

FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**VYUŽITÍ PETP MATERIÁLU PRO VÝROBU
VELKOOBJEMOVÝCH NÁPOJOVÝCH OBALŮ**

**PETP MATERIAL – APPLICATION
FOR THE LARGE CONTAINERS**

Autor: Ivana Šetmaňuková

Vedoucí práce: Ing. Zdeňka Jeníková, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šetmaňuková** Jméno: **Ivana** Osobní číslo: **459629**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav materiálového inženýrství**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Využití PETP materiálu pro výrobu velkoobjemových nápojových obalů

Název bakalářské práce anglicky:

PETP material - application for the large containers

Pokyny pro vypracování:

Cíl: V teoretické části zmapovat využití PETP jako materiálu pro výrobu nápojových obalů. V praktické části posoudit vliv změny technologických podmínek na vybrané vlastnosti vyráběného obalu.
Postup: Definovat pojem obal, prostudovat nároky na potravinářské obaly, včetně potřebných vyhlášek. Zjistit informace o PETP. Popsat využití materiálu pro velkoobjemové obaly. Seznámit se s procesem výroby včetně obecného nastavení parametrů pro požadovanou kvalitu. V praktické části navrhnout tvar zkušebních těles, provést vybrané zkoušky a pokusit se sestavit etalony vzhledem k nastavení stroje pro výrobu velkoobjemových obalů.

Seznam doporučené literatury:

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Druhé. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [2] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. Praha: Nakladatelství BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3
- [3] MLEZIVA, Josef. Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití. Praha: SOBOTÁLES, 1993. ISBN 80-901570-4-1.
- [4] Firemní literatura

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeňka Jeníková, Ph.D., ústav materiálového inženýrství FS

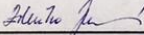
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

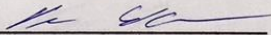
Ing. Karel Blahouš, Ph.D., Petainer Czech Holdings s.r.o.

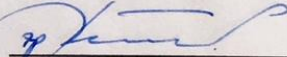
Datum zadání bakalářské práce: **03.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Zdeňka Jehíková, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

26.4.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studentky

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a jiných pramenů, které uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne.....

.....

Ivana Šetmaňuková

Ráda bych poděkovala vedoucí práce Ing. Zdeňce Jeníkové, Ph.D. za její ochotu, rady, čas a vstřícnost. Další dík patří firmě Petainer Czech Holding s.r.o. za to, že mi umožnila spolupracovat a nahlédnout do výroby. Z této společnosti bych chtěla vyzdvihnout hlavně pana Miroslava Effenbergera, jenž mě výrobou provedl, zasvětil mě do problematiky a hlavně za to, že si na moje dotazy udělal čas i během vlastního volna a nikdy mě neodmítnul. Poděkovat touto cestou bych chtěla i panu Ing. Karlu Blahoušovi Ph.D., který mi s celou realizací pomáhal a taktéž mile a včasně reagoval na jakékoli otázky. V neposlední řadě pak celé rodině, která mi byla oporou.

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje problematice využití PETP materiálu pro výrobu velkoobjemových nápojových obalů uchovávajících převážně pivo. Obsahuje shrnutí o konkrétním polymerním materiálu a následně detailně popisuje technologický postup, jenž závisí na mnoha faktorech ovlivňujících kvalitu výrobku. V laboratorní části zkoumá metodou tahové zkoušky, jak jsou závislé parametry technologie vyfukování na finálních vlastnostech produktu. Při srovnání tří možných nastavení procesu výroby se v rámci jednoosé napjatosti jeví jeden z nich jako nejvhodnější, což následně popírají další testy prováděné firmou. Tyto závěry objasňují nestálé chování polymerních materiálů a jejich citlivost na malé změny. Následně prokazují, že při této technologii největší roli hraje flexibilita nastavování parametrů a zkušenosti technologů.

Klíčová slova

velkoobjemový nápojový obal/ keg, PETP, vstřikování, vyfukování, tahová zkouška

Abstract

This bachelor thesis deals with the use of PETP materials for the production of large-volume beverage containers, used primarily to contain beer. It summarizes the particular polymeric material, and further details the technological process, which depends on many factors affecting the quality of the final product. The practical part of the work examines with the use of the tensile test method how adjustable parameters in the blow moulding process create differences in the properties of the resulting product. When comparing three possible process settings, one appears to be the most appropriate in terms of unilateral strain, which is in turn denied by further testing performed by the company. These conclusions illustrate the unstable behaviour of polymer materials and their sensitivity to small changes, and subsequently show that the most important factors of the technology are the flexibility of adjusting the parameters and the experience of technologists.

Key words

The large container/ keg, PETP, injection moulding, blow moulding, tensile test

Seznam veličin a použitých zkratk

Označení	Veličina	Jednotky
°C	stupeň Celsia	-
A	počáteční průřez vzorku	mm ²
b	šířka vzorku	mm
bar	1 bar = 1 kPa	-
č.	číslo	-
ČR	Česká republika	-
ČSN	česká státní norma	-
ČVUT	České vysoké učení technické	-
dat.	datum	-
dl/g	decilitr na gram	-
Dr.	doktor	-
EN	evropská norma	-
F _b	síla při přetržení	kN
F _m	síla na mezi pevnosti	kN
F _y	síla na mezi kluzu	kN
h	tloušťka vzorku	mm
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci	-
IV	vnitřní viskozita	dl/g
kph	keg per hour	-
L ₀	počáteční délka	mm
L	vzdálenost mezi čelistmi	mm
mm	milimetr	-
mm/min	milimetrů za minutu	-
mm ²	milimetr čtvereční	-
MPa	megapascal	-
No	číslo	-
O.K.	prošlo testem	-
PA6	polyamid 6	-
PE	polyethylen	-
PP	polypropylen	-
ppm	parts per million	-
PVC	polyvinylchlorid	-
Sb.	sbírky	-
tzv.	tak zvaný	-
UV	ultra violet (ultrafialové záření)	-
W+B	Walter + Bajag	-
ΔL ₀	rozdíl počátečních délek	mm
ΔL	rozdíl vzdáleností mezi čelistmi	mm
ε _t	jmenovité poměrné prodloužení	-
σ _b	napětí při přetržení	MPa
σ _m	napětí na mezi pevnosti	MPa
σ _y	napětí na mezi kluzu	MPa

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Teoretická část.....	11
2.1	Definice obalu	11
2.2	Základní požadavky na potravinářské obaly	11
2.3	Zdravotní požadavky na potravinářské obaly	11
2.4	Obecné požadavky na nápojový obal	12
3	Materiál.....	14
3.1	Historie plastů	14
3.2	Polymery	15
3.3	Plasty.....	16
3.3.1	Reaktoplasty	16
3.3.2	Termoplasty	17
3.4	Elastomery	17
3.5	Polyethylenteraftalát (PETP).....	18
3.6	Recyklovatelnost PETP materiálu.....	19
4	Technologický postup výroby	20
4.1	Výroba velkoobjemových nápojových obalů v České republice.....	20
4.2	Výrobní technologie	21
4.2.1	Vstupní materiál.....	21
4.2.2	Vstřikování	23

4.2.3	Vyfukování	28
4.3	Požadavky na kvalitu vyráběných obalů	32
4.3.1	Rozbor vlivů na jakost produktu	34
4.3.2	Obecné nastavení parametrů technologického procesu	36
5	Experimentální část	37
5.1	Teoretický úvod.....	37
5.1.1	Mechanické vlastnosti polymerů.....	37
5.2	Tahová zkouška	38
5.2.1	Rychlost a teplota	39
5.2.2	Zkušební tělesa	40
6	Postup laboratorního měření	41
6.1	Popis a identifikace vzorků	41
6.2	Způsob odběru vzorků	41
6.3	Zadání.....	43
6.4	Použité metody a přístroje zkoušení	43
6.5	Podmínky zkoušky.....	43
7	Výsledky tahové zkoušky	44
7.1	Vzorek 1/5.....	44
7.2	Vzorek 1/6.....	46
7.3	Vzorek 1/10.....	48
7.4	Vzorek 2/7.....	50

7.5	Vzorek 2/14	52
7.6	Vzorek 2/17	54
7.7	Vzorek 3/3	56
7.8	Vzorek 3/6	58
7.9	Vzorek 3/13	60
8	Vyhodnocení parametrů technologického postupu dle výsledků z tahové zkoušky	62
9	Výsledný žebříček – etalon pro nastavení podmínek během vyfukování	65
9.1	Výsledný žebříček nastavení	65
10	Závěr	66
11	Použitá literatura	68

1 Úvod

Dnešní doba řeší zpracovávání těžkoobnovitelných materiálů a zároveň se snaží pomoci při přetváření recyklovatelných materiálů v souladu s šetřením životního prostředí. Z těchto důvodů se hledají alternativy i pro velkoobjemové nápojové obaly nejen pro uchování vody, ale i piva. Začíná se přiklánět k méně náročným a levnějším materiálům jako je zcela recyklovatelný polyethyltereftalát. Zároveň je na snaze zachovat chuť, barvu a konzistenci nápoje.

Výrobou těchto nápojových obalů se zabývá firma Petainer Czech Holding, s.r.o. sídlící na našem území v Karlovarském kraji. Obaly jsou vyváženy převážně do Německa a Skandinávie, ale v České republice se zatím nepoužívají. Využití PETP pro uchování piva je velmi mladou alternativou a neustále se vyvíjí. Nebude však trvat dlouho než nerez nahradí polymerní materiál, jenž je popisován v bakalářské práci.

V rámci bakalářské práce autorka absolvovala prohlídku celé výroby od počátečního materiálu v podobě granulátu až po vyfouknutý hotový keg připravený pro převzetí od zákazníků. Zároveň odebrala vzorky pro další zkoumání a vyhodnocení využití PETP materiálu, aby posoudila vlivy změn nastavení technologických parametrů při technologii vyfukování vyráběného produktu. Při prohlídce závodu pořídila fotografie uvedené v nadcházejících kapitolách a pod dohledem odborníků z firmy popsala náročnou technologii.

Cílem práce je zmapování a popis využití PETP materiálu pro výrobu velkoobjemových nápojových obalů. A posouzení vlivů změn nastavitelných technologických podmínek na vybrané vlastnosti výsledného obalu.

2 Teoretická část

Práce se zabývá nápojovými obaly, které budou nejprve definovány a následně budou popsány požadavky kladené na obaly, jež přijdou do kontaktu s potravinami.

2.1 Definice obalu

Termín „*obal*“ je definován 2§ zákona o obalech 477/2001 Sb., který prošel poslední změnou 1. května 2014.

a) obalem je výrobek zhotovený z materiálu jakékoli povahy a je určený k pojmání, ochraně, manipulaci, dodávce, popřípadě prezentaci výrobku nebo výrobků určených spotřebiteli nebo jinému konečnému uživateli; [1]

2.2 Základní požadavky na potravinářské obaly

Základními požadavky na obaly potravin formuluje zákon č. 110/1997 Sb., ze dne 24. dubna 1997 o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů.

Základní povinnosti pro výrobce potravinových obalů jsou sepsány v §5 – balení potravin.

Pod bodem a) dokládá zákon ustanovení pro ty, kteří uvádí potraviny do oběhu a zajišťují dostačující technickou konstrukci obalu a hlavně uzávěr, aby nemohlo dojít k znehodnocení potraviny. Nepočítá se s úmyslným otevřením nebo poškozením obalu. Zákon slovně nestanovuje fakt, že při otevření uzávěru by mělo být na první pohled patřičné, že je potravina vystavena znehodnocení nebo konzumaci. Tím se výrobce zbavuje veškerých odpovědností. [2]

2.3 Zdravotní požadavky na potravinářské obaly

Působením vnějších vlivů nebo jakostí obalu na potraviny vždy dochází k vzájemné interakci. Při výrobě se tedy musí klást velký důraz na vlastnosti materiálu a určení funkce obalu, aby nedocházelo k uvolňování nežádoucích látek do potraviny. V zemích Evropské Unie musí být dodrženy normy, jež jasně vymezují kritéria materiálu. Musí se zabránit kontaminaci a tím i znehodnocení výrobku uloženého v obalu.

V České republice je v současnosti základním předpisem zákon č. 258/2000 Sb., ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů. Další konkrétní vyhlášky související s obalovými materiály jsou uvedeny v následujících bodech:

- vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR č. 37/2001 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody
- vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR č. 38/2001 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmy, ve znění posledních předpisů
- nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004 o materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami
- směrnice Komise 2002/72/ES o materiálech a předmětech z plastů určených pro styk s potravinami
- směrnice Komise 2007/19/ES ze dne 30. března 2007, kterou se mění směrnice 2002/72/ES o materiálech a předmětech z plastů určených pro styk s potravinami a směrnice Rady 85/572/EHS, kterou se stanoví seznam simulantů pro použití při zkoušení migrace složek materiálů a předmětů z plastů určených pro styk s potravinami [3]

2.4 Obecné požadavky na nápojový obal

Požadavky na obal jsou kladeny z různých směrů a to konkrétně spotřebitele, výrobce, ochodu, ale i transportu.

Konstrukce daného obalu musí tedy oplývat moderním a originálním designem, aby upoutal zájem zákazníka při cílovém nákupu. Zákazník dbá nejen na vzhled, ale v našem případě i na praktičnost při manipulaci a skladování. Nesmíme opomenout, že významnou roli hraje i barva obalu, která upoutá, nejen oko, ale má za důsledek uchování chuti nápoje/ potraviny.

Design obalu na nápoje, tzv. kegu¹ se musí doplňovat i s technologickou stránkou věci a musí být tedy výroby schopný. Například tvar finálního výrobku by neměl být příliš komplikovaný, aby láhev měla podobné mechanické vlastnosti v různých částech svého

těla. Důraz je kladen na pružnost materiálu, odolnost proti rázu, otěruvzdornost nebo tlakování.

¹ „Keg - vratný sud, který je speciálně vyvinutý pro průmyslové plnění a sterilní skladování nápojů“ [4]

3 Materiál

V práci byla věnována pozornost polymerním materiálům k výrobě nápojových kečů. V následujících kapitolách je rozvedena historie a vlastnosti materiálu, ze kterého se obaly vyrábí.

3.1 Historie plastů

V roce 1835 byl poprvé připraven syntetický materiál panem H.V. Regnaultem, který ve stejném roce zavedl pojem polymer, jehož makromolekuly ukazuje obrázek 1.

„Polymer – látka s velkými molekulami, které obsahují většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. V určitém stádiu zpracování se nachází v kapalném stavu, který umožňuje udělit tvar budoucímu výrobku, jenž slouží v prakticky tuhém stavu.“ [5]

První zmínky z obchodního využití polymerních materiálů pochází z roku 1843, kdy malajský lékař Dr. William Montgomerie zaznamenal, že tamní domorodci využívají pryskyřici vytékající ze stromů jako obal pro rukojeti nožů a bičů. Pár vzorků odebral a odeslal do Anglie k vědeckému rozboru.

Netrvalo dlouho a fyzik Michael Faraday při svých pokusech objevil, že tato hmota slouží jako izolant a navíc chrání vodič i v kapalném prostředí. Díky němu byla v 60. letech 19. století Evropa propojena s Amerikou podmořským transatlantickým kabelem. [5]

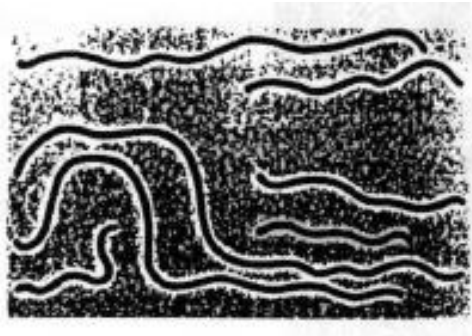
Největším průkopníkem byl Američan John W. Hyatt, který přišel na nový druh polymeru na popud inzerátu. Inzerát nabízel odměnu tomu, kdo vymyslí nový materiál, který nahradí gutaperču a slonovinu pro výrobu kulečnickových koulí. Hyatt tuto soutěž vyhrál změkčením pyroxidu kafrem, látku nově vzniklou nazval Celluloid, nahradil tak celkově výbušnější nitrocelulóзовé plasty. Poté se spojil se svým bratrem a nechali si patentovat na 75 druhů postupů výroby nových plastů. V roce 1873 založili první továrnu na nové plasty v USA pod názvem: „Celluloid Manufacturing Company“ se 150 zaměstnanci. [5]

Dalším přínosem pro tvorbu nových plastů byl objev pana W. Kricheho z Bavorska, který izoloval z mléka bílkovinu kasein. Zjistil, že hnětením kaseinu vzniká ve vodě nerozpustná hmota.

V průběhu let a nových objevů začal vznikat v Americe syntetický reaktoplast z fenolformaldehydové pryskyřice s obchodním označením bakelit.

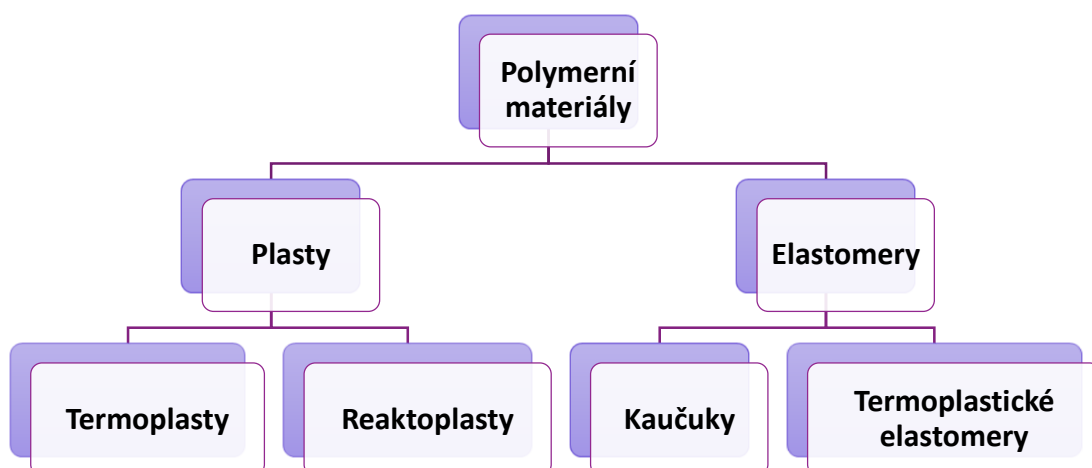
Od počátku 20. století se výroba polymerních materiálů tak rozrostla, že si moderní život bez plastů nedovedeme ani představit. Díky rozvoji tohoto typu materiálu se naše doba označuje dobou polymerní nebo plastovou.[5]

3.2 Polymery



Obrázek 1 Makromolekuly polymeru [6]

Pojem Polymer, jehož makromolekuly jsou vidět na obrázku 1, byl zaveden již v kapitole Historie plastů. Polymerní materiály lze rozdělit do několika podskupin podle chemické přípravy, podle chování v závislosti na teplotě nebo podle složení. Nejčastější rozdělení polymerních materiálů je dělení na:

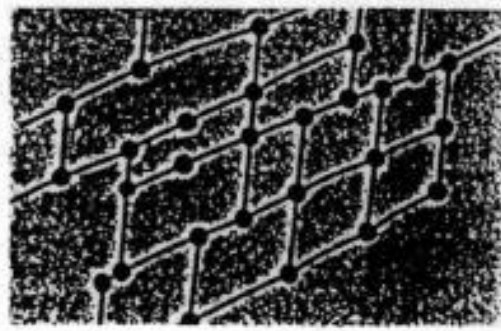


[5]

3.3 Plasty

Vzniknou tak, že se k polymeru přidají aditiva, aby nově vzniklý materiál měl vhodné vlastnosti podle jeho použití. Plasty rozdělujeme na dvě další skupiny – termoplasty a reaktoplasty, které se liší v chování při teplotním zatížení.

3.3.1 Reaktoplasty



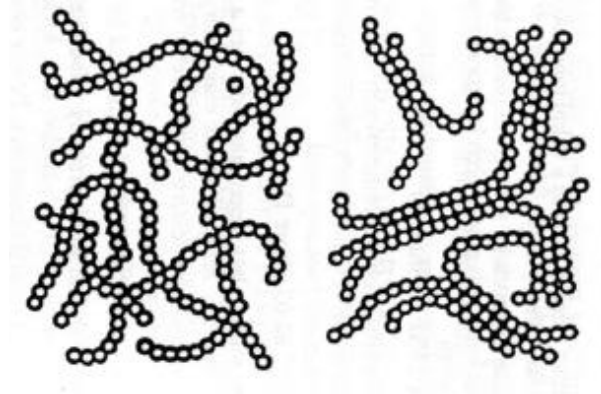
Obrázek 2 Makromolekuly reaktoplastů [6]

Reaktoplasty jsou plasty s makromolekulami, jež jsou vidět na obrázku 2, které zahřátím nebo přidáním vytvrzovacího prostředku přecházejí nevratnou chemickou reakcí z lineárního do síťového stavu. Při přechodu ztrácejí termoplastický charakter.

Jedná se například o fenoplasty, aminoplasty, polyesterové pryskyřice... využívají se při výrobě lisovacích hmot, vrstvených materiálů, lepidel a nátěrových hmot. [5]

3.3.2 Termoplasty

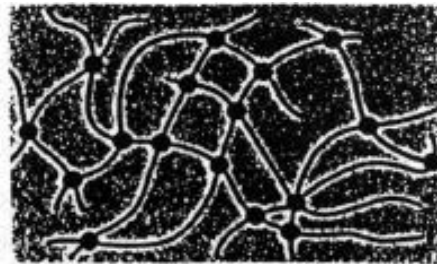
Termoplasty jsou polymerní materiály, které lze z tuhého stavu uvést do stavu plastického při zvýšení teploty, tento děj je vratný. Polymerní řetězce termoplastů jsou poskládány v různých variacích viz obrázek 3. [5]



Obrázek 3 Termoplasty v různých variacích polymerních řetězců [6]

Mnou sledovaný materiál polyethyltereftalát neboli PETP patří do této skupiny termoplastů. Podrobnějším popisem termoplastů budu pokračovat v následujících kapitolách.

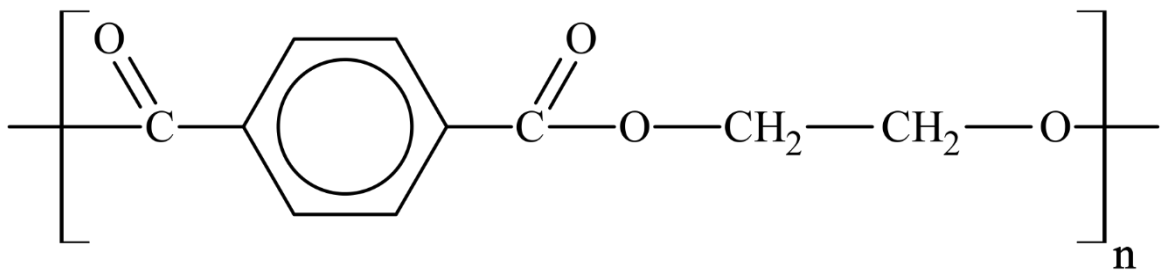
3.4 Elastomery



Obrázek 4 Makromolekuly elastomeru [6]

Elastomer a jeho molekuly zobrazující obrázek 4 je, jak název napovídá, elastický materiál, jenž se deformuje převážně vratně. Tyto deformace vznikají za běžných podmínek působením malých sil bez porušení materiálu. Typickými zástupci jsou pryže a kaučuky. [5]

3.5 Polyethyltereftalát (PETP)



Obrázek 5 Strukturální vzorec PETP[8]

Jedná se o nejvýznamnější termoplastický polyester vznikající jako polykondenzát kyseliny tereftalátové a ethylenglykolu, jeho strukturální vzorec je vidět na obrázku 5. Výroba probíhá ve dvou fázích, první fáze obnáší transesterifikaci dimethyltereftalátu ethylglykolem za uvolnění methylalkoholu.

Při této fázi je velmi důležitá teplota, která se pohybuje v rozmezí 190°C a 195°C, protože ethylenglykol má bod varu na 197 °C. Když by naopak teplota klesla pod uvedené rozmezí například kolem 180°C, reakce by probíhala velmi pomalu.

Druhá fáze, při níž vzniká polymer destilováním přebytečného ethylenglykolu, je konečná.

V závislosti na procesu výroby lze připravit zcela amorfní materiál, tedy průhledný anebo naopak materiál s mléčným tónováním. V tomto případě se jedná o semikrystalický polymer.

V dnešní době můžeme nejvíc pozorovat tento materiál ve formě lahví vyráběných vstřikováním a následným vyfukováním, které slouží jako obal pro kapalné zboží nebo nápoje, kde se zkratka PET vžila natolik, že je běžně slangově používána. S tímto materiálem se setkáme i v textilním průmyslu, kdy jsou využívána polymerní vlákna, která se oproti bavlně tolik nemačkají a hůře pohlcují vlhkost. Na visačkách lze najít označení PES, které není správné, ale vzniklo ze slova PolyESTer, který je nadřazeným materiálem pro polyethyltereftalát. [5]

Jednou z důležitých vlastností PETPu, je jeho viskozita závisící na výrobě. Ta souvisí na délce polymerních řetězců a určuje i pevnost materiálu. Pro nápojové obaly se pohybuje

viskozita od 0,76 do 0,84 dl/g, což je jeden ze sledovaných limitujících parametrů i při recyklaci. [3]

Spotřeba PETP materiálu na výrobu nápojových obalů je velmi vysoká. Po splnění jejich účelu se však musejí obaly někam umístit. Nejlépe recyklovat a znovu použít.

3.6 Recyklovatelnost PETP materiálu



Obrázek 6 Znak pro recyklovatelný obal [8]

Koupit si nápoj ve skleněném obalu je spíše zvláštností nebo výhradou restaurací. Větší množství na trhu zaujímá plastový obal jak v jednorázové podobě, tak vratný. Recyklovatelnost obalů je označena na etiketě znakem obsahující obrázek 6. Tento materiál má nespočet výhod jako jsou nerozbitnost, lehkost, ale i širší škálu možností tvaru a designu.

Jednorázová láhev se po vypití stává odpadem, který skončí v lepším případě v kontejnerech na tříděný odpad nebo v horším v komunálním odpadu.

U jednorázové láhve i po vytřídění do žlutého kontejneru určeného na plastové obaly nelze přesně použít pojem recyklovat, neboť v těchto sběrných nádobách lze nalézt nejen obaly od nápojů, ale i kosmetiky, olejů a mléčných výrobků. Materiál je nadále zpracován pro jiné využití než pro nápojové obaly, protože se logicky pohromadě s ostatními znehodnotí. V takovém to případě používáme pojem „downcycling“.

Velkoobjemové obaly určené pro plnění pivem se tímto způsobem netřídí, recyklují je odběratelé separátně. Jedná-li se o kegy určené pro plnění pitnou vodou, tedy nejednorázové nápojové obaly lze se bavit o čisté recyklaci, kdy uživatel po spotřebování obsahu obal vrátí zpět a je dále využit pro další plnění. Tento cyklus se zajišťuje vratnou zálohou za obal.

Obal při přípravě k opětovnému plnění prochází důkladným vyplachováním, kontrolou pod několika čidly a senzory. Pokud láhev projde první detekcí a je schopna dalšího plnění, přečistí ji 2% roztok hydroxidu sodného ve vodě. Roztok má za úkol vnitřek obalu zbavit nečistot, povrch odmastit a očistit od lepidla nebo etikety. Dvoustupňový proces zajišťuje potřebnou hygienickou nezávadnost pro další zákazníky. [3]

4 Technologický postup výroby

Ve své práci jsem se zaměřila na výrobky firmy Petainer Czech Holdings, s.r.o., jejíž logo ukazuje obrázek 7, jakožto jediného výrobce vratných a opakovaně plnitelných plastových láhví v České republice. Díky tomu také využívá logo Zero waste z obrázku 9. Firma je složena ze dvou provozů umístěných v Evropě. První závod se nachází ve městě Lidköping ve Švédsku a druhý nalezneme v malém městečku u německých hranic jménem Aš na území České republiky. Hlavní produkcí jsou obaly z PETP materiálu v podobě preforem, láhví a velkoobjemových nádob.

4.1 Výroba velkoobjemových nápojových obalů v České republice



Obrázek 7 Logo [9]

Výrobní závod v Aši byl postaven roku 1996 a první produkt byl vyroben začátkem roku 1997, český výrobce dodává své výrobky pouze na zahraniční trh, zejména do Německa a Skandinávie. Mezi nejvýznamnější odběratele patří světově známé společnosti Coca Cola, Carlsberg, Bad Adelholzener a mnoho dalších.

Závod je vybaven moderní technologií v odvětví zpracování PETP materiálu. A jako zajímavost lze uvést, že tato firma patří do skupiny tzv. zelených firem, viz obrázek 8, díky zapojení do projektu ochrany životního prostředí v rámci zpětného odběru a efektivní recyklace odpadů z elektrických a elektronických zařízení. [10]



Obrázek 9 Logo Jsme zelená firma [10]



Obrázek 8 Logo Zero waste [9]

4.2 Výrobní technologie

Pro velkoobjemové nápojové sudy se využívá stejná technologie jako pro klasické PETP láhve, se kterými se setkáváme dnes a denně. Jedná se o technologie vstřikování a následné vyfukování. [12]

4.2.1 Vstupní materiál

Vstupní surovinou je PETP granulát, který firma Petainer Czech Holdings s.r.o. nakupuje od různých dodavatelů. Materiál stejného druhu častokrát není obchodně nazýván stejně, kvůli malým rozdílům v kvalitě, konkrétně se nejčastěji liší barvou, viskozitou nebo obsahem acetaldehydu. Granulát je dovážen kamiony v cisternách nebo kontejnerech a uskladňován v silech nacházejících se venku hned vedle haly tak, aby byl co nejkratší cestou dopraven k potřebným strojům. Jedná se o bílé částečky, jež musí před nasypáním projít vizuální kontrolou, změřena je i vlhkost případně obsah acetaldehydu. Tato kritéria jsou spolu s dodávkou garantovány výrobcem a tzv. Test reportem. [12]



Obrázek 10 Granulát [13]

Granulát se dopravuje jak do sil, tak po závodu nasáváním skrz trubice. Další surovinou jsou aditiva nebo barviva připravená u strojů v sudech. [12]



Obrázek 11 Zařízení pro nasátí a doprava granulátu pomocí trubic [13]

Nyní budou popsány jednotlivé kroky výroby:

4.2.2 Vstřikování

Prvním krokem je výroba preformy (předlisku) na vstřikovacím stroji.

Nejprve je přepraven granulát nasátím ze sil do sušáků, které mají za úkol zbavit granulát vlhkosti. Tyto sušáky z obrázku 12 jsou umístěny na podestě nad vstřikovacími stroji. Vysoušecí teplota se přibližně nastavuje o 100 °C nižší než je teplota tání materiálu, v našem případě cca 170°C. Teploty sušení se liší, důležitou roli zde hrají zkušenosti a také faktor jako je například roční období. Teplota nastavení nesmí způsobit nedostatečné vysušení ani přesušení nebo až spálení granulátu. Jiná hodnota vlhkosti materiálu se projeví zešedivěním předlisku a při vyfukování malým procesním oknem nebo špatným rozmístěním materiálu. [12]



Obrázek 12 Sušák na granulát [13]

Potrubí vycházející ze sušáku do vstřikovacího stroje je v některých případech (například u jiného vstupního materiálu) nutno pokrýt izolační vrstvou, aby se přepravou správná vlhkost udržela.

Pokud granulát není vhodně vysušen, mohlo by dojít ke špatnému smíšení surovin, jež nezaručí v dalších operacích požadovanou kvalitu výrobku. [12]

Granulát je společně s dalšími přísadami, jako jsou aditiva a barviva dopraven ze zásobníků z obrázku 13 do extruderu viz obrázek 14, kde je roztaven na potřebnou teplotu. [12]



Obrázek 13 Zásobníky na barvivo a aditiva [13]



Obrázek 14 Pohled zespoda na extrudér [13]

Horká tavenina je pomocí šneku, který se neustále otáčí pro udržení teploty taveniny, vstřikovávána do vyhřívané formy, vyfoceno na obrázku 15. [12]



Obrázek 15 Ohříváč směsi v horní části fotografie, pod ním šnek, vpravo dole píst [13]

V jejich dutinách se za působení vysokých tlaků vytvaruje preforma. Kavity formy nejsou otevřeny hned po vytvarování, ale až za pár sekund. Tímto principem je docíleno správného vstříknutí, zchladnutí a celkového ustálení materiálu. Když se forma otevře, preformy jsou nabodnuty chladícími trny tzv. dvou/třístupňovým dochlazovacím zásobníkem, který zaručuje přepravu hotových preforem a zároveň zchladí materiál natolik, že nedojde k poškození (zmačkání, protlačení, oděrkám...) při vysypání do společného sběrného kontejneru.

Při vstřikování pivních keglů je základní surovinou nejen PETP granulát, ale také v malé míře nylon neboli polyamid 6 (PA6) a hnědé barvivo. Nylon je jeden z materiálu, který musí být ze sušáku odváděn pomocí izolovaného potrubí. Oba materiály jsou vysoušeny zvlášť, neboť mají odlišnou teplotu sušení a také pak i dobu sušení. Speciální sušička nylonu je na obrázku 16. [12]



Obrázek 16 Sušička na Nylon PA6 [13]

Konečný tvar preformy připomíná tvar zkumavky, jak ukazuje obrázek 17.



Obrázek 17 Hotové preformy (pivní kegy) [13]

Každá preforma musí dozrát neboli relaxovat dostatečně dlouho než se z nich bude moct dát vyfouknout hotová láhev nebo sud. Preformy relaxují ve skladech několik dnů, dokud materiál není ve svém celém objemu v ustáleném stavu.

Tato postupná aklimatizace materiálu sníží vnitřní pnutí a materiál preformy nabere potřebnou vzdušnou vlhkost pro další postup zpracování, kterým je vyfukování. Minimální dobou pro relaxaci mezi vstřikováním a vyfukováním je 5 dní. První 2-3 dny předlisek chladne samovolně při stabilizaci na teplotu okolí, tím se odstraňuje vnitřní pnutí. Doba je závislá na tloušťce stěny předlisku. Poté co je teplota ustálená začíná preforma nasávat vlhkost z okolí. Potřebnou vlhkostí se snižuje tření mezi molekulárními řetězci při protahování. Orientační rozmezí vlhkosti je mezi 300 až 1600 ppm, kdy se řetězce plastů netrhají a orientují se požadovaným směrem. Kdyby PETP měl menší vlhkost, docházelo by k trhání a praskání řetězců. [12]

Na druhou stranu také platí, že když preforma relaxuje příliš dlouho a obsahuje víc jak 3000 ppm vody, nasátá vlhkost z okolí se při zahřátí odpařuje a pára při úniku může způsobit mikroskopické trhliny.

Předlisky leží v papírových krabicích. Po aklimatizaci jsou preformy navezeny zpět do výroby, kde se přechází k druhému kroku a to vyfukování finálního výrobku – velkoobjemového obalu. [12]

4.2.3 Vyfukování

Po dovezení preforem ze skladu se obsah jedné krabice nasype do zásobníku, který bývá osvětlen ultrafialovým světlem, jak lze vidět na obrázku 18. Zdrojem UV záření jsou vybaveny novější vyfukovací stroje pro hygienické ošetření vstupní preformy. [12]



Obrázek 18 Ošetření preforem UV zářením [13]

Pásovým dopravníkem jsou po několika kusech dovezeny k třídícímu zařízení, který urovnává a připravuje preformy do pece. V našem konkrétním případě musejí být preformy rovnány pomocí robotu do tzv. skluzavky, jelikož u pивních kegů je opěrný kroužek stejně široký jako tělo. Pokud by byl použit běžný orientátor (orientační válec) předlisek by propadl.

V peci z obrázku 19 jsou zahřáty vyfukované části, jedná se o dno a tělo. Závitová část preformy je již finální a proto se nepředehřívá. Průřezy stěnou nejsou v celé délce preformy totožné. V této etapě je podstatou, aby se tělo preformy ohřálo ve všech místech stejně. Konstrukce pece je rozdělena do jednotlivých ohřívacích modulů, kterými lze regulovat potřebný tepelný výkon na daných úsecích v závislosti na měnící se tloušťce stěny. Při ohřívání se forma otáčí kolem své svislé osy. [12]



Obrázek 19 Preformy zajiždějící do pece [13]

Předehřáté předlisky se poté kontinuálně vyfukují v uzavíratelné formě skládající se ze tří základních horizontálních částí. Forma je otevíratelná podél své svislé osy, aby se do ní předpřipravený kus k vyfukování mohl pohodlně vložit. Spojením dvou částí lze pozorovat na hotovém výrobku jako tzv. dělicí čáru vzniklou dělicí rovinou. Horizontálně je oddělena svrchní část končící těsně pod závitem. Tento díl formy je chlazen na teplotu okolo 10 °C, tělo formy je ohříváno přibližně na 100°C a dno je opět chlazené stejně jako závitová část. Chlazené části zajišťují tvarovou stálost.

Vlastní proces vyfukování začíná po založení preformy do těla vyfukovací formy a po uzavření dvou vertikálních částí. V první fázi se po zamčení mechanicky natahuje

preforma protlačovacím trnem do takzvaného bodu „0“ za působení předfukovacího tlaku kolem 8 barů (tlak roven 0,8 MPa). Tento tlak připraví materiál na axiální protahování a zároveň zamezí přilepení materiálu na protahovací trn. Následně se preforma vyfoukne za působení několika desítek barů (30 – 40 barů) do požadovaného tvaru podle vyfukovací formy tzv. bod „10“. V tomto bodě, tedy za působení vysokého tlaku, setrvává obal několik sekund, pro udržení tvarové stálosti, pak se tlak sníží, forma se otevře a hotový výrobek je vyjmut. Vysoké tlaky potřebné k procesu zajišťuje celý komplex kompresorů, který je nezbytně nutnou a velmi důležitou součástí celého výrobního postupu. Poté co je láhev vyfouknutá ji dopravník přepraví k další stanici, kde je opatřena víčkem. Vyfouknutý keg přepravovaný dopravníkem je vyfocen na obrázku 20.[12]



Obrázek 20 Vyfouknuté nápojové obaly [13]

Proces víčkování má na starost robotická ruka. Ze zásobníku vyjme víčko, které zobrazuje obrázek 21 a spojí ho s brčkem z obrázku 22. Brčka jsou v samostatném zásobníku opět ošetřena UV zářením. Když jsou obě části spojeny, nasadí se na keg. [12]



Obrázek 21 Portfolio víček



Obrázek 22 Brčka

Poté co je sud zkompletovaný, přijíždí k vizuální kontrole, kterou provádí pracovník/ice závodu. Každý sud projde rukou zaměstnance. Ten má za úkol zkontrolovat správnost vyfouknutí, otočením a prohlédnutím. Vyhledává převážně skvrny, trhlinky, jež mohou být například způsobeny spečením materiálu. Pokud láhev projde vizuální kontrolou, pracovník nasadí na víčko detektor těsnosti a otestuje se, zda-li je víčko správně upevněno k obalu.

Za linkou je připraven už další robot skládající hotový keg z obrázku 24 na palety a ty jsou následně baleny a připraveny pro zákazníka. Oficiálním propagačním logem tohoto produktu je PetainerKeg, které ukazuje obrázek 23. Někdy si žádá zákazník dezinfekci sudů pomocí dusíku vyráběného přímo v závodu z atmosféry nebo je potřeba sud mírně natlakovat cca 0,25 baru při přepravě do oblastí s nižší nadmořskou výškou kvůli vyrovnání tlaků.



Obrázek 23 Logo PetainerKeg

Pro velkoobjemové nápojové obaly existuje v závodu vlastní testovací laboratoř, kde jsou prováděny veškeré typy testů.



Obrázek 24 Výsledný produkt různých velikostí [13]

Dalším možným typem technologického postupu výroby nápojových obalů je takzvaný jednokrokový postup, kdy linka vstříkuje preformy, které jsou dopravníkem rovnou přemístěny do vyfukovacího stroje. Vstupním produktem je tedy granulát a výstupním hotový výrobek v podobě vyfouknuté láhve. Takto je možné vyrábět pouze nevratné obaly, u nichž nepředpokládáme větší mechanické, chemické i únavové namáhání opakovaným čištěním a plněním, transportem, prodejem a celkové opakování procesů. Díky tomu mají jednorázové obaly zcela jednodušší design a odlišný tvar dna. Tato technologie se v ašském závodu nevyužívá. [12]

4.3 Požadavky na kvalitu vyráběných obalů

Výrobce všech potravinářských obalů musí splnit legislativní požadavky vztahující se k výrobě a distribuci. Jedním z těchto požadavků je také shoda parametrů produktu s požadavky zákazníka. Aby výrobek obstál, je třeba mít informace o kvalitě vstupních materiálů a polotovarů. To zaručují jednotlivé kroky kontroly v různých fázích výroby. V těchto krocích jsou kontrolovány vzorky a porovnávány s platnými výrobními specifikacemi.

Výčet specifikací:

- Vstupní kontrola granulátu
- Vstupní kontrola preforem
- Vstupní kontrola palet
- Výrobní kontrola preforem
- Výrobní kontrola kegů
- Výstupní kontrola preforem
- Výstupní kontrola kegů
- Výstupní kontrola u paletizéru
- Kontrola při nakládce

Podle daných kontrolních postupů a schválených plánů jsou v jednotlivých fázích prováděny nejrůznější typy testů, jež závisejí na míře vlivu na kvalitu výrobku a jsou rozděleny na kritické a nekritické body:

- Kritické body:

Vizuální kontrola preforem

Vizuální kontrola obalů

Kontrola obsahu acetaldehydu v preformě

Kontrola obsahu acetaldehydu ve vodním výluhu z obalů

Měření rozměrů a rozložení materiálu

Měření výšky dna

Měření rozložení materiálu u dna

Měření objemu a hmotnosti

Testy smršťování (shrink test)

Kontrola kódu

Naklonění roviny okraje hrdla (finish slant)

Kolmost (perpend)

Loop test (simulace praní a plnění láhví ve stáčírňách)

Nekritické body:

Odpor vůči osovému zatížení (topload)

Pevnost stěny obalu vůči vnitřnímu přetlaku (burst test)

Rázová pevnost (drop test)

Vakuum test (deformace při podtlaku)

Výroba není kontrolována jen průběžně, ale i pravidelnými laboratorními testy prováděnými uvnitř i mimo závod, které jsou spjaté se zlepšováním výroby a vývojem nových produktů. Mezi tyto testy například patří teplotní testy, dlouhodobější testy životnosti materiálu anebo srovnávací testy. Z výsledků se sestavují komplexní zprávy o kvalitě výroby zadávající se do statistiky závodu. Přístroje, na kterých jsou testy prováděny, jsou kalibrovány podle příslušných norem.

Kritéria pro výrobu preforem a obalů udává jak výrobce, tak zákazník, který musí se specifiky souhlasit. Jak již bylo zmíněno, prvotní materiál není vždy dovážen s jednotnou kvalitou, která udává viskozitu nebo barevnost a tím určuje i výslednou jakost produktu.
[10]

4.3.1 Rozbor vlivů na jakost produktu

4.3.1.1 Vliv vnitřní viskozity materiálu

Tato vlastnost granulátu je jedna z nejdůležitějších. V běžné praxi se užívá označení IV, jež měříme v decilitrech na gram a je závislá na délce polymerního řetězce. S delším řetězcem narůstá překřížení mezi řetězci a tím i viskozita. Viskozitu lze ovlivnit tepelným zpracováním, uvádí se, že s každým tepelným zpracováním IV klesá o zhruba 1 až 2 setiny. Vnitřní viskozita PETP se pohybuje kolem 0,8 dl/g. Vysoké IV má za následek protažení polymerních řetězců v osovém i radiálním směru a tím vzniká mechanicky i chemicky pevná, odolná struktura.

Při využití viskozity jako parametru nezáleží pouze na jednom faktoru, ale společně s ní je třeba znát teplotu technologického zpracování při postupu vyfukování anebo

vstřikování, protože naopak při nižších zpracovatelských teplotách s vyšším IV může dojít k přetržení molekulových řetězců.

Teplota vyfukování má zároveň vliv na velikost smrštění výsledné láhve. Láhev se totiž elasticky snaží vrátit do původní podoby, kterou byla preforma. Jev je nazýván „*memory effect*“ a nesmíme ho opomenout při určování teplot v odlišných případech vratného a nevratného obalu. V případě s vyšší teplotou pomáhá při vyfukování, kdy zajistí lepší rozložitelnost materiálu do formy, při mechanickém natažení i následném vyfouknutí.

Optimalizace podmínek je jednou z nejsložitějších procesů celého postupu. Obecně však platí, že předpokladů lze dosáhnout použitím vstupního granulátu s vysokým IV (0,84-0,9 dl/g), který bude vyfukován při co nejvyšší možné teplotě, která částečně sníží *memory effect*.

Při těchto podmínkách by měla být zaručena pomalá krystalizace, jež je podmínkou zpracovatelnosti PETP při vysokých teplotách nad 110 °C.

Vnitřní viskozita pak následně ovlivňuje tažnost, s ní spojenou houževnatost, rozměrovou stálost, chemickou odolnost a únavovou pevnost.

Suroviny s nižším IV jsou vhodné pro méně náročné zpracování, ale nezaručí stálost, která by měla odpovídat vratným obalům, využívá se tedy pro jednorázové obaly a granulát s vyšším IV pro vratné. [10]

4.3.1.2 Vlivy technologického postupu

Technologický proces vysoce závisí na know how, lidském faktoru, velké zkušenosti a také štěstí. Ze zkušenosti pracovníků firmy vyplývá, že i přes splnění předpokladů, dodržení parametrů například s vysokou viskozitou v decilitrech na gram a dodržení teploty, nevykazuje obal vytvořený tímto postupem požadované vlastnosti. Dá se říci, že řízení vysokého počtu neznámých vlivů při výrobě je nejsložitějším parametrem, snaha je optimalizovat a skloubit všechny parametry ovlivňující se navzájem. [10]

4.3.2 Obecné nastavení parametrů technologického procesu

Výsledný produkt je nejvíce ovlivněn následujícími parametry, které je snaha optimalizovat, aby jakost konečného výrobku odpovídala požadavkům.

- Teplota
- Tlak
- Rychlost
- Doba
- Chlazení

Pokud se podaří harmonizovat základní parametry je vyhráno.

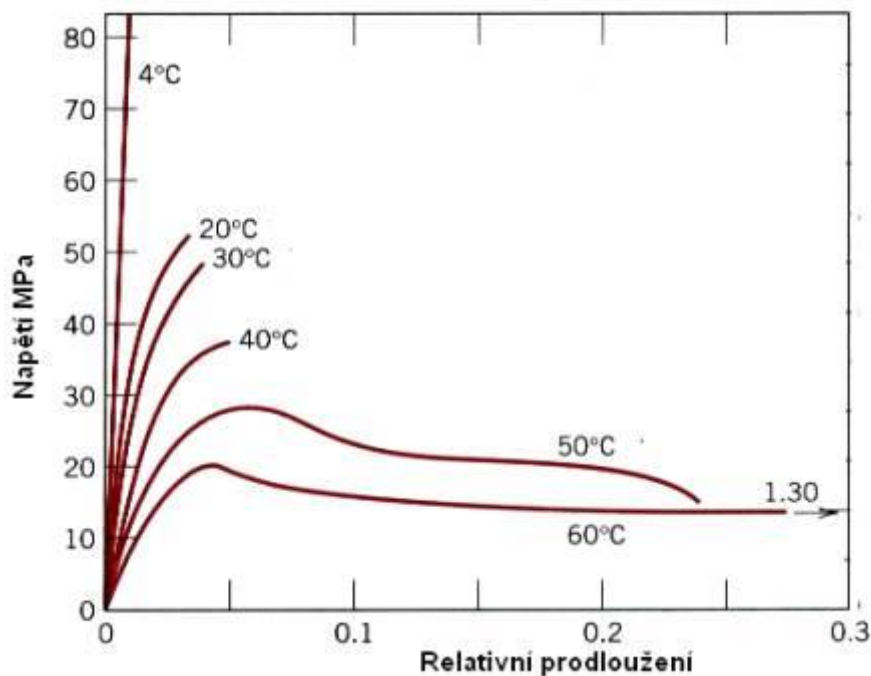
V praktické části bylo vybráno několik obalů z PETP materiálu. Na těchto výrobcích bylo provedeno laboratorní měření pomocí tahové zkoušky a posouzen vliv nastavení technologického postupu na výsledné vlastnosti a chování materiálu. Tahová zkouška i s jejími výsledky je podrobněji popsána v následující kapitole. [12]

5 Experimentální část

5.1 Teoretický úvod

5.1.1 Mechanické vlastnosti polymerů

Jak už je známo, plasty obecně reagují na jakékoli změny mnohem citlivěji než kovy. Z toho je zřejmé, že při zjišťování mechanických vlastností je třeba dbát mnohem víc na okolní podmínky, jako jsou hlavně teplota, rychlost deformace, na kterých jsou vlastnosti silně závislé a mění výrazně vlastnosti polymerů. [14]



Obrázek 25 Schématické zobrazení teplotní závislosti mechanických vlastností polymeru [14]

V praxi jsou závislé na mnohem větší škále vlastností a také závisí na tvaru výrobku nebo stavu materiálu po zpracování. Technologický postup ovlivňuje orientaci makromolekul, krystalizaci a vnitřní pnutí.

Konkrétní hodnoty mechanických vlastností jednotlivých polymerních materiálů se ověřují a zjišťují například pomocí tahové zkoušky. [14]

5.2 Tahová zkouška

Principem tahové zkoušky je upnutí zkoušeného materiálu s požadovanými rozměry mezi dvě čelisti trhacího stroje. Stroj je uzpůsoben tak, že horní čelist staticky drží těleso a spodní čelist se konstantně pohybuje stejnou, nastavenou rychlostí nezávisle na napětí dokud se těleso nepřetrhne.

Výsledkem zkoušky je závislost mezi napětím a deformací v materiálu. Závislost se vykresluje do grafu a z této závislosti lze vypočítat jednoduchými vzorci mez kluzu a pevnosti, poměrné prodloužení a napětí. Obecně pro výpočet napětí platí, že je příslušná normálová síla F [kN] dělená počátečním průřezem vzorku označovaným A [mm²]. Průřez lze vypočítat pomocí vzorce:

$$A = b \cdot h$$

, kde b je šířka vzorku a h tloušťka vzorku v milimetrech.

Pro praxi z tahové zkoušky nejčastěji zjišťujeme veličiny:

Napětí na mezi kluzu, označováno řeckým písmenem σ_y [MPa]. Jedná se o napětí při poměrném prodloužení na mezi kluzu, tedy hraniční stav mezi elastickou a plastickou deformací. Na mezi kluzu narůstá délka tělesa bez toho, aniž by se zátěžná síla zvětšovala. Pro výpočet je využit vzorec:

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A} [MPa]$$

Mez pevnosti značená jako σ_m [MPa]. Napětí se vypočítá z prvního lokálního maxima v průběhu celé tahové zkoušky.

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} [MPa]$$

Napětí na mezi kluzu a na mezi pevnosti se v některých případech mohou sobě rovnat.

[15]

Napětí při přetržení σ_b [MPa] je vyobrazeno na tahové křivce jako nejvyšší hodnota napětí, právě tehdy než zatížení poklesne. Pokles je způsoben trháním zkušebního tělíška.

Během laboratorního testování byla vyhodnocena i změna délky tělesa, kterou vyjadřujeme tzv. **poměrným prodloužením ε [-]**, což je zvětšení počáteční naměřené délky ku počáteční délce. Pro lepší představu se tato bezrozměrná veličina přenásobí 100, aby poměr vyšel v procentech.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \cdot 100 [\%]$$

Nebo také **nominální poměrné prodloužení ε_t [-]**, což je zvětšení počáteční naměřené délky vzdálenosti mezi čelistmi ku počáteční délce mezi čelistmi. Pro lepší představu se tato bezrozměrná veličina opět přenásobí 100, aby poměr vyšel v procentech. [15]

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100 [\%]$$

Základní pevnostní vlastnosti některých dalších termoplastů [16]

Název	Modul pružnosti v tahu (MPa)	Mez pevnosti (MPa)
Polyethylen (PE)	200 až 1400	8 až 35
Polypropylen (PP)	1100 až 1300	21 až 37
Polyvinylchlorid (PVC)	2400 až 4200	40 až 60
Polyamid 6 (PA6)	1200 až 1400	70 až 85

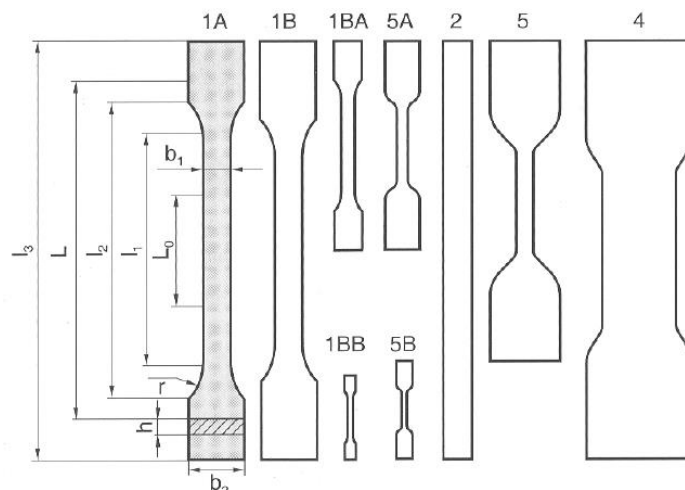
5.2.1 Rychlost a teplota

Vlivnou částí vedle tvaru tělesa, jeho rozměrech a kvalitou povrchu stojí rychlost deformace a teplota. Rychlost a její nastavení je závislé na typu tělesa a materiálu. Časová složka se začne projevovat až v průběhu procesu, kdy se chování materiálu překlene do stavu plastického. Se zvyšující se rychlostí deformace se úměrně tomu zvyšuje mez toku i mez pevnosti v tahu. Srovnání těchto dvou mezí pak vypovídá o deformačních vlastnostech. Pomůckou pro určení správné rychlosti může být následující - těleso by se mělo přetrhnout zhruba do jedné minuty od zahájení zkoušky.

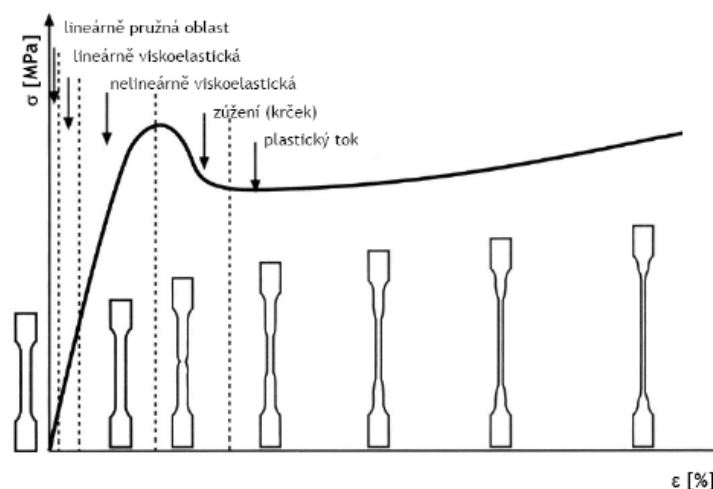
S rostoucí teplotou přechází polymer z tuhého, tvrdého stavu do kaučkovitého s vyšší poměrnou deformací. Teplota má tedy podobný vliv jako rostoucí rychlost deformace. [10]

5.2.2 Zkušební tělesa

Rozměry zkušebních těles jsou definovány normou pro konkrétní polymerní materiály. Většinou lze vybírat z několika možných druhů viz obrázek 26, nejtypičtějším tvary jsou však tzv. oboustranné lopatky neboli osmičky. Osmičky se pohodlně uchycují do čelistí a zároveň se napětí koncentruje do zúžené části a tím docílíme přetržení vzorku v místech mezi čelistmi. Páskový tvar volíme pro malou tloušťku materiálu nebo pro folie. Typický průběh zkoušky a deformaci tělíska popisuje obrázek 27. [16]



Obrázek 26 Tvary zkušebních těles pro tahové zkoušky [16]



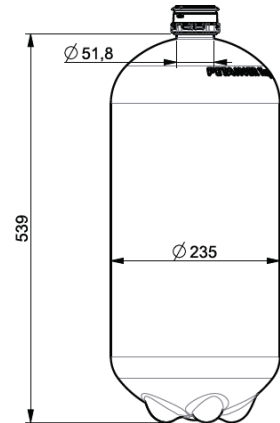
Obrázek 27 Průběh deformace zkušebního tělesa [14]

6 Postup laboratorního měření

6.1 Popis a identifikace vzorků

Zkoušený produkt/materiál:

Název	Keg Hybrid
Materiál	PETP
Objem [l]	20
Délka preformy [mm]	258
Tloušťka stěny preformy [mm]	7,95
Váha preformy [g]	400
Přídavné látky v materiálu	hnědé barvivo, UV blokátor



Obrázek 28 Výkres Hybrid Keg [11]

Materiál zkušebních vzorků je pro každý kus stejný, liší se pouze podmínky vzniku výsledného obalu.

Zkušební tělísko typu 2 dle normy ČSN EN ISO 527-1,3 bylo odebráno 5 krát z každého kusu. Jednotlivé kusy byly označeny dvěma čísly rozdělené lomítkem, které přiřadila firma podle receptu, času a procesu výroby. Každý tento kus byl rozdělen na pět částí, pojmenovaných za podtržítkem dalším číslem podle pořadí upínání. [9]

6.2 Způsob odběru vzorků

Vzorky určené ke zkouškám byly vystřiženy z hotových velkoobjemových obalů vyrobených ve společnosti Petainer Czech Holding s.r.o, které vznikly při třech definovaných nastavení procesů popisující následující tabulky. Vybíralo se z několika desítek možných kegů vyrobených při těchto nastavení vyfukovacího stroje. Každým procesem bylo vyfouknuto 19 vzorků, u nichž se změřila tloušťka stěny ve 4 bodech na třech předem určených vzdálenostech od hrdla obalu. Pro lepší porovnání výsledků však bylo vybráno 9 vzorků s podobnou tloušťkou stěny. Vybrané kusy jsou v tabulce, viz Příloha 1 označeny žlutou barvou. Z každého sudu byl odříznut kus obdélníkového tvaru, a následně technologií stříhání odebráno 5 normalizovaných vzorků podle normy ČSN EN ISO 527-1,3.

Jednotlivé procesy jsou podrobněji rozepsány do následujících tabulek.

Proces 1	
Rychlost vyfukování	standardní
Kadence stroje [kph]	300
Rychlost protahování trnu vzhledem k maximální kapacitě rychlosti [%]	40
Vnější teplota preformy [°C]	110
Vnitřní teplota preformy [°C]	120

Proces 2	
Rychlost vyfukování	pomalá
Kadence stroje [kph]	200
Rychlost protahování trnu vzhledem k maximální kapacitě rychlosti [%]	40
Vnější teplota preformy [°C]	106
Vnitřní teplota preformy [°C]	116

Proces 3	
Rychlost vyfukování	rychlá
Kadence stroje [kph]	300
Rychlost protahování trnu vzhledem k maximální kapacitě rychlosti [%]	80
Vnější teplota preformy [°C]	113
Vnitřní teplota preformy [°C]	125

[9]

6.3 Zadání

Stanovení tahových vlastností podle ČSN EN ISO 527-1,3 a vytvoření etalonů pro rozdílné nastavení technologických parametrů při výrobě.

6.4 Použité metody a přístroje zkoušení

Pomocí tahové zkoušky na trhacím stroji značky Walter+Baiag byly vyhodnoceny síly a prodloužení na mezi kluzu a při přetržení.

Na základě těchto výsledků byly stanoveny tahové vlastnosti – napětí na mezi kluzu a při přetržení vzorku, poměrné prodloužení na mezi kluzu a při přetržení dle normy.

Trhací stroj:

W+B

Typ: ZD 10/90

F.No. 976

A.No. K17550

Dat. 11.2007

Tento přístroj vlastní Fakulta strojní, ČVUT v Praze.

6.5 Podmínky zkoušky

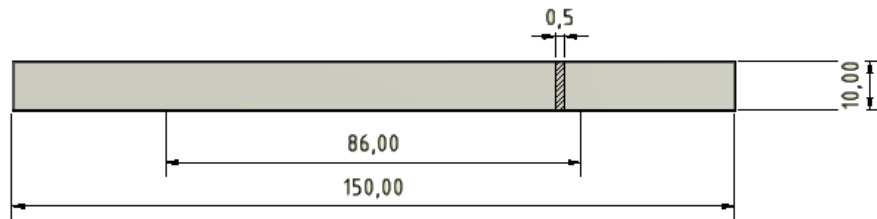
- teplota při zkoušení - 23 °C
- zkušební tělesa - typ 2, dle normy
- vzdálenost mezi čelistmi¹ – 86 mm
- rychlost posuvu příčnicku – 50 mm/min
- počet zkušebních těles na jeden materiál – 5
- počet zkoušených materiálů - 9
- počet celkově naměřených vzorků – 45

¹poznámka: Vzdálenost mezi čelistmi byla zvolena, aby vzorek neprokluzoval v čelistech a zmenšily se tak chyby při vyhodnocování zkoušených vzorků. Tato vzdálenost byla dodržena pro všechny vzorky.

7 Výsledky tahové zkoušky

7.1 Vzorek 1/5

Rozměry vzorku:



$$A = 5 \text{ mm}^2$$

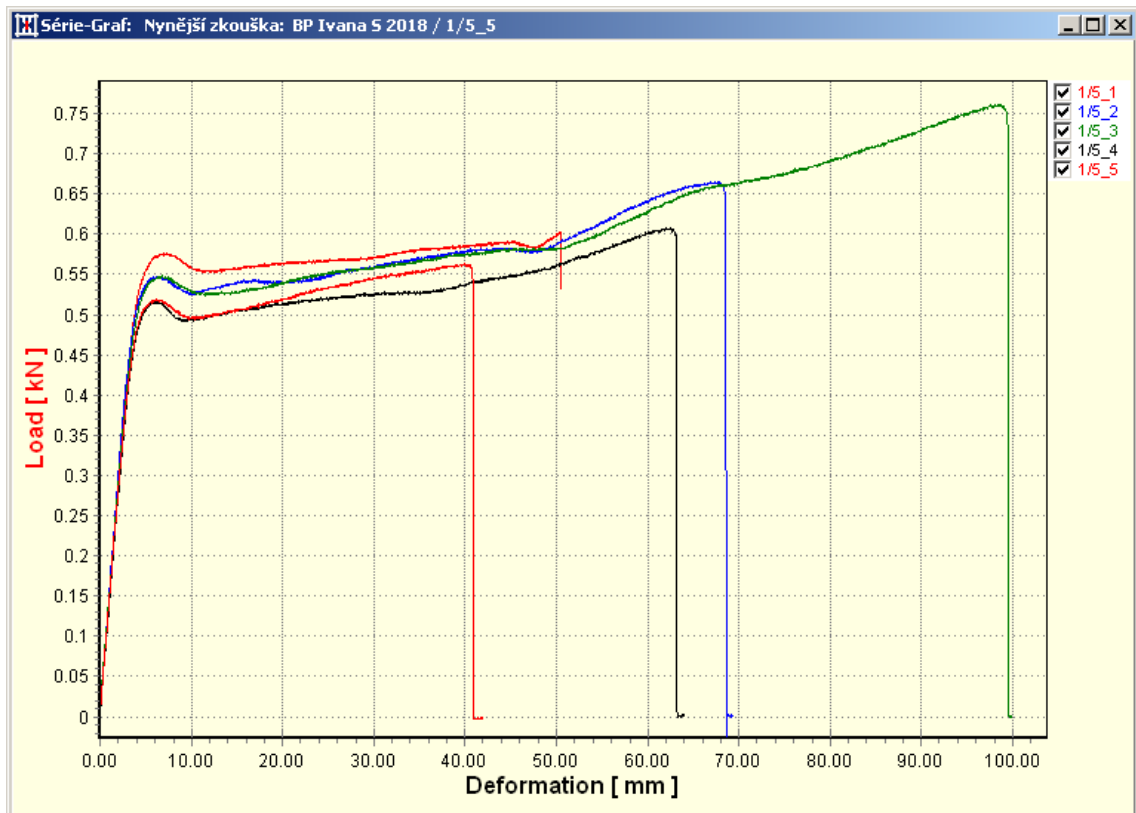
Hodnoty naměřené při trhání vzorku:

Vzorek	Naměřené hodnoty	
	síla F_y [kN] na mezi kluzu	síla F_b [kN] při přetržení
1	0,575	0,600
2	0,545	0,670
3	0,545	0,760
4	0,518	0,610
5	0,520	0,560

Vypočtené hodnoty pomocí vzorců uvedených v kapitole o tahové zkoušce:

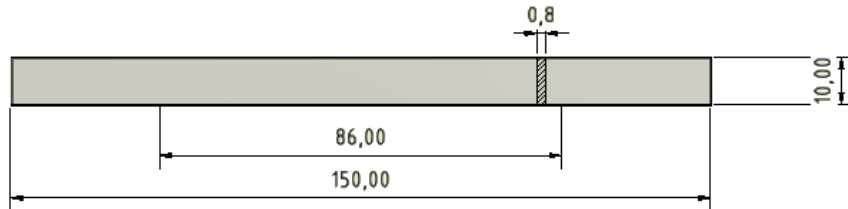
Vzorek	Vypočtené hodnoty						
	σ_y [MPa] na mezi kluzu	σ_b [MPa] při přetržení	průměrná hodnota σ_y [MPa]	průměrná hodnota σ_b [MPa]	Prodloužení vzorku ΔL [mm]	poměrné prodloužení ϵ_{tb} [%]	Průměrná hodnota poměrného prodloužení ϵ_{tb} [%]
1	115	120	108	128	50	59	74
2	109	134			68	79	
3	109	152			99	115	
4	104	122			62	72	
5	104	112			40	46	

Graf popisující chování tažených vzorků během zkoušky:



7.2 Vzorek 1/6

Rozměry vzorku:



$$A = 8 \text{ mm}^2$$

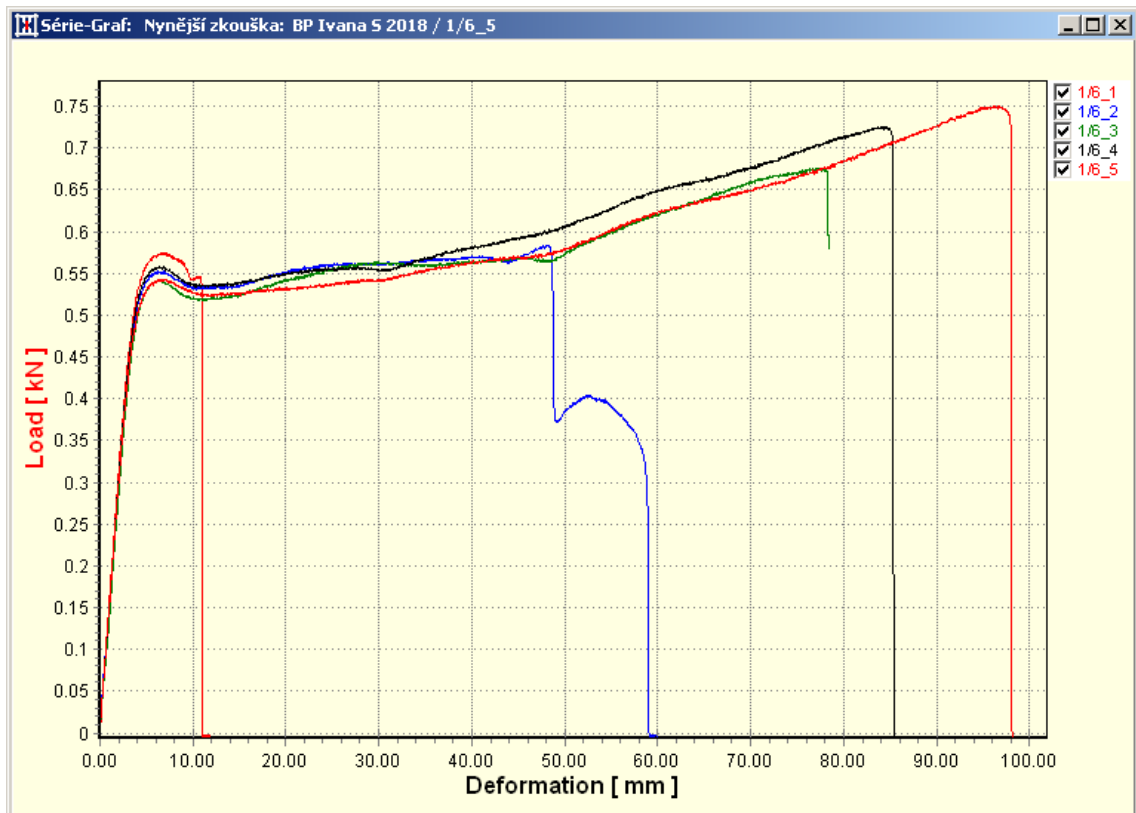
Hodnoty naměřené při trhání vzorku:

Vzorek	Naměřené hodnoty	
	síla F_y [kN] na mezi kluzu	síla F_b [kN] při přetržení
1	0,575	0,580
2	0,550	0,580
3	0,540	0,670
4	0,560	0,730
5	0,540	0,750

Vypočtené hodnoty pomocí vzorců uvedených v kapitole o tahové zkoušce:

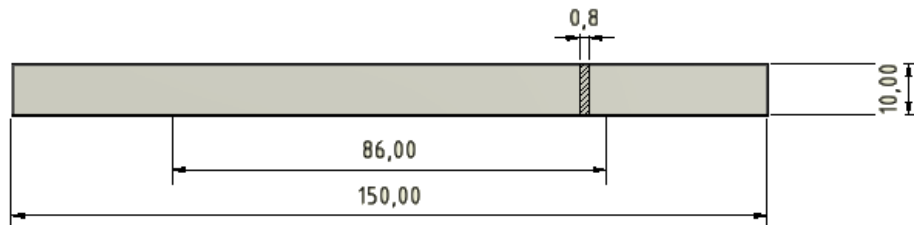
Vzorek	Vypočtené hodnoty						
	σ_y [MPa] na mezi kluzu	σ_b [MPa] při přetržení	průměrná hodnota σ_y [MPa]	průměrná hodnota σ_b [MPa]	Prodloužení vzorku ΔL [mm]	poměrné prodloužení ϵ_{tb} [%]	Průměrná hodnota poměrného prodloužení ϵ_{tb} [%]
1	71,9	72,5	69,1	82,8	7	8	73
2	68,8	72,5			48	56	
3	67,5	83,8			76	89	
4	70,0	91,3			84	98	
5	67,5	93,8			96	112	

Graf popisující chování tažených vzorků během zkoušky:



7.3 Vzorek 1/10

Rozměry vzorku:



$$A = 8 \text{ mm}^2$$

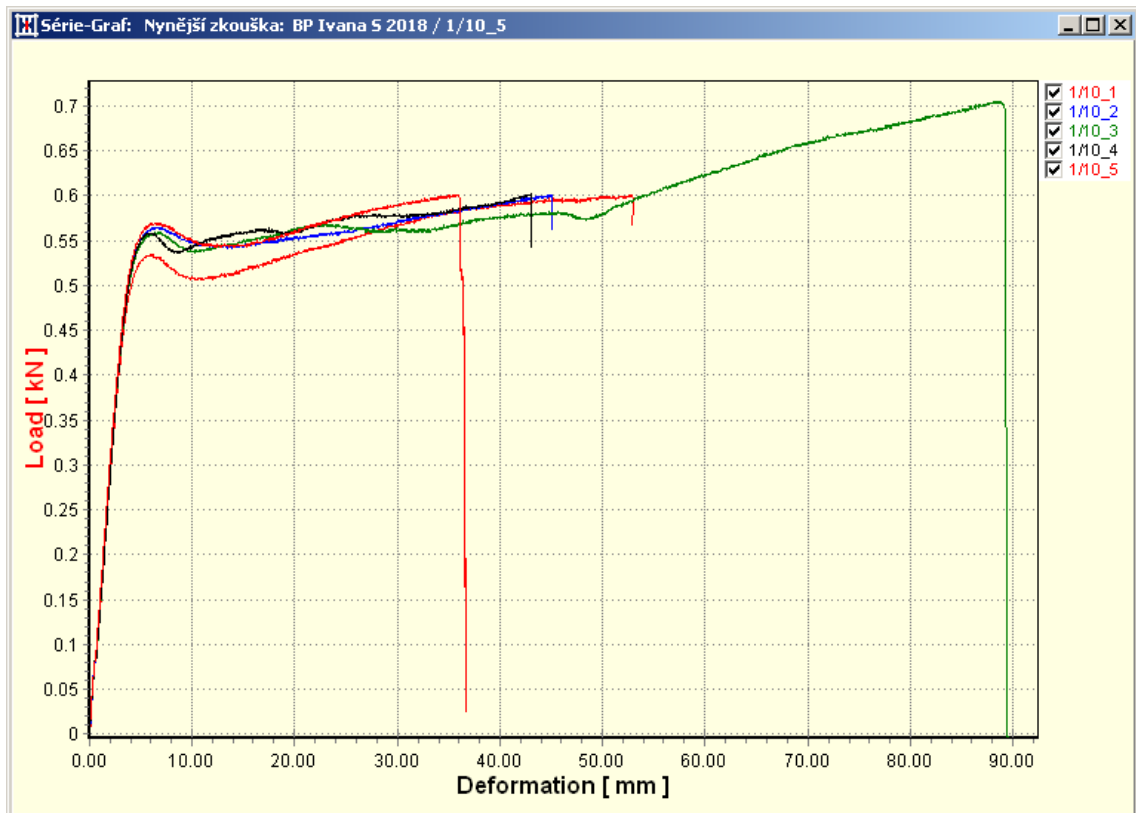
Hodnoty naměřené při trhání vzorku:

Vzorek	Naměřené hodnoty	
	síla F_y [kN] na mezi kluzu	síla F_b [kN] při přetržení
1	0,535	0,600
2	0,570	0,600
3	0,560	0,710
4	0,560	0,600
5	0,570	0,600

Vypočtené hodnoty pomocí vzorců uvedených v kapitole o tahové zkoušce:

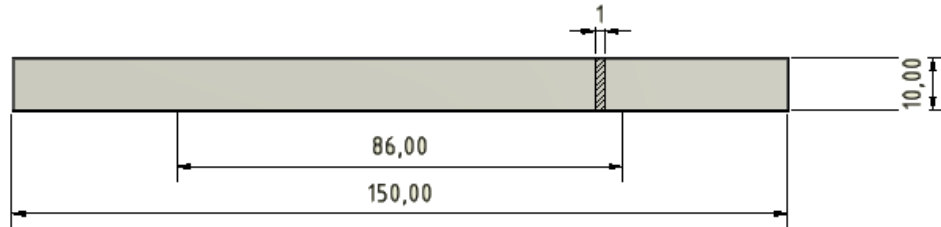
Vzorek	Vypočtené hodnoty						
	σ_y [MPa] na mezi kluzu	σ_b [MPa] při přetržení	průměrná hodnota σ_y [MPa]	průměrná hodnota σ_b [MPa]	Prodloužení vzorku ΔL [mm]	poměrné prodloužení ε_{tb} [%]	Průměrná hodnota poměrného prodloužení ε_{tb} [%]
1	66,9	75,0	69,9	77,8	53	61	62
2	71,3	75,0			45	52	
3	70,0	88,8			88	103	
4	70,0	75,0			43	50	
5	71,3	75,0			36	41	

Graf popisující chování tažených vzorků během zkoušky:



7.4 Vzorek 2/7

Rozměry vzorku:



$$A = 10 \text{ mm}^2$$

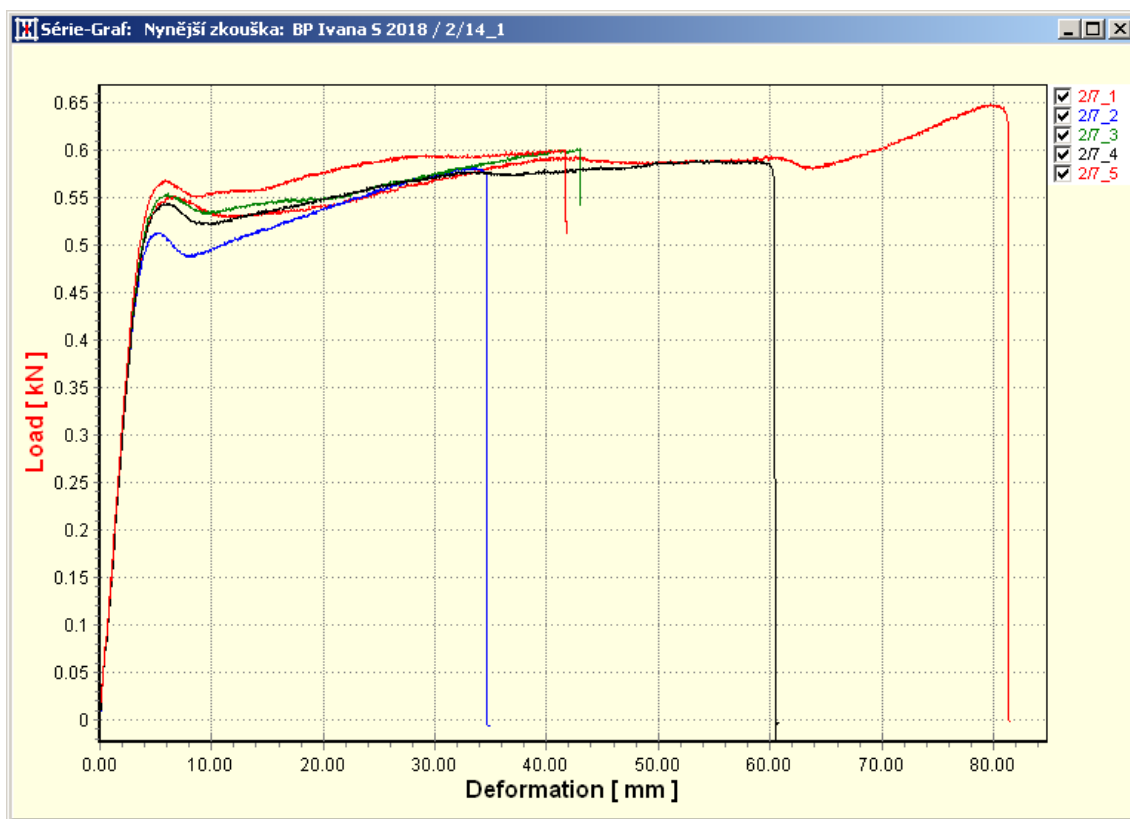
Hodnoty naměřené při trhání vzorku:

Vzorek	Naměřené hodnoty	
	síla F_y [kN] na mezi kluzu	síla F_b [kN] při přetržení
1	0,550	0,650
2	0,515	0,580
3	0,550	0,600
4	0,541	0,590
5	0,570	0,600

Vypočtené hodnoty pomocí vzorců uvedených v kapitole o tahové zkoušce:

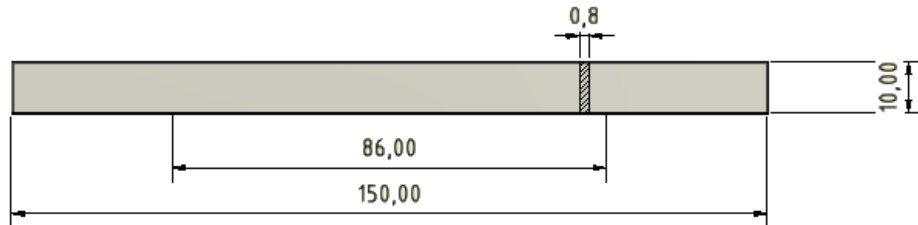
Vzorek	Vypočtené hodnoty						Průměrná hodnota poměrného prodloužení ϵ_{tb} [%]
	σ_y [MPa] na mezi kluzu	σ_b [MPa] při přetržení	průměrná hodnota σ_y [MPa]	průměrná hodnota σ_b [MPa]	Prodloužení vzorku ΔL [mm]	poměrné prodloužení ϵ_{tb} [%]	
1	55,0	65,0	54,5	60,4	80	93	59
2	51,5	58,0			33	38	
3	55,0	60,0			43	50	
4	54,1	59,0			55	64	
5	57,0	60,0			41	48	

Graf popisující chování tažených vzorků během zkoušky:



7.5 Vzorek 2/14

Rozměry vzorku:



$$A = 8 \text{ mm}^2$$

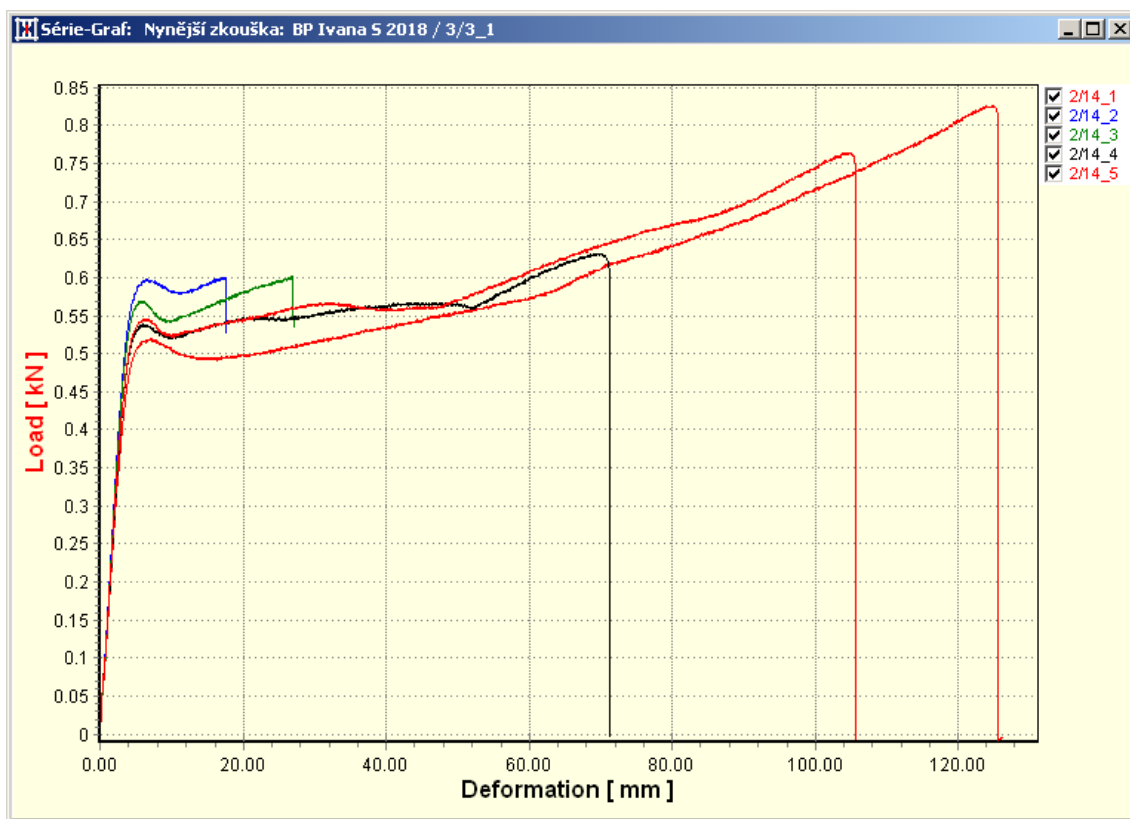
Hodnoty naměřené při trhání vzorku:

Vzorek	Naměřené hodnoty	
	síla F_y [kN] na mezi kluzu	síla F_b [kN] při přetržení
1	0,520	0,830
2	0,600	0,600
3	0,570	0,600
4	0,539	0,630
5	0,544	0,760

Vypočtené hodnoty pomocí vzorců uvedených v kapitole o tahové zkoušce:

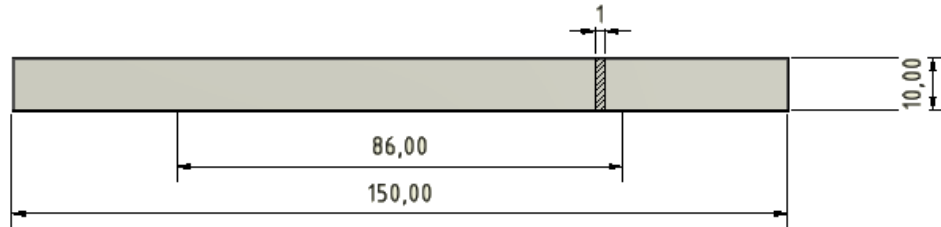
Vzorek	Vypočtené hodnoty						Průměrná hodnota poměrného prodloužení ϵ_{tb} [%]
	σ_y [MPa] na mezi kluzu	σ_b [MPa] při přetržení	průměrná hodnota σ_y [MPa]	průměrná hodnota σ_b [MPa]	Prodloužení vzorku ΔL [mm]	poměrné prodloužení ϵ_{tb} [%]	
1	65,0	104	69,3	85,5	124	144	79
2	75,0	75,0			17	20	
3	71,3	75,0			27	31	
4	67,4	78,8			70	81	
5	68,0	95,0			104	121	

Graf popisující chování tažených vzorků během zkoušky:



7.6 Vzorek 2/17

Rozměry vzorku:



$$A = 10 \text{ mm}^2$$

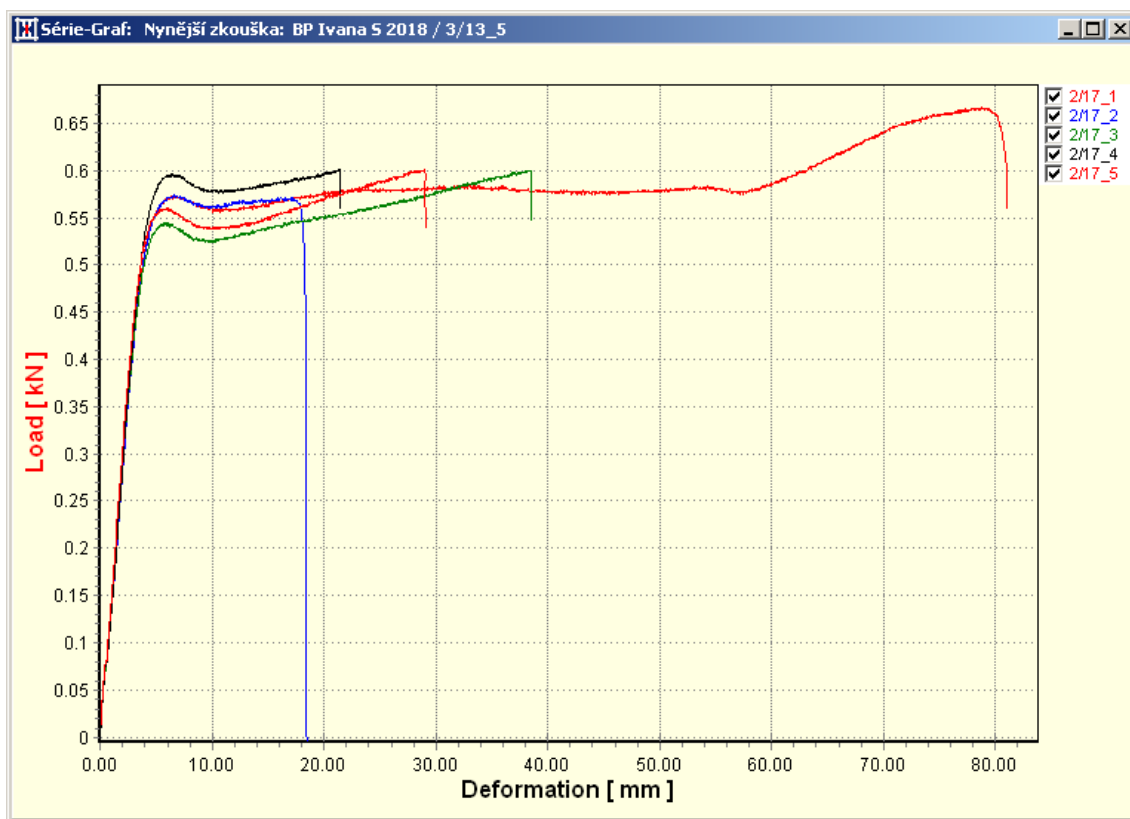
Hodnoty naměřené při trhání vzorku:

Vzorek	Naměřené hodnoty	
	síla F_y [kN] na mezi kluzu	síla F_b [kN] při přetržení
1	0,575	0,670
2	0,575	0,570
3	0,542	0,600
4	0,598	0,600
5	0,560	0,600

Vypočtené hodnoty pomocí vzorců uvedených v kapitole o tahové zkoušce:

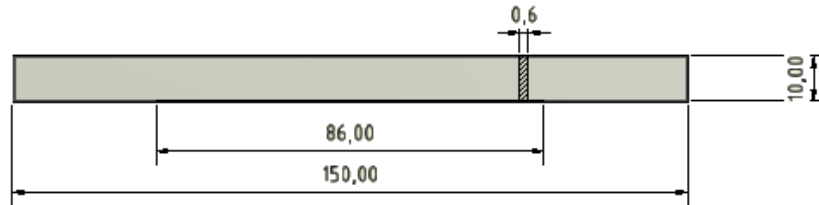
Vzorek	Vypočtené hodnoty						Průměrná hodnota poměrného prodloužení ϵ_{tb} [%]
	σ_y [MPa] na mezi kluzu	σ_b [MPa] při přetržení	průměrná hodnota σ_y [MPa]	průměrná hodnota σ_b [MPa]	Prodloužení vzorku ΔL [mm]	poměrné prodloužení ϵ_{tb} [%]	
1	57,5	67,0	57,0	60,8	79	92	40
2	57,5	57,0			7	8	
3	54,2	60,0			38	44	
4	59,8	60,0			21	25	
5	56,0	60,0			29	34	

Graf popisující chování tažených vzorků během zkoušky:



7.7 Vzorek 3/3

Rozměry vzorku:



$$A = 6 \text{ mm}^2$$

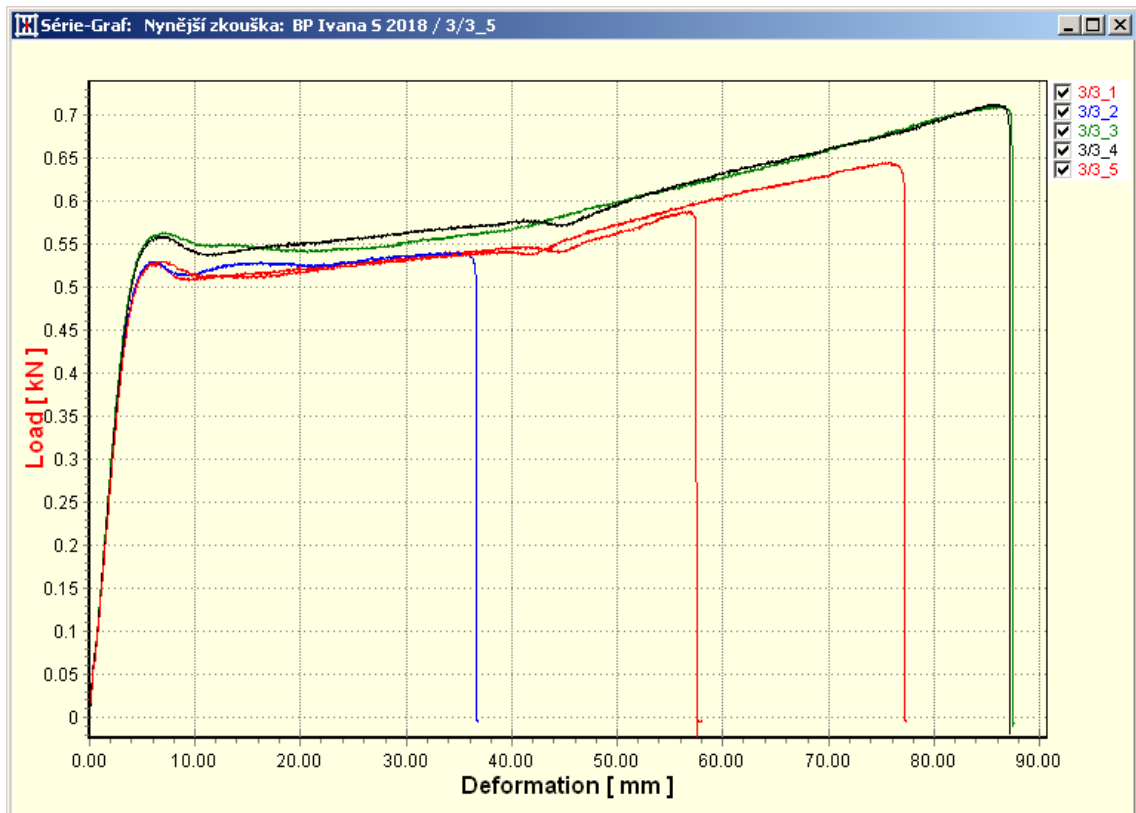
Hodnoty naměřené při trhání vzorku:

Vzorek	Naměřené hodnoty	
	síla F_y [kN] na mezi kluzu	síla F_b [kN] při přetržení
1	0,526	0,590
2	0,530	0,540
3	0,565	0,710
4	0,560	0,710
5	0,530	0,650

Vypočtené hodnoty pomocí vzorců uvedených v kapitole o tahové zkoušce:

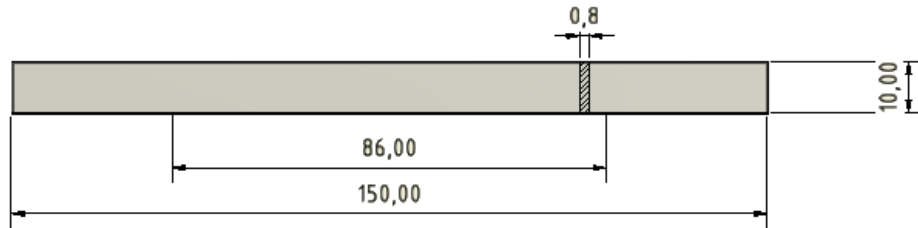
Vzorek	Vypočtené hodnoty						Průměrná hodnota poměrného prodloužení ϵ_{tb} [%]
	σ_y [MPa] na mezi kluzu	σ_b [MPa] při přetržení	průměrná hodnota σ_y [MPa]	průměrná hodnota σ_b [MPa]	Prodloužení vzorku ΔL [mm]	poměrné prodloužení ϵ_{tb} [%]	
1	87,7	98,3	90,4	107	56	65	78
2	88,3	90,0			32	37	
3	94,2	118			86	100	
4	93,3	118			86	100	
5	88,3	108			76	88	

Graf popisující chování tažených vzorků během zkoušky:



7.8 Vzorek 3/6

Rozměry vzorku:



$$A = 8 \text{ mm}^2$$

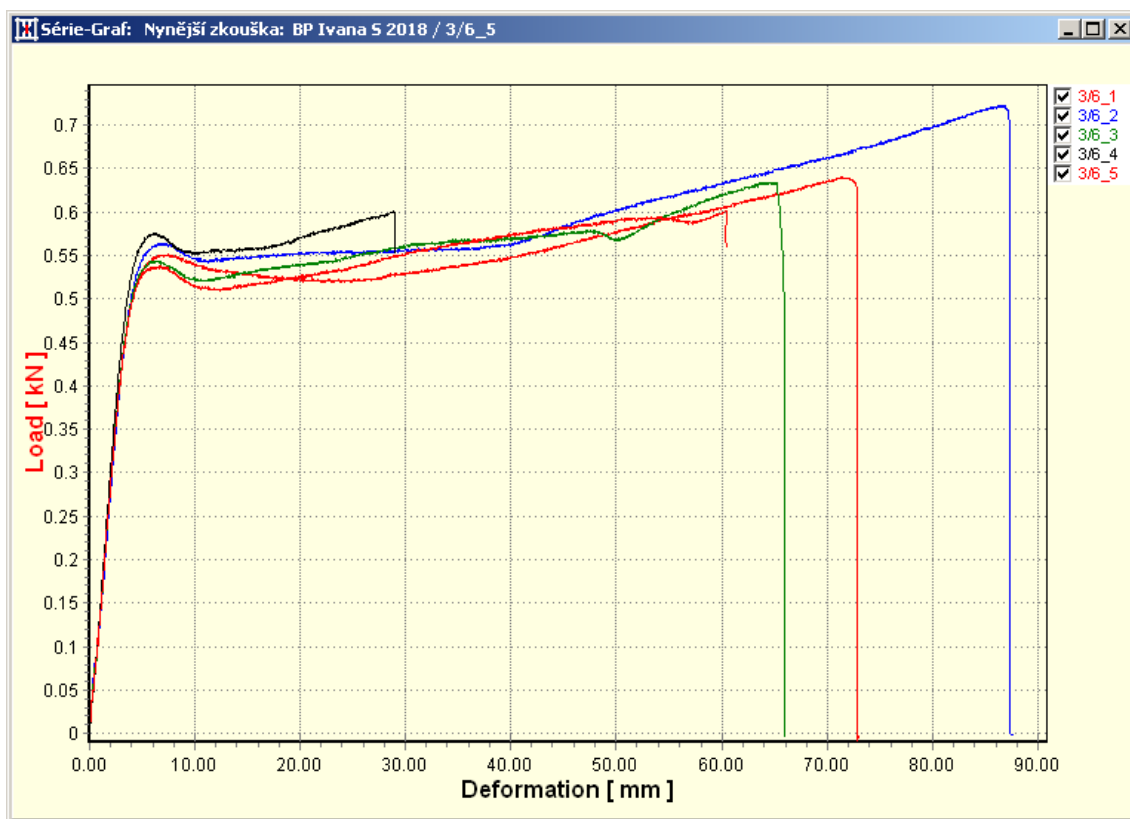
Hodnoty naměřené při trhání vzorku:

Vzorek	Naměřené hodnoty	
	síla F_y [kN] na mezi kluzu	síla F_b [kN] při přetržení
1	0,550	0,640
2	0,565	0,720
3	0,540	0,630
4	0,580	0,600
5	0,540	0,600

Vypočtené hodnoty pomocí vzorců uvedených v kapitole o tahové zkoušce:

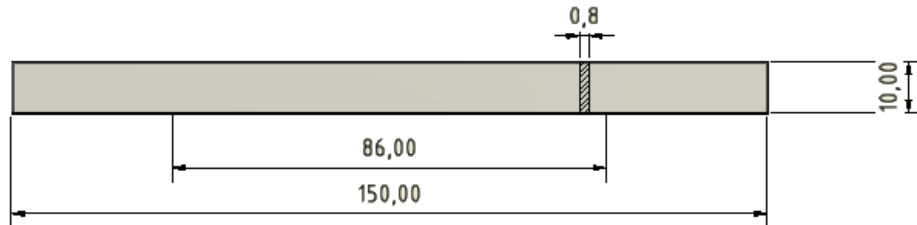
Vzorek	Vypočtené hodnoty						
	σ_y [MPa] na mezi kluzu	σ_b [MPa] při přetržení	průměrná hodnota σ_y [MPa]	průměrná hodnota σ_b [MPa]	Prodloužení vzorku ΔL [mm]	poměrné prodloužení ϵ_{tb} [%]	Průměrná hodnota poměrného prodloužení ϵ_{tb} [%]
1	68,8	80,0	69,4	79,8	71	83	73
2	70,6	90,0			87	101	
3	67,5	78,8			65	75	
4	72,5	75,0			29	34	
5	67,5	75,0			60	70	

Graf popisující chování tažených vzorků během zkoušky:



7.9 Vzorek 3/13

Rozměry vzorku:



$$A = 8 \text{ mm}^2$$

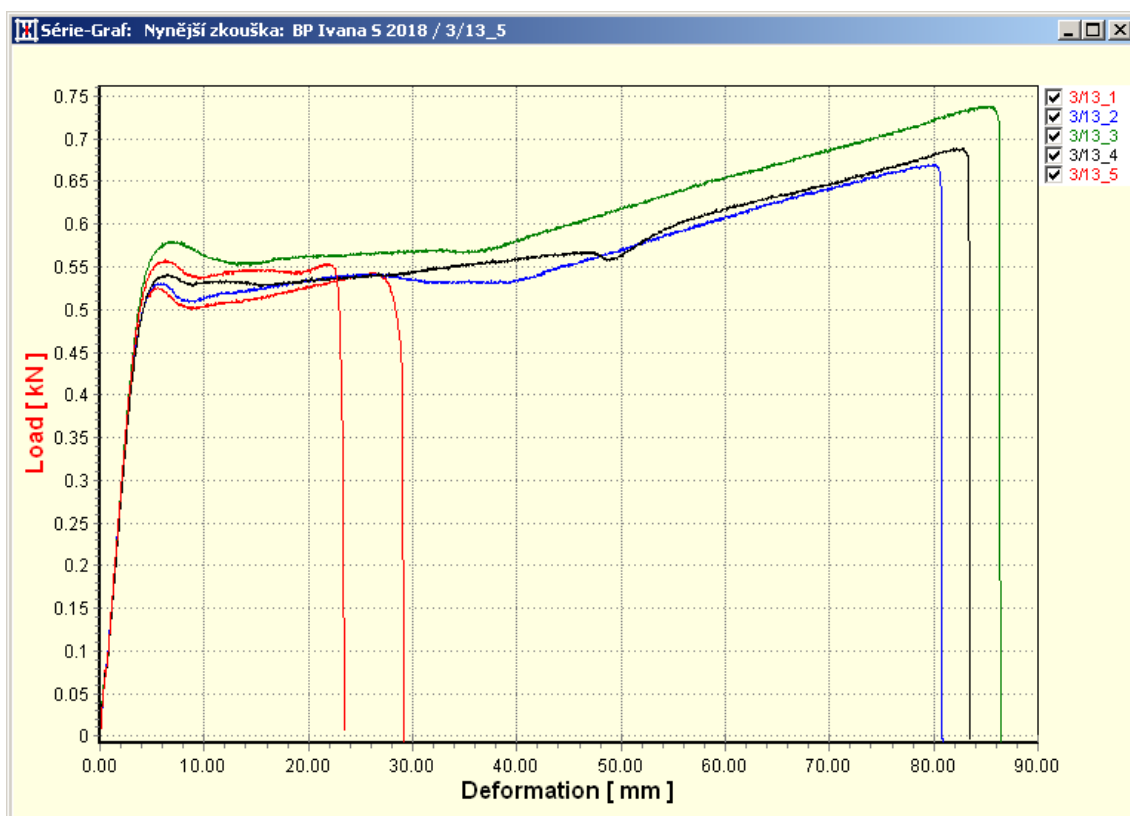
Hodnoty naměřené při trhání vzorku:

Vzorek	Naměřené hodnoty	
	síla F_y [kN] na mezi kluzu	síla F_b [kN] při přetržení
1	0,522	0,540
2	0,530	0,670
3	0,580	0,740
4	0,540	0,690
5	0,560	0,560

Vypočtené hodnoty pomocí vzorců uvedených v kapitole o tahové zkoušce:

Vzorek	Vypočtené hodnoty						Průměrná hodnota poměrného prodloužení ϵ_{tb} [%]
	σ_y [MPa] na mezi kluzu	σ_b [MPa] při přetržení	průměrná hodnota σ_y [MPa]	průměrná hodnota σ_b [MPa]	Prodloužení vzorku ΔL [mm]	poměrné prodloužení ϵ_{tb} [%]	
1	65,3	67,5	68,3	80,0	26	30	65
2	66,3	83,8			80	93	
3	72,5	92,5			85	98	
4	67,5	86,3			82	95	
5	70,0	70,0			6	7	

Graf popisující chování tažených vzorků během zkoušky:



8 Vyhodnocení parametrů technologického postupu dle výsledků z tahové zkoušky

Výsledné hodnoty jednoosé napjatosti jsem shrnula do následující tabulky, jež ukazuje napětí při nastavených parametrech procesu vyfukování. V tabulce se objevují pro jedno změřené napětí tři odlišné tloušťky stěny, které byly zjištěny v různých délkách kegu měřených od hrdla obalu.

	Označení vzorku	Napětí σ_b [MPa]	Tloušťka stěny [mm]		
			Na kusu dlouhém 150 mm	Na kusu dlouhém 260 mm	Na kusu dlouhém 380 mm
Proces 1	1/5	128	0,59	0,64	0,60
	1/6	83	0,59	0,64	0,61
	1/10	78	0,58	0,64	0,61
Proces 2	2/7	60	0,59	0,63	0,62
	2/14	86	0,58	0,64	0,60
	2/17	61	0,60	0,63	0,61
Proces 3	3/3	107	0,55	0,61	0,57
	3/6	80	0,55	0,61	0,58
	3/13	80	0,57	0,61	0,58



Při procesu 1 se průměrná hodnota napětí při přetržení rovnala 96 MPa, při procesu 2 se tato hodnota rovnala 77 MPa a při posledním nastavení 89 MPa z čehož vyplývá, že proces 3 by měl být optimální zlatou střední cestou vzhledem ke zjišťovaným parametrům.

Avšak při testování těchto vzorků byly provedeny ve firmě další dva testy – tlaková zkouška a zkouška napjatosti ve třech směrech, ze kterých vyplývá, že proces 1 a 2 vykazují též dobré výsledky vzhledem ke konečnému výrobku. Pro podložení tohoto argumentu jsem přidala tabulky s výsledky zmiňovaných zkoušek.

Skutečnost je podmíněná opět tím, že při nastavení neurčuje proces pouze 5 parametrů, na které bylo v bakalářské práci zacíleno, ale také již zmiňované ochlazování, vlhkost, přidané složky v materiálu, viskozitu, ale i mechanické faktory při samotného vyfukování jako házivost preformy během ohřívání a následně pak nekonstantní vzdálenost od ohřivačů, z čehož vyplývá i změna tloušťky v poměru k celkové délce vyfouknutého kegu.

Tlaková zkouška - burst test					
	Označení vzorku	Výsledný tlak [bar]	Tloušťka stěny [mm]		
			V délce 150 mm	V délce 260 mm	V délce 380 mm
Proces 1	1/1	10,89	0,59	0,64	0,60
	1/2	10,92	0,59	0,64	0,61
	1/4	10,90	0,58	0,64	0,61
Proces 2	2/4	11,28	0,59	0,63	0,62
	2/8	10,92	0,58	0,64	0,60
	2/15	10,90	0,60	0,63	0,61
Proces 3	3/5	11,25	0,55	0,61	0,57
	3/7	11,06	0,55	0,61	0,58
	3/9	11,62	0,57	0,61	0,58

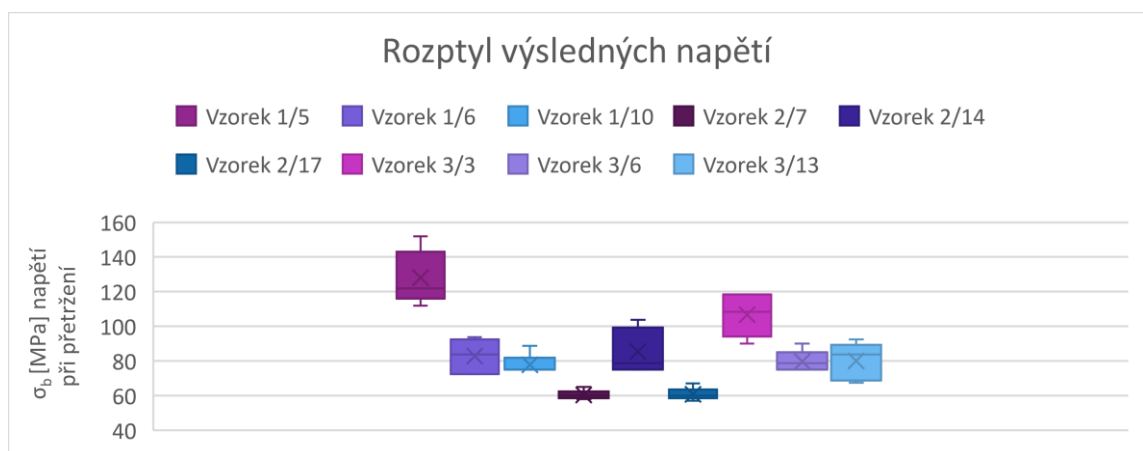


Zkouška odolnosti proti propíchnutí - puncture test					
	Označení vzorku	Výsledky zkoušky	Tloušťka stěny [mm]		
			V délce 150 mm	V délce 260 mm	V délce 380 mm
Proces 1	1/8	O.K.	0,59	0,64	0,61
	1/9	O.K.	0,59	0,64	0,61
	1/11	O.K.	0,59	0,64	0,61
Proces 2	2/1	O.K.	0,59	0,64	0,62
	2/6	O.K.	0,59	0,65	0,62
	2/9	O.K.	0,59	0,65	0,62
Proces 3	3/8	O.K.	0,56	0,61	0,58
	3/10	O.K.	0,56	0,62	0,58
	3/11	O.K.	0,56	0,61	0,58

Problémy s měřením a následným vyhodnocením mohly způsobit tyto faktory:

- proměnná tloušťka stěny, která byla proměřována vždy pouze u jednoho z pěti vzorků
- odebrání vzorku metodou stříhání, kdy nemusely být dodrženy přesné rozměry a rovnoběžnost vzorku
- upínání tělíška do trhacího stroje.

Pro statistické porovnání zkoušených vzorků od každého materiálu je přiložen graf v obrázku 29, který popisuje rozptyl výsledných hodnot napětí. Pokud by byla potřeba hodnoty zpřesnit, muselo by být použito větší množství vzorků a každý by musel být proměřen zvlášť.



Obrázek 29 Rozptyl výsledných napětí

9 Výsledný žebříček – etalon pro nastavení podmínek během vyfukování

Na základě tahové zkoušky materiálů nelze konkrétně určit parametry nastavení, které by jednoznačně vyhovovaly nejvíc, nebo byly nejlepší variantou při procesu vyfukování, jelikož se hodnoty závislé na procesu vyfukování průměrně liší pouze o 12%.

9.1 Výsledný žebříček nastavení

Pro docílení větší poměrné deformace, tedy houževnatějšího materiálu, ale méně pevného bych volila proces číslo 2, který udává průměrně nižší maximální sílu pro přetržení vzorku.

Pro docílení pevnějšího, ale méně deformovatelného materiálu vyhovují parametry nastavení při procesu číslo 1, kdy na přetržení vzorku musela být síla největší.

Průměrným procesem, jenž vykazuje snahu o vytvoření výrobku o vlastnostech jak houževnatých, tak i pevných je proces číslo 3.

10 Závěr

Bylo zmapováno využití PETP materiálu pro výrobu velkoobjemových nápojových obalů vyráběných ve firmě Petainer Czech Holding, s.r.o.

Byly posouzeny vlivy změn nastavení technologických parametrů stroje při technologii vyfukování s ohledem na vybrané vlastnosti výsledného produktu. A lze konstatovat tedy, že:

- Jednotlivé nastavení parametrů ovlivnilo napětí zjištěné na zkoušených vzorcích lišící se průměrně o 12% při porovnání průměrných hodnot.
- Při pohledu na výsledky jednoosé napjatosti by se dalo konstatovat, že nastavení stroje bylo optimální za těchto podmínek:

Proces 3	
Rychlost vyfukování	rychlá
Kadence stroje [kph]	300
Rychlost protahování trnu vzhledem k maximální kapacitě rychlosti [%]	80
Vnější teplota preformy [°C]	113
Vnitřní teplota preformy [°C]	125

Materiál se při procesu s označením 3 choval jak houževnatě, tak i pevně. Dané vlastnosti jsou pro výsledný produkt nejvhodnější v rámci zachování tvaru obalu a stálost po natlakování a plnění daným nápojem, a zároveň houževnatost je výhodná při přepravě a manipulaci.

- Při posuzování dalších testů na stejných nápojových obalech bylo zjištěno, že zbylé dva typy nastavení napomáhají dalším hledaným vlastnostem kegů, a proto je nelze označit jako nevýhodné.

Během zkoušení a zabývání se daným materiálem a procesem výroby bylo opakovaně zjištěno, že PETP materiál je velmi náchylný na změny okolí, ve kterém se právě nachází. Hlavními veličinami, kterými je ovlivňován i při malých změnách byly teplota a vlhkost. Odborníci zabývající se tímto problémem už několik let potvrzují, že mnohdy se snaží objevit stěžejní místa i v běžně nesledovaných parametrech, jež by mohly mít na diference vliv.

Při výrobě musí být sledováno několik desítek možných problémových činitelů, a tudíž se nedá jednoznačně určit proces nastavení, který by fungoval v každém závodu. Výsledným vodítkem, jak dosáhnout nejlepších výsledků musí být dlouholetá praxe, know how a denní flexibilita nastavování vyfukovacích strojů.

11 Použitá literatura

- [1] ČESKO. § 2 zákona č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 27. 2. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-477#p2>
- [2] ČURDA, Dušan a Jaroslav DOBIÁŠ. *Balení potravin* [online]. Praha, 2004 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://ukp.vscht.cz/files/uzel/0029134/c0rMSc07vFahIL-kKLEsMw8A.pdf?redirected>.
- [3] WILDMANNOVÁ, Dana. *Využití materiálu a energie u jednorázových a vratných PET lahví*. Praha, 2011. Bakalářská práce. ČZU.
- [4] KEG. *Svět-piva.cz* [online]. 2013, 6(1), 1 [cit. 2018-07-09]. Dostupné z: <https://www.svet-piva.cz/slovník-pivovarskych-pojmu/keg.html>
- [5] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Druhé. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [6] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. Praha: Nakladatelství BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3
- [7] Polyethylen. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-07-16]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen>
- [8] Polyethylentereftalát. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 16.1.2018 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylentereftalát>
- [9] Dokumenty firmy Petainer Czech Holding,s.r.o.
- [10] WILDMANNOVÁ, Dana. *Recyklát PET a jeho využití při výrobě vratných lahví*. Praha, 2013. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [11] The House equips Petainer for further expansion. *The House* [online]. 2014, 6(X), 1 [cit. 2018-07-16]. Dostupné z: <https://thehouse.pr.co/64603-the-house-equips-petainer-for-further-expansion>
- [12] Dle ústního sdělení odborníků firmy Petainer Czech Holding, s.r.o.
- [13] Autor bakalářské práce – Ivana Šetmaňuková
- [14] Keramika, kompozity, polymery. *FyzVlast3* [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/fmkomplet3.htm>

[15] *Nauka o materiálu I. a II.* Praha: ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-05550-2.

[16] *Statické zkoušky krátkodobé* [online]. In: . Univerzita Tomáše Bati, s. 23 [cit. 2018-06-27]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_09.pdf

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 Makromolekuly polymeru [6].....	15
Obrázek 2 Makromolekuly reaktoplastů [6].....	16
Obrázek 3 Termoplasty v různých variacích polymerních řetězců [6].....	17
Obrázek 4 Makromolekuly elastomeru [6].....	17
Obrázek 5 Strukturní vzorec PETP[8].....	18
Obrázek 6 Znak pro recyklovatelný obal [8].....	19
Obrázek 7 Logo [9].....	20
Obrázek 9 Logo Zero waste [9].....	20
Obrázek 8 Logo Jsme zelená firma [10].....	20
Obrázek 10 Granulát [13].....	21
Obrázek 11 Zařízení pro nasátí a doprava granulátu pomocí trubic [13].....	22
Obrázek 12 Sušák na granulát [13].....	23
Obrázek 13 Zásobníky na barvivo a aditiva [13].....	24
Obrázek 14 Pohled zespoda na extrudér [13].....	24
Obrázek 15 Ohříváč směsi v horní části fotografie, pod ním šnek, vpravo dole píst [13]	25
Obrázek 16 Sušička na Nylon PA6 [13].....	25
Obrázek 17 Hotové preformy (pivní kegy) [13].....	26
Obrázek 18 Ošetření preforem UV zářením [13].....	28
Obrázek 19 Preformy zajíždějící do pece [13].....	29
Obrázek 20 Vyfouknuté nápojové obaly [13].....	30
Obrázek 21 Portfolio víček.....	31
Obrázek 22 Brčka.....	31
Obrázek 23 Logo PetainerKeg.....	31
Obrázek 24 Výsledný produkt různých velikostí [13].....	32
Obrázek 25 Schématické zobrazení teplotní závislosti mechanických vlastností polymeru [14].....	37
Obrázek 26 Tvary zkušebních těles pro tahové zkoušky [16].....	40
Obrázek 27 Průběh deformace zkušební tělesa [14].....	40
Obrázek 28 Výkres Hybrid Keg [11].....	41
Obrázek 29 Rozptyl výsledných napětí.....	64