN a rychlost posuvu příčnicku 100 mm/min.

7.3 Měření tahových vlastností

Byly měřeny hodnoty na zkušebních tělesech – napětí při přetržení, poměrné prodloužení, špičkové napětí, špičkové prodloužení a moduly pružnosti v tahu pro hodnoty deformací 1% 2% 5% a 10%.

Zkouška byla provedena celkem pětkrát u každého materiálu. Vzhledem k různorodé velikosti a také distribuci částic plniva se nejlepší a nejhorší výsledek vyřadil. Ze zbylých hodnot byl vyhodnocen aritmetický průměr (Tab. 4. – 5).

Tab. 4. Průměrné hodnoty zkoušky tahových vlastností

Materiál	Napětí při přetržení [MPa]	Poměrné prodloužení [%]	Špičkové napětí [MPa]	Špičkové prodloužení [%]
PE 1:1	1,83	16,067	4,316	9,5
PE 2:1	2,838	41	7,869	23,7
PP 1:1	3,824	5,167	4,868	3,533
PP 2:1	10,33	7,4	12,104	4,967
PA 1:1	-	-	-	-
PVC 1:1	-	-	-	-

Tab. 5. Průměrné hodnoty modulů pružnosti v tahu

Materiál	Modul 1% [MPa]	Modul 2% [MPa]	Modul 5% [MPa]	Modul 10% [MPa]
PE 1:1	1,009	2,211	3,865	4,046
PE 2:1	1,81	3,714	6,165	7,328
PP 1:1	1,777	4,014	3,457	-
PP 2:1	5,852	9,528	12,022	-
PA 1:1	-	-	-	-
PVC 1:1	-	-	-	-

7.4 Vyhodnocení

Grafické závislosti napětí na prodloužení měřených materiálů jsou uvedeny v příloze P V-VIII.

Na základě naměřených hodnot napětí při přetržení lze konstatovat, že nejlepší vlastnosti vykázal materiál PP 2:1, kdy průměrná hodnota napětí při přetržení vykazovala 10,33 MPa, naopak nejhorší vlastnosti vykázal materiál PE 1:1, kdy průměrná hodnota napětí při přetržení vykazovala 1,83 MPa.

Výsledky poměrného prodloužení byly nejlepší u materiálu PE 2:1, kdy hodnota průměrného prodloužení činila 41%, nejhorší výsledky byly u materiálu PP 1:1, kdy hodnota průměrného prodloužení činila 5% (viz. Tab. 4).

Z uvedených výsledků tedy vyplývá, že nejlepší tahové vlastnosti z hlediska pružnosti materiálu dosáhl materiál PE 2:1.

8 MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ TVRDOSTI

8.1 Příprava a rozměry vzorků

8.1.1 Příprava vzorků

Tvrdot byla měřena na vylisovaných deskách.

8.1.2 Rozměry vzorků

Podle normy musí být minimální tloušťka zkoušeného materiálu 4 mm. Je-li tloušťka menší, je možné dát více vrstev materiálu na sebe.

8.2 Zařízení pro měření tvrdosti

8.2.1 Normalizace

ČSN EN ISO 868 určuje podmínky, průběh a vyhodnocení zkoušky tvrdosti polymerních materiálů metodou ShA.

8.2.2 Měřicí zařízení

Pro měření tvrdosti vzorků byl použit analogový tvrdoměr firmy ZWICK pro měření tvrdosti polymerních materiálů metodou ShA.

8.3 Měření tvrdosti

Výsledná tvrdost zkoušeného materiálu je podle normy dána aritmetickým průměrem z pěti měření (Tab. 6).

Tab. 6. Průměrná tvrdost vzorků

Materiál	Tvrdot [ShA]
PE 1:1	95
PE 2:1	91,8
PP 1:1	95,4
PP 2:1	91,8
PA 1:1	-
PVC 1:1	-

8.4 Vyhodnocení

Na základě naměřených hodnot tvrdosti lze říci, že nejvyšší tvrdost vykazoval materiál PP 1:1 s průměrnou hodnotou 95,4 ShA. Nejnižší tvrdost vykazaly materiály PE 2:1 a PP 2:1, kdy průměrná tvrdost byla 91,8 ShA.

Z uvedených výsledků tedy vyplývá, že nejlepší hodnoty tvrdosti mají materiály PE 2:1 a PP 2:1.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá analýzou mechanických vlastností materiálů na bázi textilních recyklátů.

V teoretické části jsou zpracovány informace o mechanických charakteristikách - konkrétně modul pružnosti v tahu, modul pružnosti ve smyku a koeficient příčné kontrakce - a vlastnostech materiálů – pružnost, plasticita, pevnost a houževnatost. Dále jsou v této kapitole rešeržovány základní zkoušky mechanických vlastností materiálů - zkouška tahem, zkouška tlakem, zkouška ohybem, zkouška tvrdosti, zkouška podle Shoreho a zkouška IRHD. Další významný oddíl teoretické části tvoří zpracování problematiky akustických vlastností materiálů, konkrétně koeficient akustické pohltivosti a koeficient redukce hluku. Na závěr jsou popsány jednotlivé měřené materiály na bázi textilních recyklátů a materiály polymerní, se kterými byl textilní recyklát kombinován.

V praktické části byla provedena příprava materiálů pro experimentální měření a vyhodnocení, kdy byl smíchán textilní recyklát s polyethylenem, polypropylenem, polyamidem a polyvinylchloridem. Ze vzniklých směsí byly vylisovány desky pro výrobu vzorků k měření frekvenční závislosti koeficientu akustické pohltivosti. Byla vyhodnocena tato frekvenční závislost, a také koeficient redukce hluku.

Z měřených materiálů z hlediska koeficientu redukce hluku má nejlepší akustické vlastnosti materiál PP 2:1, naopak nejhorších výsledků dosáhl materiál PA 1:1. Je nutno říci, že ve frekvenčním rozhraní pro výpočet NRC tedy od 100-2000 Hz vykazovaly všechny materiály kromě PA 1:1 kolísavý charakter frekvenční závislosti. Z celkového průběhu frekvenční závislosti lze považovat za nejlepší materiál PE 2:1, dále materiál PE 1:1 a PP 1:1. Materiály PP 2:1 a PA 1:1 vykazovaly v celém frekvenčním rozhraní horší akusticko-pohltivé vlastnosti než materiály předchozí. S ohledem na všechny naměřené výsledky lze říci, že kladný vliv na zlepšení akusticko-izolačních vlastností textilního recyklátu má materiál polyethylen.

Na základě experimentálních měření tahových vlastností bylo zjištěno, že u poměrného prodloužení měl nejlepší výsledky materiál PE 2:1, kdy hodnota průměrného prodloužení činila 41%. Nejhorší výsledky byly u materiálu PP 1:1, kdy hodnota průměrného prodloužení činila 5%. Z uvedených výsledků tedy vyplývá, že nejlepší tahové vlastnosti z hlediska pružnosti materiálu dosáhl materiál PE 2:1.

Z naměřených hodnot tvrdosti lze říci, že nejvyšší tvrdost vykazoval materiál PP 1:1 s průměrnou hodnotou 95,4 ShA. Nejnižší tvrdost vykazaly materiály PE 2:1 a PP 2:1, kdy průměrná tvrdost byla 91,8 ShA. Z uvedených výsledků tedy vyplývá, že nejlepší hodnoty tvrdosti mají materiály PE 2:1 a PP 2:1.

Ze všech naměřených a vyhodnocených hodnot lze konstatovat, že z hlediska akusticko-mechanických vlastností se nejlepších výsledků kombinace textilního recyklovaného materiálu s vybranými plasty vykazovala směs s polyethylenem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [5] PTÁČEK Luděk a kolektiv. *Nauka o materiálu I*. 1. vydání Brno: CERM 2001. ISBN 80 – 7204 – 193 – 2
- [2] HOFMANN Jaroslav, URBANOVÁ Marie. *Fyzika I*. 3. vydání Praha: VŠCHT Pra2011. ISBN 978 – 80 – 7080 – 777 – 4
- [3] KREJSA Martin, LAUSOVÁ Lenka, MICHALCOVÁ Vladimíra. *Pružnost a plasticita*. [online] Interaktivní studijní materiál. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/pruznost_obr.pdf
- [4] HLUCHÝ Miroslav a kolektiv. *Mechanická technologie*. 1. vydání Praha: SNTL 1966. 04 – 203 – 65
- [5] KRÍŽ Rudolf, VÁVRA Pavel. *Strojírenská příručka: svazek 3*. 1. vydání Praha: SCIENTIA 1993. ISBN 80 – 85827 – 23 – 9
- [6] SCHÄTZ Miroslav, VONDRÁČEK Petr. *Zkoušení polymerů*. 1. vydání Praha: SNTL 1979.
- [7] Schroeder M.R., *Springer Handbook of Acoustics*, Stürtz AG Würzburg (2007), ISBN 0-387-30446-5
- [8] DUCHÁČEK Vratislav. *POLYMERY výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 1. vydání Praha: VŠCHT Praha 2005. ISBN 80 – 7080 – 241 – 3
- [9] VAŇKOVÁ Marie. a kolektiv. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část I*. Učební texty vysokých škol. 1. vydání Brno: PC – DIR 1995. ISBN 80 – 214 – 0695
- [10] VOLEK František. *Základy konstruování a části strojů I*. 1. vydání Zlín: UTB ve Zlíně 2009. ISBN 978 – 80 – 7318 – 654 – 8
- [11] LEINVEBER Jan, ŘASA Jaroslav, VÁVRA Pavel. *Strojnické tabulky*. 3. vydání Praha: Scientia 2000. ISBN 80 – 7183 – 164 – 6
- [12] FAHY Frank, *Foundations of engineering acoustic*. Učební texty vysokých škol. 2. Vydání Amsterdam: Academic press 2003. ISBN 0122476654
- [13] KAŇKA Jan. *Stavební fyzika I*. 1. vydání Praha: ČVUT 2006. ISBN 80 – 01 – 02645 – 0
- [14] HLUCHÝ Miroslav a kolektiv. *Mechanická technologie*. 1. vydání Praha: SNTL 1966. 04 – 203 - 65

[15] MLEZIVA Josef, ŠŇUPÁREK Jaromír. *POLYMERY výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. vydání Praha: Sobotáles 2000. ISBN 80 – 85920 – 72 – 7

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

α úhel směrnice [°]

α koeficient akustické pohltivosti [-]

ε poměrné prodloužení [-]

ε_y poměrná deformace v podélném směru [-]

ε_x poměrná deformace v příčném směru [-]

μ koeficient příčné kontrakce [-]

σ napětí [MPa]

A tažnost [%]

d průměr [mm]

E modul pružnosti v tahu [MPa]

F zatěžující síla [N]

F_e zatěžující síla na mezi kluzu [N]

G modul pružnosti ve smyku [MPa]

G tíha kladiva [N]

h výška [mm]

h_1 výška, ze které se spouští kladivo [m]

h_2 výška, do které se vykyvne kladivo po přeražení zkušebního tělesa [m]

$hm\%$ hmotnostní procento [%]

Hz Hertz (jednotka frekvence)

I intenzita zvuku [$W.m^{-2}$]

I_a intenzita absorbovaného vlnění [$W.m^{-2}$]

I_0 intenzita vlnění působícího na překážku [$W.m^{-2}$]

K nárazová práce [J]

l_o původní délka [mm]

l_u délka zkušebního tělesa po protažení [mm]

m Poissonova konstanta [-]

MPa megapascal

NRC koeficient redukce hluku [-]

P výkon zvukového vlnění [W]

R_m mez pevnosti v tahu [MPa]

R_e mez kluzu v tahu [MPa]

S obsah plochy [m²]

SI označení tvaru zkušebního tělesa pro tahovou zkoušku

S_0 obsah plochy příčného průřezu [mm²]

S_u obsah nejmenší plochy příčného průřezu po zkoušce [mm²]

tg tangens

W_r energie spotřebovaná k přeražení zkušebního tělesa [J]

x osa x pracovního diagramu

Z kontrakce [%]

°C stupeň Celsia

HB tvrdost podle Brinella

HV tvrdost podle Vickerse

HR tvrdost podle Rockwella

HSh tvrdost podle Shoreho

$IRHD$ International Rubber Hardness Degree

PE polyethylen

$PE-HD$ polyethylen vysokohustotní

$PE-LD$ polyethylen nízkohustotní

PE-LLD polyetylen lineární nízkohustotní

PE-UHMW polyetylen o velmi vysoké molekulové hmotnosti

PP polypropylen

PVC polyvinylchlorid

PA polyamid

NR přírodní kaučuk

SBR butadienstyrenový kaučuk

ShA Shore A – jednotka tvrdosti

BR butadienový kaučuk

IR izoprenový kaučuk

IIR butylkaučuk

CIIR chlorbutylkaučuk

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušku tahem, tlakem a ohybem.....	18
Obr. 2. Deformační křivka termoplastu.....	18
Obr. 3. Charpyho kladivo.....	20
Obr. 4. Rozdělení zkoušek tvrdosti a tvary indentorů.....	21
Obr. 5. Zkouška tvrdosti dle Shoreho.....	22
Obr. 6. Konstrukce pneumatiky.....	25
Obr. 7. Rozdělení termoplastů.....	27
Obr. 8. Blackwool.....	30
Obr. 9. Polyethylen + textilní recyklát 1:1.....	31
Obr. 10. Polyethylen + textilní recyklát 2:1.....	31
Obr. 11. Polypropylen + textilní recyklát 1:1.....	32
Obr. 12. Polypropylen + textilní recyklát 2:1.....	32
Obr. 13. Polyamid + textilní recyklát 1:1.....	33
Obr. 14. Polyvinylchlorid + textilní recyklát 1:1.....	33
Obr. 15. Měřicí zařízení B&K typu 4206.....	35
Obr. 16. Tříkanálový PULSE multianalýzátor Brüel & Kjaer typ 3560-B-030.....	36

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Rozdělení zkoušek materiálů.....	15
Tab. 2. Tloušťka vzorků pro trubici o průměru 100 mm a 30mm.....	34
Tab. 3. Maximální hodnoty koeficientu zvukové pohltivosti a koeficientu redukce hluku.....	37
Tab. 4. Průměrné hodnoty zkoušky tahových vlastností.....	39
Tab. 5. Průměrné hodnoty modulů pružnosti v tahu.....	39
Tab. 6. Průměrná tvrdost vzorků.....	41

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Grafická závislost koeficientu akustické pohltivosti na frekvenci všech měřených materiálů pro koeficient akustické pohltivosti 0-1

Příloha P II: grafická závislost koeficientu akustické pohltivosti na frekvenci všech měřených materiálů pro koeficient akustické pohltivosti 0-0,35

Příloha P III: Grafická závislost koeficientu akustické pohltivosti na frekvenci všech měřených materiálů pro frekvenční rozsah 100-1300 Hz

Příloha P IV: Grafická závislost koeficientu akustické pohltivosti na frekvenci původního textilního recyklovaného materiálu

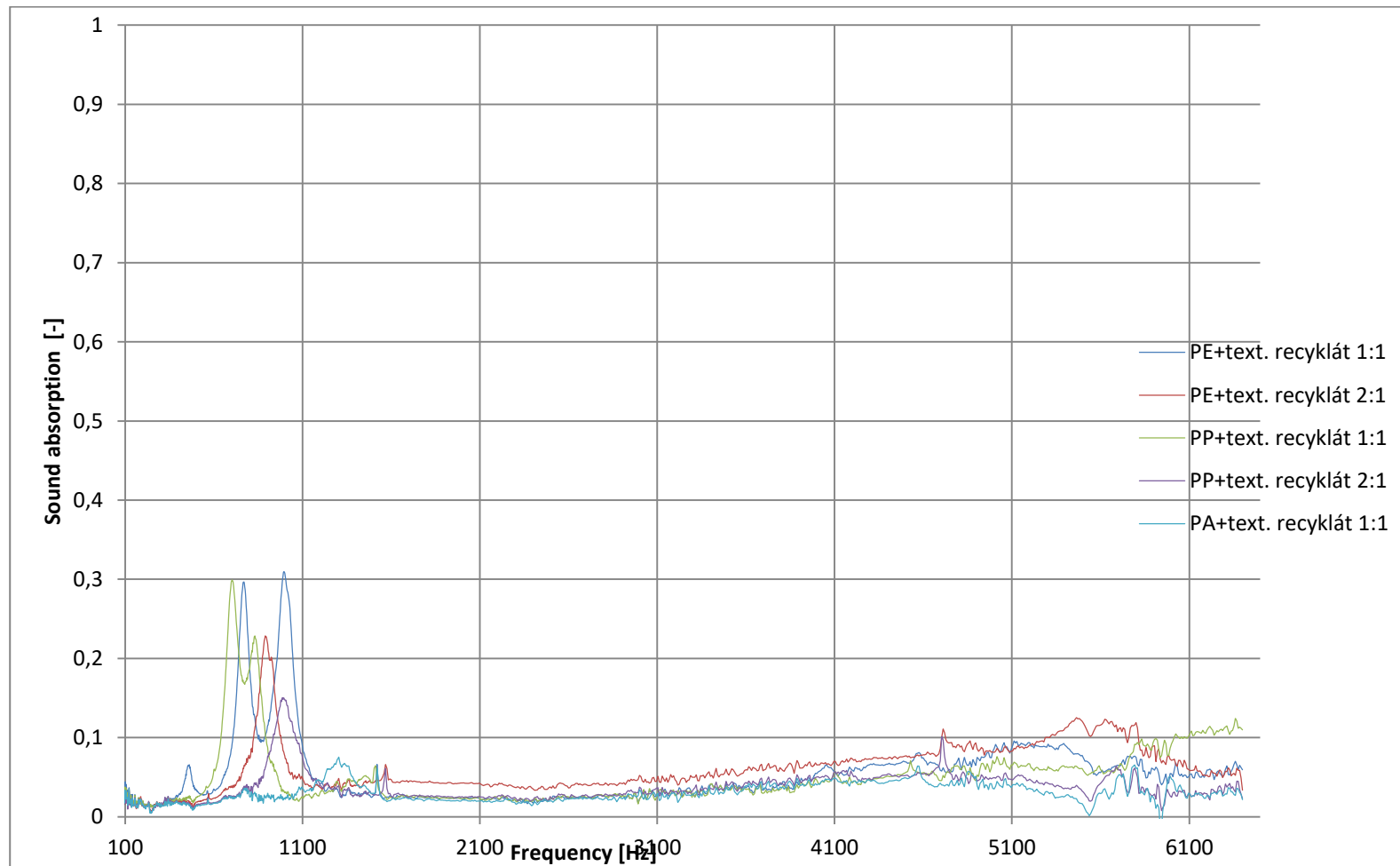
Příloha P V: Grafická závislost napětí a prodloužení pro materiál PE 1:1

Příloha P VI: Grafická závislost napětí a prodloužení pro materiál PE 2:1

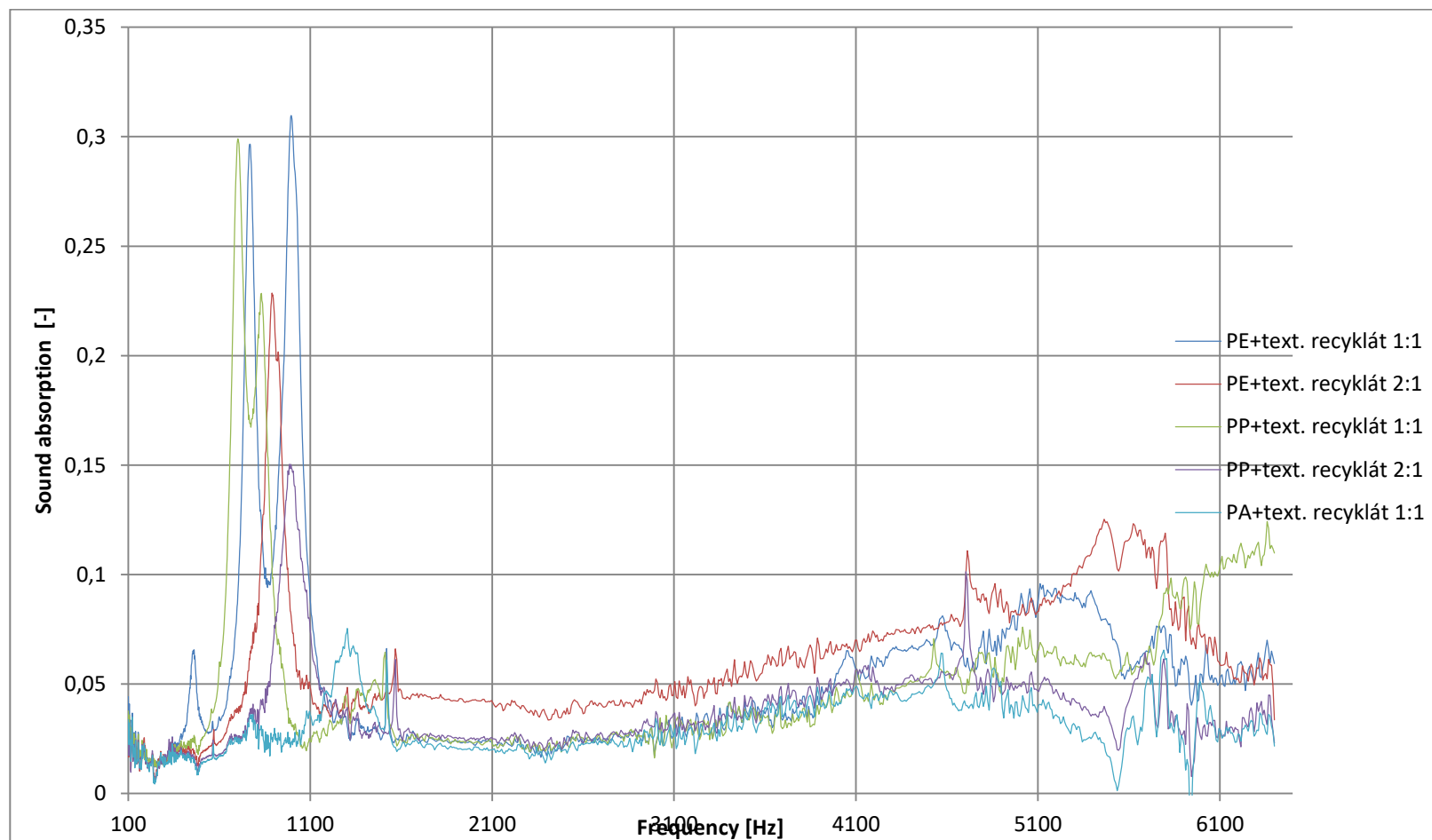
Příloha P VII: Grafická závislost napětí a prodloužení pro materiál PP 1:1

Příloha P VIII: Grafická závislost napětí a prodloužení pro materiál PP 2:1

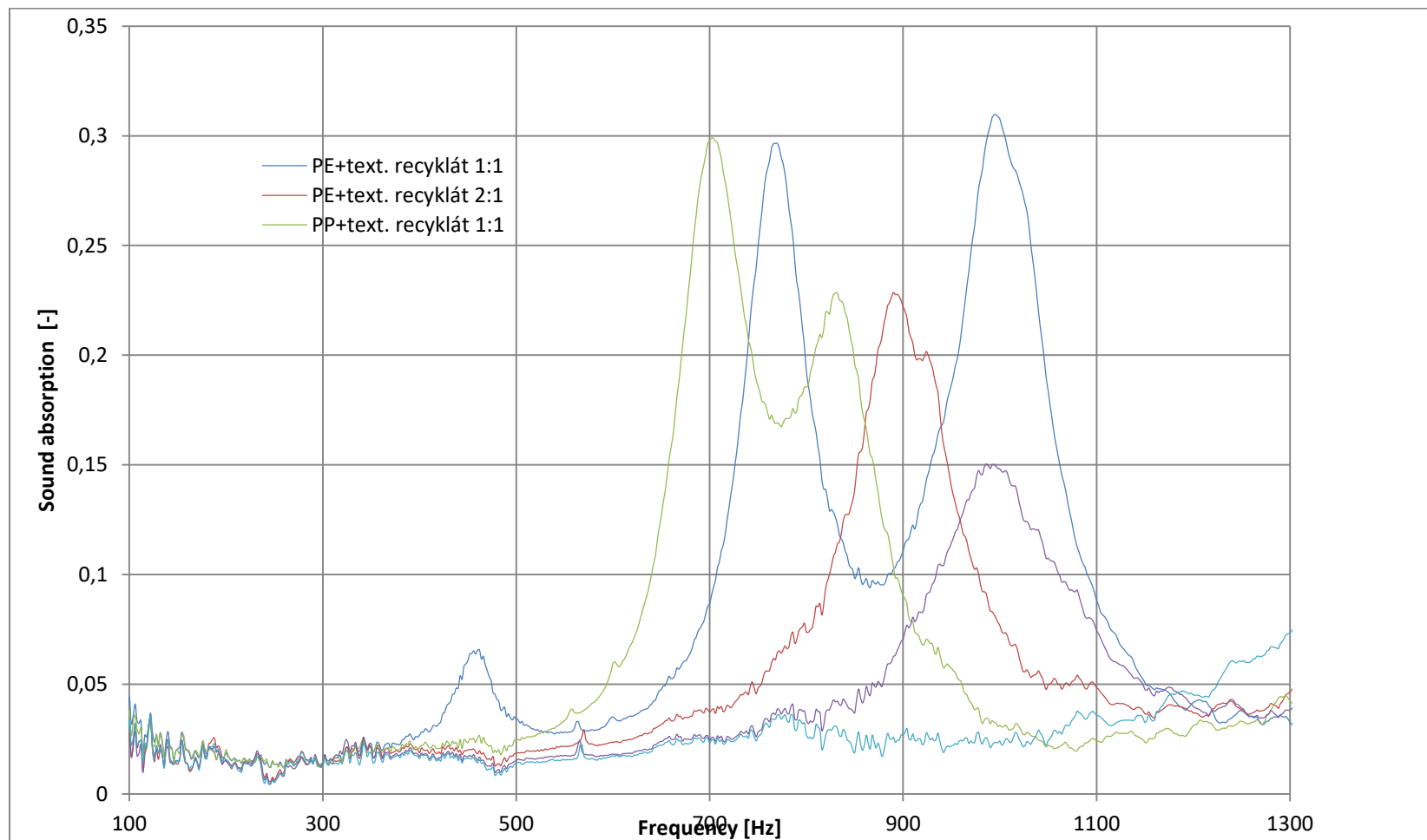
PŘÍLOHA P I: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCI VŠECH MĚŘENÝCH MATERIÁLŮ PRO KOEFICIENT AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI 0-1



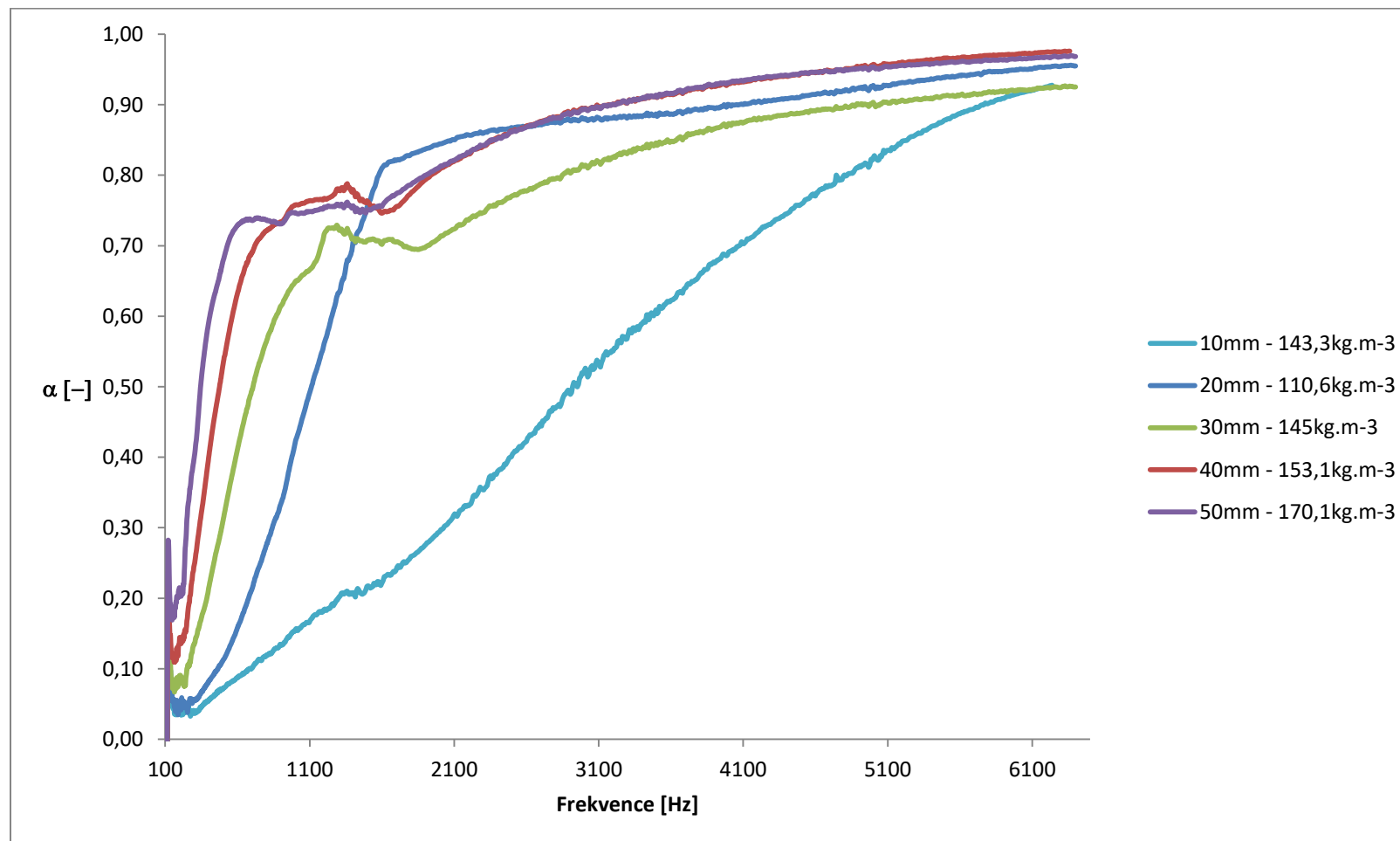
PŘÍLOHA P II: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCI VŠECH MĚŘENÝCH MATERIÁLŮ PRO KOEFICIENT AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI 0-0,35



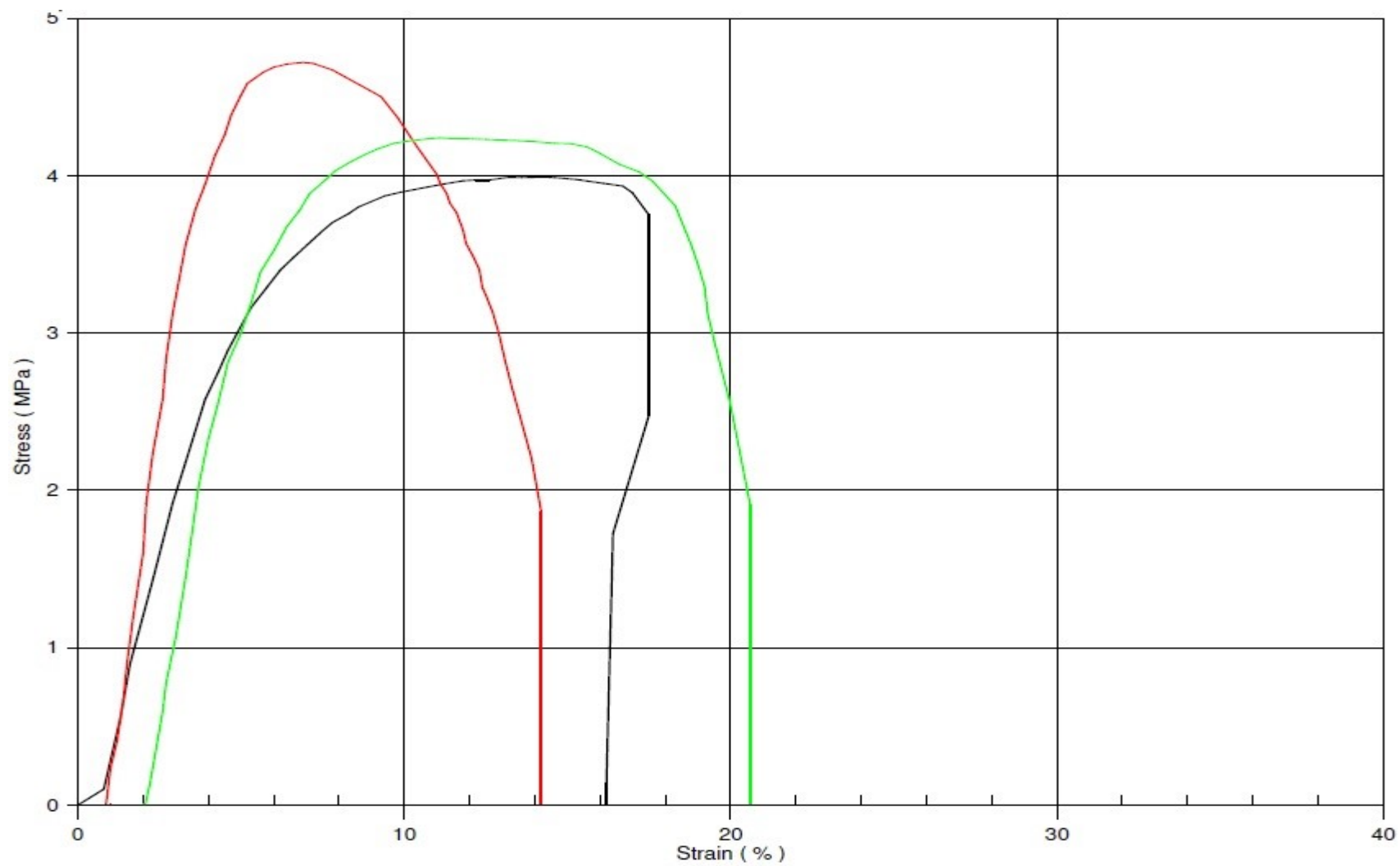
PŘÍLOHA P III: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCI VŠECH MĚŘENÝCH MATERIÁLŮ PRO FREKVENČNÍ ROZSAH 100-1300 HZ



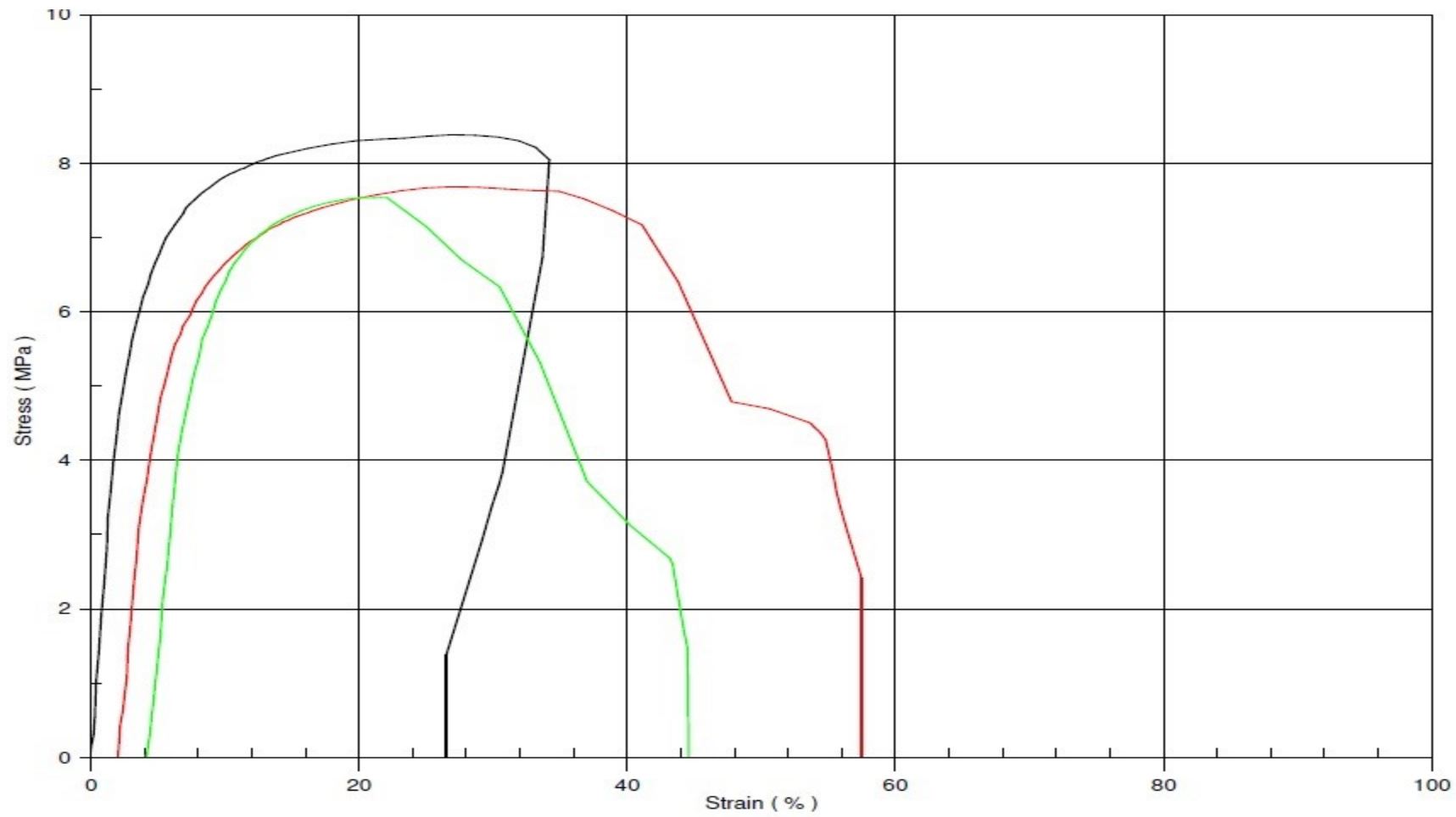
PŘÍLOHA P IV: GRAFICKÁ ZÁVISLOST KOEFICIENTU AKUSTICKÉ POHLTIVOSTI NA FREKVENCI PŮVODNÍHO TEXTILNÍHO RECYKLOVANÉHO MATERIÁLU



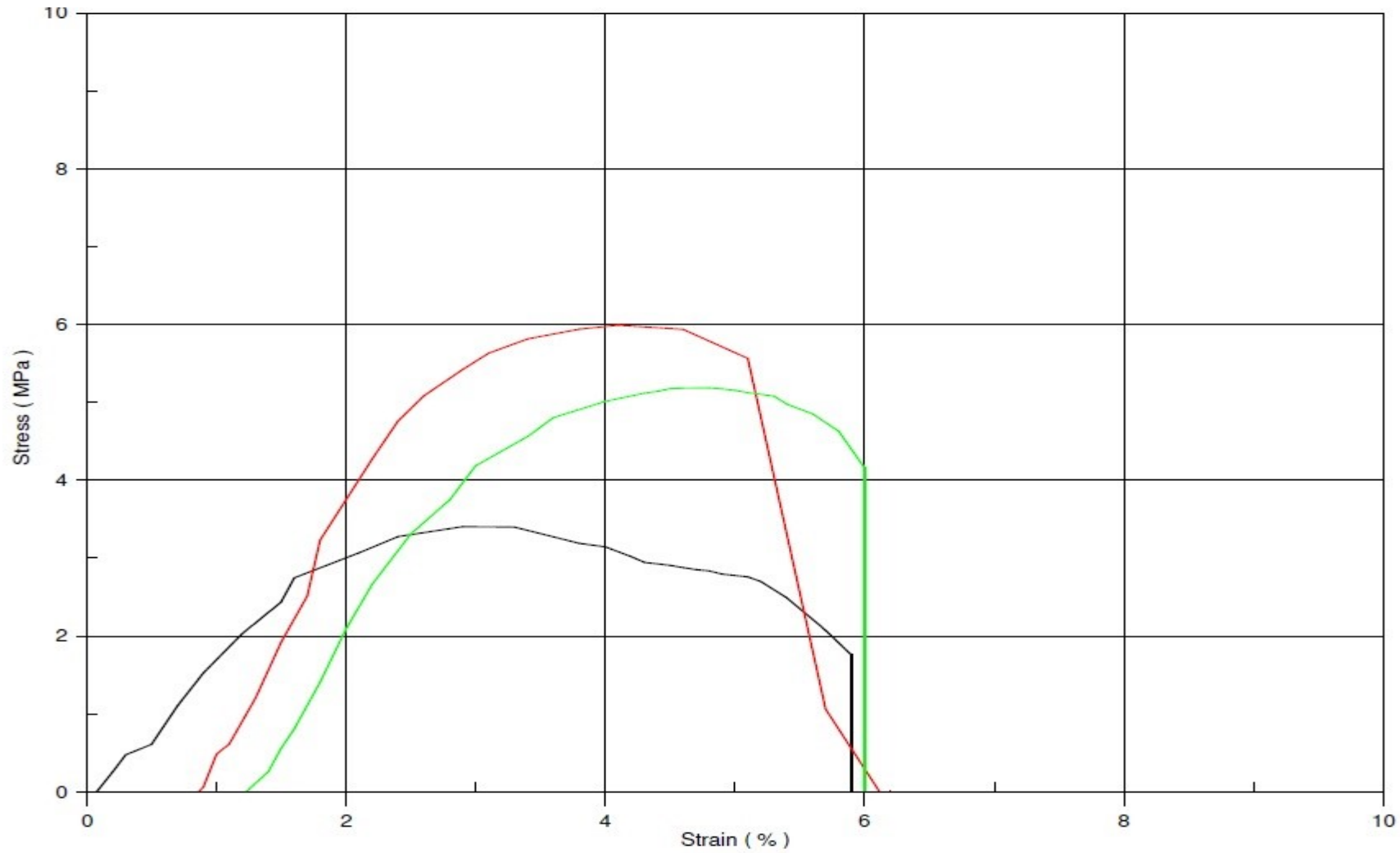
PŘÍLOHA P V: GRAFICKÁ ZÁVISLOST NAPĚTÍ A PRODLOUŽENÍ PRO MATERIÁL PE 1:1



PŘÍLOHA P VI: GRAFICKÁ ZÁVISLOST NAPĚTÍ A PRODLOUŽENÍ PRO MATERIÁL PE 2:1



PŘÍLOHA P VII: GRAFICKÁ ZÁVISLOST NAPĚTÍ A PRODLOUŽENÍ PRO MATERIÁL PP 1:1



PŘÍLOHA P VIII: GRAFICKÁ ZÁVISLOST NAPĚTÍ A PRODLOUŽENÍ PRO MATERIÁL PP 2:1

