



Vliv stlačení na tažnost polyuretanové pěny pro odhlučnění

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3107R007 – Textilní marketing
Autor práce: **Patrik Luh**
Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.





Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3107R007 – Textile marketing
Author: **Patrik Luh**
Supervisor: doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Patrik Luh**
Osobní číslo: **T12000309**
Studijní program: **B3107 Textil**
Studijní obor: **Textilní marketing**
Název tématu: **Vliv stlačení na tažnost polyuretanové pěny pro odhlučnění**
Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- 1) Proveďte rešerši na téma polyuretanové pěny
- 2) Popište používané pěny ve firmě a způsob jejich zpracování
- 3) Navrhněte experiment s ohledem na výrobní program ve firmě pro určení vlivu stlačení na tažnost, vezměte v úvahu i délku relaxace
- 4) Experiment vyhodnoťte a navrhněte možnost využití závěrů

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

G. Ron Blair GR, Reynolds JI, Weierstall MD. Automotive Cushioning Through The Ages. Molded Polyurethane Foam Industry Panel, 2008

Ramasamy S, Hanafi I, Yamuna M. Effect of Rice Husk Powder on Compression Behavior and Thermal Stability of Natural Rubber latex Foam. BioResources, 8(3), 2013, 4258-4269


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.**
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání bakalářské práce: **27. září 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2016**



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 29. dubna 2016

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Tímto chci poděkovat panu doc. Ing. Vladimíru Bajzíkovi, Ph. D za vedení bakalářské práce a přínosné konzultace. Dále chci poděkovat firmě IAC Nové Zákupy za poskytnutí vzorků a možnost použití přístrojů pro vytvoření této práce a také svým kolegům z laboratoře za jejich odborné rady. Nakonec chci poděkovat rodině za velikou podporu po celou dobu mého studia na vysoké škole.

Anotace

Záměrem této bakalářské práce bylo zjistit vliv stlačení polyuretanové pěny používanou na výrobu zvukově izolačních dílů v automotive na tažnost při maximální síle a případné doporučení přidání stlačovacího, například kaladrovacího, stroje do výrobního procesu. V teoretické části jsou popsány typy syntetických pěn a rozdíly mezi nimi. Součástí je i popis výroby, hlavních složek, druhy a možnosti použití polyuretanových pěn. V praktické části je samotné řešení, jestli při zvyšování stlačení a následné relaxaci dochází k narůstání tažnosti při maximální síle a zkoumání krátkodobé a dlouhodobé relaxace pěny po stlačení.

Klíčová slova: Tažnost při maximální síle/pevnosti, prodloužení, vliv stlačení na tažnost polyuretanové pěny, syntetické pěny, relaxace PUR pěny

Annotation

Result of this bachelor thesis was to find out effect of compression to ductility in maximal strength of polyurethane foam using for production of acoustic insulation parts in automotive and potential recommendation to add compression machine to manufacturing process, for example calendaring machine,. In the theoretical part is described types of synthetic foams and differences between them. Element of this theoretical part is also description of produce, main ingredients, types and solutions of use polyurethane foams. In practical part we can find the answer to question, when with increasing of compression and follow-up relaxation have influence to increasing ductility in ultimate strength of foam and investigate short-term and long-term relaxation of foam after compression.

Keywords: Ductility in ultimate force/strength, elongation, effect of compression to ductility of polyurethane foam, synthetic foams, relaxation of PUR foam

Seznam použitých zkratek:

EPS	pěněný (expandovaný) polystyren
PE	polyethylen
PP	polypropylen
PVC	polyvinylchlorid
XPS	extrudovaný polystyren
PUR	polyuretan
PIR	polyisokyanurát
PES	polyester
PS	polystyren
PMMA	polymethylmethanakrylát
PA	polyamid
PAL	povrchově aktivní látky
UV záření	ultrafialové záření
MDI	methylenedifenyl diisokyanát, difenylmethan diisokyanát nebo methylen bifenyl izokyanát
TDI	toluen diisokyanát
HDI	hexamethylen diisokyanát
NDI	naftalen diisokyanát
HMDI	methylen cyklohexyl isokyanát
d_1	délka střední linie
d_2	délka vrchní linie

Seznam jednotek:

ρ	[kg/m ³]	objemová hmotnost
F	[N]	síla
F	[kN]	síla
v	[mm/min]	rychlost
d	[mm]	délka
d	[cm]	délka
S	[cm ²]	obsah
t	[°C]	teplota
A	[%]	tažnost

OBSAH

ÚVOD.....	11
TEORETICKÁ ČÁST	12
1. Syntetické pěny.....	12
1.1 Historie polyuretanových pěn.....	12
1.2 Typy syntetických pěn.....	12
2. Polyuretanová pěna.....	16
1.3 Suroviny PUR pěny.....	16
1.4 Druhy polyuretanových pěn.....	22
PRAKTICKÁ ČÁST	24
1. Použité přístroje.....	24
1.1 Trhací stroj.....	24
1.2 Digitální posuvné měřítko.....	25
1.3 Tloušťkoměr digitální Oditronic.....	26
2. Proces výroby dílů sendvičového typu.....	26
2.1 Pěnění.....	26
2.2 Vodorovné řezání pěny.....	30
2.3 Svislé řezání pěny.....	31
2.4 Krycí netkaná textilie.....	31
2.5 Lisování.....	32
3. Odběr a výroba zkušebních vzorků.....	34
4. Testování.....	38
4.1 Grafy tažnosti vs. síly.....	39
4.2 Tabulky maximálních tažností.....	44
5. Vyhodnocení výsledků.....	46
ZÁVĚR.....	52

ÚVOD

V dnešní době, kdy skoro každému výrobcí automobilu jde o snižování emisí výfukových plynů a s tím spojené snižování hmotnosti vozu, je i na jejich dodavatele kladen velký důraz na snižování hmotnosti dodávaných dílů. A proto se neustále vyvíjejí nové materiály, které mají mít nižší hmotnost při zachování nebo zlepšení svých funkčních vlastností. Jinak to není ani u výrobců textilních autodílů. A proto se dnes používají v automobilech textilní materiály, které bychom dříve v automobilech hledali jen těžko.

Stále častěji dochází k přechodu z vláknenných surovin na jiné formy, jako například na polyuretanové pěny. Pro jejich velice dobré izolační vlastnosti, ať už tepelné nebo protihlukové, se využívají v automotive jako výplně pro absorpci hluku od motoru, od kol atp. Tyto ve většině případech nežádoucí zvuky se snažíme co nejvíce eliminovat. Snižováním dochází ke zvyšování komfortu automobilu. Ten vůz, který je lépe odhlučňený, je více komfortní.

Polyuretanové pěny mají spoustu výhod, které budou popsány v této práci, ale také jsou náchylnější na okolní vlivy a parametry při výrobě (nebo v krátkém čase po výrobě). Tato pěna se používá na výrobu výplní sedaček a všude tam, kde je potřeba vyplnit prázdný prostor mezi plechovými částmi vozu, které by jinak mohly šířit hluk. Další využití je také na sendvičové typy dílů, kde na spodní i vrchní straně je tenký krycí materiál z netkané textilie a uprostřed je silnější vrstva z polyuretanové pěny (většinou 10 až 30 milimetrů). Tyto tři vrstvy se působením vysoké teploty a tlaku spojí v lisovacím stroji a vytvoří tak jeden díl. Jeden z důležitých vlastností, které je potřeba sledovat u této pěny je tažnost, což znamená, o kolik procent se zvýší při tahu materiálu od sebe délka oproti původní, než dojde k dosažení maximální síly. Čím je tažnější, tím je pěna více poddajná a nedochází ve výrobní fázi lisování ke vzniku trhlin pěny. Pokud vzniknou, výrobek, který by byl z velké části hotový, se může vyhodit a musí se recyklovat. Tato bakalářská práce bude zaměřena právě na tažnost polyuretanové pěny, používaná na výrobu sendvičových textilních autodílů. Cílem bude zjistit, zda existuje nějaká závislost neboli vliv stlačení této pěny o určitou délku oproti původní tloušťce na tažnost. Pokud by tu byla závislost, mohl by se do výrobního procesu implantovat krok

stlačení pěny, například na kalandru, a tím by se zamezilo velké zmetkovosti u náročnějších dílů s velkými ohyby a natahováním, kde největší příčina vzniku špatných kusů je právě prasknutí pěny. Sice by bylo potřeba investovat do nákupu nového kalandrovacího stroje, ale v delším časovém horizontu by se investice vrátila jak na efektivnějším využití lisovacích strojů, obsluhy, tak i na sníženém množství odpadů vznikající ze zmetků, které se musí recyklovat.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Syntetické pěny

1.1 Historie polyuretanových pěn

První porézní polymer vytvořili vědci Schidrowitz a Goldsbrought už v roce 1914 z přírodního latexového koncentrátu. Svoji strukturou se podobal houbě na nádobí. [1] Bylo by dobré si připomenout jméno Otto Bayer, který v roce 1931 vyvinul první syntetickou pěnu, přesněji extrudovaný polystyren a o 6 let později objevil polyadiční proces diisokyanátu, ze kterého je výsledný produkt polyuretanová pěna. A proto je tento chemik přezdívaný jako otec polyuretanového průmyslu. [2,3] Počátky použití této pěny sahají do 2. světové války, kdy nahradila těžší pryž. Po konci války se začaly vyrábět různé varianty podle druhu svého užití. Dnes je možné najít tento materiál všude okolo nás, ať už v automobilech - volanty, přístrojové desky, sedadla, tapacírunky, v nábytkářství - výplň židlí, gaučů a křesel, matrace a tak dále. [3]

1.2 Typy syntetických pěn

Syntetické pěny můžeme rozdělit podle druhu výroby (extrudací taveniny a následné přidání zpěňovadel, výroba běžného polystyrenu EPS, vzájemnou reakcí chemických látek za vzniku plynu), podle tepelné vratnosti (termoplastické, pěny z termosetů) nebo podle buněčné struktury (pěny s otevřenou, uzavřenou strukturou).

- **Podle druhu výroby**

Extrudací taveniny a následné přidání zpěňovadel - látky podporující vznik plynu jsou rozmíchány v polymeru a jejich uvolňování plynu je ovládáno buď snížením tlaku nebo zvyšováním teploty. Do tohoto druhu výroby patří výroba pěny z polyethylenu (PE), polypropylenu (PP), polyvinylchloridu (PVC) nebo extrudovaného polystyrenu (XPS). [4][5]

Běžný polystyren (EPS) je vyrobený z malých kuliček, které zvýší svůj objem 40krát, díky přidání malého množství pentanu (nadouvadla) za současného foukání teplého vzduchu, který začne vařit nadouvadlo a vytvoří uzavřenou strukturu. Poté je materiál ochlazen tekutým pentanem, čímž vznikne částečný vakuum uvnitř kuliček. Následuje proces zrání, kdy se materiál stabilizuje po dobu přibližně dvaceti hodin. A nakonec jsou stabilizované kuličky znovu ohřáty ve formě, kde vzniká finální tvar materiálu (většinou velké kvádry). Výsledný produkt obsahuje 98% vzduchu. [6]

Vzájemnou reakcí chemických látek za účelem vzniku plynu, které vytváří svým uvolňováním vzduchové mezery a tím i porézní strukturu. Do tohoto druhu výroby patří polyuretanové pěna (PUR), polyisokyanurátová pěna (PIR) a fenolická pěna. [7][8]

- **Podle tepelné vratnosti**

Termoplastické pěny jsou takové, které se po dosažení vyšších teplot stávají tvárné, viskoelastické. Příkladem těchto pěn je polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyester (PES), polystyren (PS), polymethylmethanakrylát (PMMA), polyvinylchlorid (PVC) nebo polyamid (PA). Jsou to polymery, které obsahují lineární makromolekuly s dlouhým řetězcem. Tyto řetězce drží pospolu pouze mezimolekulárními silami, které při zahřátí slábnou a dochází k měknutí materiálu. Využití těchto pěn je mnoho. Polyethylenové pěny se používají jako balící materiál pro elektroniku, sklo, porcelán,

automobilových dílů znázorněn na obrázku 1, jako výplň chráničů pro sportovní vybavení nebo jsou často využívány jako izolace trubek topení, znázorněn na obrázku 2. Pěna z polypropylenu má vysokou odolnost proti opotřebení. Cena výroby polyethylenových a polypropylenových pěn je nižší než výroba polyesterových. [9]



Obrázek 1 – Balící materiál z PE pěny



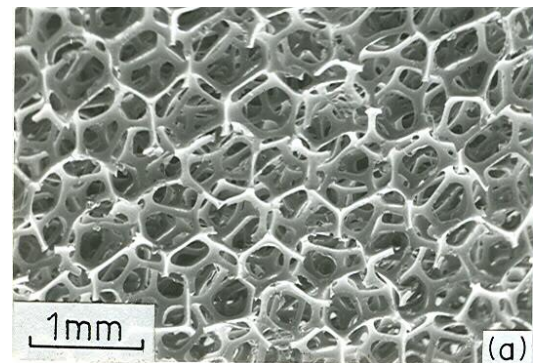
Obrázek 2 – Izolace trubek topení z PE pěny

Pěny z termosetů (reaktoplastů) se při zvyšování teploty nestávají tvárné, viskoelastické. Vytváří se zesíťováním vlivem tepla a tlaku. Mezi termosety používané pro výrobu pěny patří polyisokyanurát (PIR) a polyuretan (PUR). Polyisokyanurátová pěna (PIR) je více ohnivzdorná a proto se používá tam, kde jsou kladeny vysoké nároky na odolávání proti vysokým teplotám nebo tam, kde by mohlo dojít k požáru. PIR můžeme najít jako hlavní izolační vrstvu v bojlerech. PUR má své specifické použití jako izolační vrstva v ledničkách a mrazácích. PUR pěna se prodává i ve formě spreje. Po nastříkání tenkého filmu začne bobtnat a vytvoří rovnoměrnou vrstvu. Tento typ užití je vhodný na špatně dostupná místa, která by jiným způsobem nemohla být izolována. Obecně se tyto materiály používají v mnoha odvětvích jako výborný izolant. Z chemického hlediska je rozdíl mezi PIR a PUR pěnou takový: "Materiál PIR je tvořen kombinací uretanových a isokyanurátových vazeb, zatímco PUR obsahuje především uretanové vazby. Na rozdíl od materiálu PUR se při výrobě PIR uplatňují kromě

přebytečného izokyanátu také polyesterové polyoly, které zapadají do jeho prstencové struktury." [10] A proto mají PIR pěny lepší izolační vlastnosti, stabilitu rozměrů a pevnost v tlaku. Kvůli své podobnosti se často tyto 2 typy pěn slučují do jednoho pojmenování PUR/PIR pěny. [11]

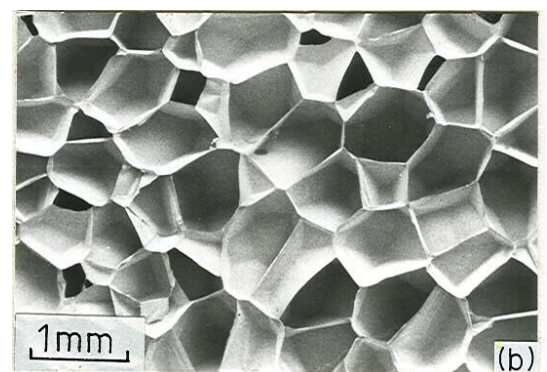
- **Podle buněčné struktury**

Pěny s otevřenou strukturou - buněčné stěny jsou neúplné a vzduch může proudit skrz materiál. Mají menší pevnost v tahu, protože je zde méně buněčných spojení. Využívají se spíše na pohlcení nárazů, vibrací a nebo tam kde je zapotřebí porézní materiál pro propustnost vody (závisí na velikosti pórů a povrchovém napětí), páry nebo vzduchu. Pěna s otevřenou strukturou je znázorněna na obrázku 3.



Obrázek 3 – Pěna s otevřenou strukturou

Pěny s uzavřenou strukturou - buněčné stěny nejsou narušeny a vzduch v těchto buňkách je v podstatě ten, který vznikl při použití látky podporující tvorbu plynu (nadouvadla). Větší množství spojení, neboli více propojených buněčných stěn, dodává materiálu větší pevnost a snižuje tepelnou vodivost. Nevýhoda může být vyšší spotřeba surovin a tím pádem i vyšší cena a vyšší hustota. Pěna s uzavřenou strukturou je znázorněna na obrázku 4[12][13].



Obrázek 4 – Pěna s uzavřenou strukturou

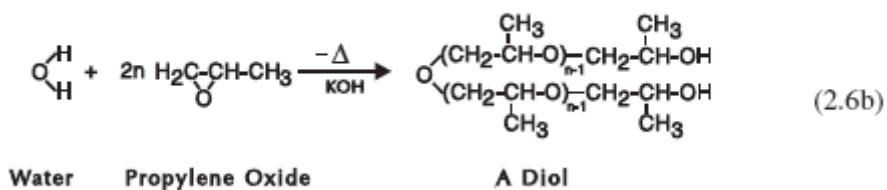
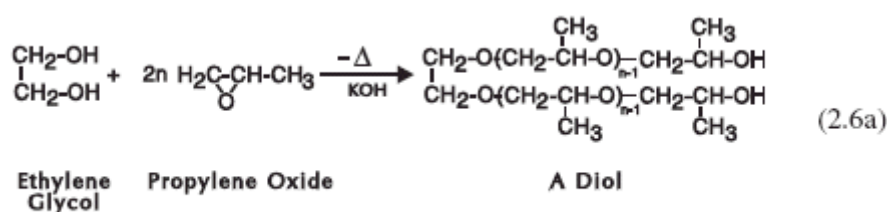
2. Polyuretanová pěna

1.3 Suroviny PUR pěny

Polyol

Je směs vícesytných alkoholů, aktivátorů, katalyzátorů, retardérů hoření a vody. Může obsahovat také povrchově aktivní látky (tenzidy), barvicí látky (pigmenty, barviva), nebo nadouvadla. Hlavní složka polyolové směsi je polyol nebo směs několika polyolů. V této směsi se mohou vyskytovat polyoly s odlišnou molekulární hmotností. Jsou to molekuly alkoholů s rozsáhlými strukturami. Polyolová složka tvoří alespoň 70% hmotnosti polyolové směsi. Je založen na polyetherech získané reakcí mezi iniciátorem a propylenoxidem, oba získané z petrochemických zdrojů. Ale kvůli obavám z životního prostředí a nestabilní ceně ropy se pracuje na hledání alternativních zdrojů. Nyní je možné vyrobit polyol z řepkového, palmového, sójového nebo ricínového oleje. [16]

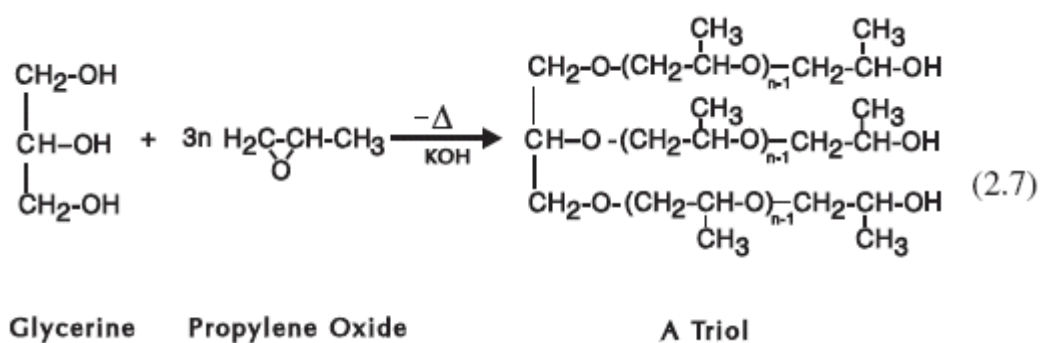
Polyol je vytvořený reakcí organického oxidu (například propylenoxidu) a iniciátoru obsahující dva a více aktivních vodíkových atomů.



Obrázek 5 – Reakce vzniku polyolu - diolu

U reakce 2.6a, zobrazena na obrázku 5, je použit jako organický oxid propylenoxid a jako iniciátor ethylenglykol, u kterého aktivní atom vodíku v hydroxylové skupině (OH) poskytne připojení propylenoxidu. Výsledný polyol je diol, protože obsahuje dvě funkční hydroxylové skupiny v molekule.

U reakce 2.6b, zobrazena na obrázku 5, je jako iniciátor voda, kde každý vodík iniciátoru poskytne připojení propylenoxidu také za vzniku diolu.



Obrázek 6 – Reakce vzniku polyolu - triolu

U reakce 2.7, zobrazena na obrázku 6, je jako iniciátor použit glycerin, kde aktivní atom vodíku v hydroxylové skupině poskytne připojení propylenoxidu. Výsledný polyol je triol (tři funkční hydroxylové skupiny v molekule). Tyto reakce jsou exotermické.

Jako iniciátor můžeme použít i jiné látky například 1,2-Propylenglykol, Trimethylolpropan, Ethylendiamin, Diethylendiamin a další. Důležité znaky polyolu jsou funkčnost (počet reaktivních hydroxylových skupin na molekulu), ekvivalentní hmotnost (podíl mezi molekulovou hmotností a funkčností). Polyolová molekulární hmotnost, funkčnost a reaktivita závisí na výběru organického oxidu a iniciátoru.

V polyolu mohou být obsaženy i katalyzátory. Jsou to aminy nebo různé kovové katalyzátory. Tyto látky mohou mít za příčinu dýchací potíže, oční nebo kožní podráždění. Některé aminové katalyzátory mohou zapříčinit trvalý zánět kůže (dermatitida) nebo leptání pokožky. Výpary aminových katalyzátorů mohou zapříčinit nezaostřený zrak nebo světelné kruhy okolo ostrého světla. Tyto problémy jsou

dočasné. Avšak každý katalyzátor se může lišit podle druhu použití. Odběratelé PUR složek většinou nechtějí mít zvlášť katalyzátor a proto je obsažen v polyolové složce (méně než deset procent hmotnosti). Výhodou je snížení nebezpečí spojené s katalyzátorem.

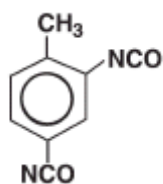
Je několik druhů silikonových povrchově aktivních látek (PAL), které dokážou změnit strukturu finální pěny. PAL obsahují pouze málo nebo vůbec žádné jedy. Avšak mohou podráždit kůži, oči nebo dýchání. Obsah těchto látek ve směsi polyolu je do dvou procent.

Barviva jsou obsažená v polyolu do jednoho procenta. Používají se pigmentové pasty, barviva nebo disperze.

Nadouvadla (látky podporující vytváření plynu) se v polyolu používají fluorované uhlovodíky, uhlovodíky, tekutý oxid uhličitý, aceton nebo voda, která reaguje s isokyanátem. Je důležitá dobrá ventilace, protože při reakci vzniká oxid uhličitý, který spotřebovává dostupný kyslík ve vzduchu. To může mít za následek zhoršené dýchání. [15]

Isokyanát

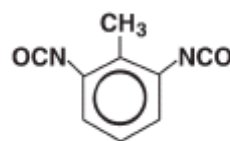
Jsou látky, které obsahují alespoň jednu isokyanátovou funkční skupinu $R-N=C=O$. Tato funkční skupina se tedy skládá z jednoho dusíku, uhlíku a kyslíku. Vyznačují se vysokou reaktivitou s látkami obsahující aktivní vodík (například voda, aminy nebo látky obsahující hydroxylovou skupinu). Mohou obsahovat jak aromatické uhlovodíky, které se vyznačují rychlejší reakcí s polyolem, ale vlivem UV záření žloutne nebo alifatické uhlovodíky, u kterých je reakce pomalejší s nutností použití katalyzátorů, ale jsou stabilnější vůči UV záření. Příklady isokyanátu jsou: methylenedifenyl diisokyanát, difenylmethan diisokyanát, methylen bifenyl isokyanát (označované jako MDI), toluen diisokyanát (TDI), zobrazen na obrázku 7 a 8, hexamethylen diisokyanát (HDI). Další používané jsou naftalen diisokyanát (NDI), methylen cyklohexyl isokyanát (HMDI) a isoforon diisokyanát.



2,4 Toluene Diisocyanate

Obrázek 7

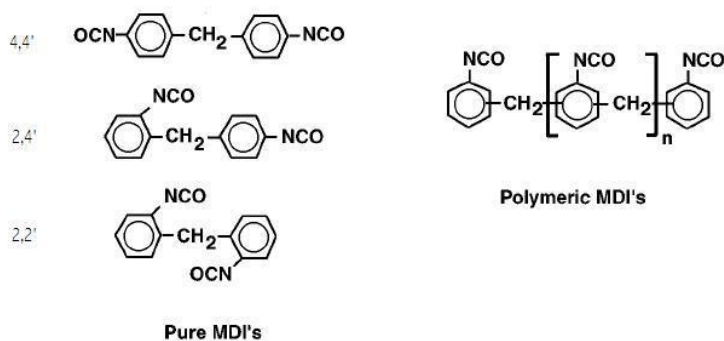
2,4 Toluen Diisokyanát



2,6 Toluene Diisocyanate

Obrázek 8

2,6 Toluen Diisokyanát



Obrázek 9 – Methylenedifenyl diisokyanát

4,4 - methylenedifenyl diisokyanát, zobrazen na obrázku 9, se používá pro výrobu tvrdých pěn s dobrou tepelnou izolační schopností (ledničky, mrazáky, izolace budov). Je vyráběn z anilinu, formaldehydu a fosgenu. [17]

Isokyanáty jsou vysoce reaktivní, jedovaté, nebezpečné pro živé tkáně a vystavení lidskému tělu vdechováním může způsobit syndrom hypersenzitivitu plic [18], což je nemoc plic, ke které dochází při vdechování plísní, prachu nebo chemikálií. Avšak je mnoho lidí, kteří dýchají tyto látky a nevyvolává to u nich tuto nemoc. Plíce obsahují mnoho vzduchových váčků (nazývané alveol), na které jsou napojeny malé krevní cévy (nazývané kapiláry). Při nadechnutí dochází k příjmu vzduchu do vzduchových váčků, kde se přes jejich stěny dostane do krve přes kapiláry. Tímto způsobem dochází k okysličování krve pro celé tělo. Syndrom hypersenzitivitu plic způsobí zanícení vzduchových váčků, které se mohou plnit kapalinou, čímž dochází k horšímu okysličení krve. Jsou dva typy této nemoci - akutní a chronická. Akutní nastává při 2 - 9 hodinovém vystavení těla látce, způsobující syndrom. Projeví se zimnicí, kašlem, tlaku na hrudi a bolestí těla. Při přerušení kontaktu s těmito látkami by měly příznaky zmizet. Při chronickém onemocnění dochází k pomalému nástupu příznaků

(několik měsíců), mezi které patří zhoršující se kašel, únava a ztráta tělesné hmotnosti. Občas dojde k dlouhodobému poškození plic, kdy tkáně v plicích odumřou nastálo. [19] [20]

Přímý kontakt isokyanátu z pokožkou může způsobit zánět. Aby nedocházelo k těmto zraněním, je doporučeno zacházet s těmito látkami v uzavřených systémech a dobře odvětrávaných prostorech. [21]

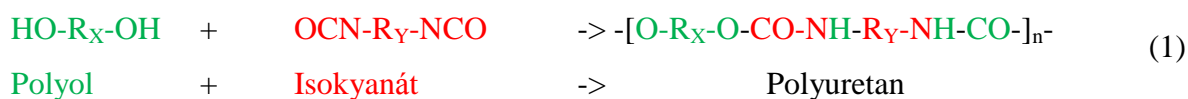
Reakce

Polyuretan je komplexní polymer obsahující uretanovou skupinu R-NH-(C=O)-O-R'. Tato vazba vznikne exotermní reakcí dvou hlavních složek. Složka A - Polyol a složka B - Isokyanát. U isokyanátu je důležitá reaktivita s iniciátorem. U polyolu počet poskytnutých funkčních hydroxylových (OH) skupin. [14]

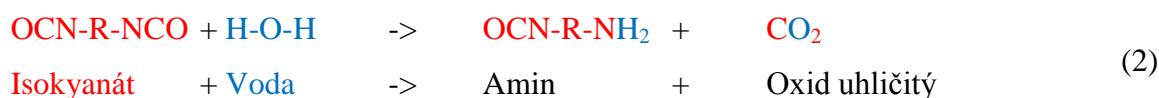
Části reakce

Tvorba polyuretanové pěny se skládá ze 3 základních reakcí.

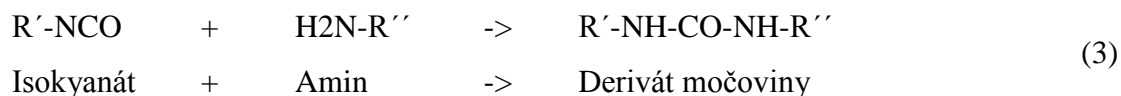
Tvoření hmoty



Tvoření plynu

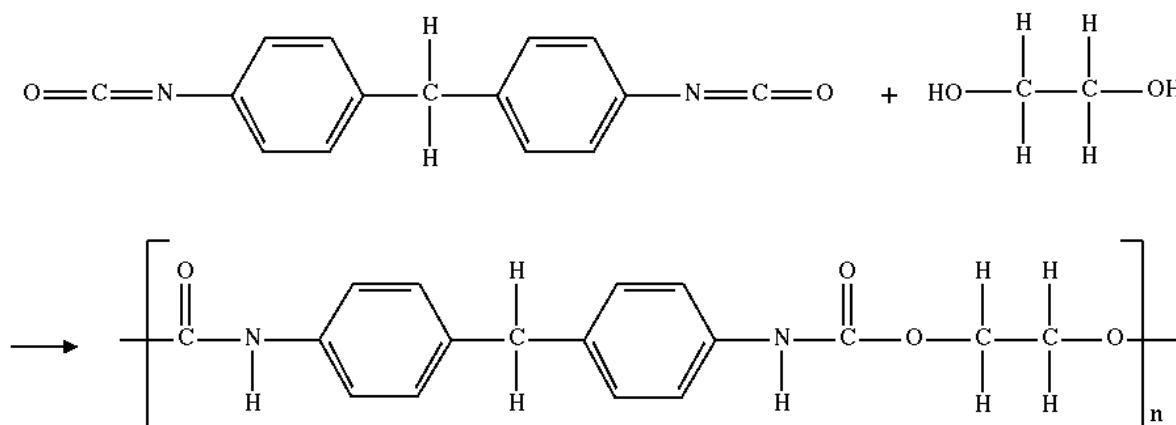


Vznik vedlejšího produktu



Polyol reaguje s isokyanátem za vzniku polyuretanového polymeru (1). Reakcí isokyanátu s vodou vzniká amin a oxid uhličitý, který působí jako nadouvadlo a zapříčiní vznik vzduchových bublin uvnitř materiálu, formování buněčné struktury a růst pěny (2). Mezi vedlejší produkt vzniku polyuretanové pěny je derivát močoviny (3).

Polyuretanová pěna je vytvořena z reakce di-isokyanátu (dvě funkční skupiny na molekulu, zobrazena na obrázku 10) nebo poly-isokyanátu (více funkčních skupin na molekulu) s polyolem.



Obrázek 10 – Proces tvoření PUR pěny

Pokud má polyol menší molekulovou hmotnost (kratší řetězec), bude mít finální polyuretanová pěna užší síť a tím pádem bude i tvrdší. V opačném případě, pokud má polyol větší molekulovou hmotnost (delší řetězec), bude mít finální polyuretanová pěna širší síť a bude pružnější.

Zesítnění, plynná reakce a částečná pevnost je v závislosti na mísicím poměru většinou hotová do 100 sekund, ale typické pevnosti na 90 - 98 % dosáhne až po 24 hodinách. Tudíž pěna stále ještě "pracuje" minimálně 24 hodin po výrobě.

1.4 Druhy polyuretanových pěn

Polyuretanové pěny patří mezi pěny z termosetů. Tak jako syntetické pěny můžeme i polyuretanové dělit na pěny s otevřenou a uzavřenou strukturou. Avšak důležitějším aspektem je tuhost. Proto je dělíme na:

Měkké pěny

Známé jako molitan. Při výrobě těchto pěn je důležité, aby měl výsledný polymer dlouhé a elastické řetězce. Proto mají polyoly poměrně malé hydroxylové číslo. Mezi měkké pěny řadíme vysokoelastické, normální a viskoelastické. Vysokoelastická pěna, nazývána také jako studená pěna (HR z anglického High Resilience) má více otevřenou strukturu (je více porézní) a proto má větší prodyšnost. Má dobrou tvarovou stálost a elastické vlastnosti. Má využití jak ve výrobě matrací, tak i ve výrobě čalounického a koženého nábytku. Normální pěna je hojně používaná na výrobu matrací, čalouněného nábytku ale i sportovního vybavení (například chráničů) a to díky svým tepelně-izolačním vlastnostem, prodyšnosti, pevnosti a trvanlivosti. Poslední z druhu měkkých pěn je viskoelastická. Ta je zajímavá svými vlastnostmi. Při zvyšování teploty a tlaku pěna měkne a dochází ke snížení odporu proti stlačení. Díky této vlastnosti se používá na výrobu vysoko komfortních matrací vhodné i pro pacienty, které jsou dlouho opoutány na lůžko a mohly by u nich vznikat proleženiny, které jsou typické tím, že dojde ke zhoršení průtoku krve na místě těla, kde je vytvářen dlouhodobý vysoký tlak. Tyto matrace jsou schopny velice dobře rozložit hmotnost pacienta a tím minimalizovat vznik proleženin. [22]

Polotvrdé

Nejsou přesně určené hranice, kdy do které skupiny jaká pěna patří podle tvrdosti. Tento aspekt závisí nejvíce na poměru a typu dvou hlavních složek. Často se do této skupiny řadí díly do automobilů, jako například sedačky, podložky pod koberec, přístrojové desky, volanty, čalounění dveří, absorbery hluku - motorového prostoru, prostoru pro posádku i kufru vozu. V obuvnictví se z této pěny vyrábí

podrážky. Jsou vyráběny buď jako vstříkované díly a nebo je zde použita polyuretanová pěna z nařezaného bloku jako polotovar pro výrobu konečných dílů. [23]

Tvrdé pěny

Jsou specifické nízkou tepelnou vodivostí (druhý nejlepší izolant po vakuu), trvanlivostí, odolností proti okolní vlivům (kromě UV záření - při dlouhodobé vystavení slunečnímu svitu žloutnou), vysokou pevností v tlaku a nízkou objemovou hmotností. Typická hustota se pohybuje okolo 30 kg/m^3 a obsahuje více než 97% vzduchu a pouze 3% polyuretanového polymeru. Mají využití především ve stavebnictví jako výborný izolant. Tyto polyuretanové pěny mohou být jak vstříkovány (izolace ve spreji vhodná na výplň oken, vnitřní části střech) nebo použity jako polotovar z zařezaného bloku (izolační desky mezi zdmi, desky na izolaci podlah, střech). Tyto pěny můžeme najít také jako hlavní tepelně-izolační vrstvy v ledničkách, mrazácích, bojlerech, ve vodních, olejových i naftových potrubích. Během vytváření pěny při reakci polyolu s isokyanátem je polyuretanová pěna velice přilnavá k mnoha materiálům, kde síla přídržnosti PUR pěny k tomuto materiálu je často vyšší jak samotná vnitřní pevnost pěny. Tudíž při pokusu o oddělení pěny od materiálu dojde k trhlině uvnitř pěny, nikoliv k oddělení od materiálu. Samotná tvrdá polyuretanová pěna je hořlavá, ačkoliv lze upravit vznícení i samotnou míru hořlavosti v závislosti na druhu použití. Avšak pro dosažení nejnižší míry hořlavosti je lepší použít polyisokyanurátovou (PIR) pěnu. [24]

PRAKTICKÁ ČÁST

Test bude probíhat vždy na čtyřech vzorcích z jednoho přířezu pěny. Přířez pěny znamená rozříznutí bloku PUR pěny na určitou tloušťku. Vzorky budou z přířezu odebrány ve stejné vzdálenosti od středu i krajů přířezu, aby měly co možná nejmenší odchylku ve vlastnostech. Je známo, že například hustota středu pěny přířezu je o něco vyšší jak na okrajích. První typ vzorků bude ponechán beze změny, druhý bude stlačen na 25% své původní tloušťky, třetí na 50% své původní tloušťky a čtvrtý na 75% své původní tloušťky. Bude nás zajímat, jestli s rostoucím stlačením pěny se bude zvyšovat (nebo snižovat) tažnost a dále kritická minimální hodnota tažnosti, pod kterou by používaná polyuretanová pěna neměla být, jinak by mohlo dojít ke vzniku praskliny na díle v inkriminované části s největšími požadavky na tažnost. U první části vzorků bude pozorován vliv stlačení na tažnost po krátkém čase, tj. po jedné hodině od stlačení, a druhá část vzorků bude měřena po delším čase, tj. po 24 hodinách od stlačení. Dále bude měřena návratnost (relaxace) pěny po jedné hodině a 24 hodinách po stlačení.

1. Použité přístroje

1.1 Trhací stroj

Tento přístroj, zobrazen na obrázku 11, slouží k měření dvou typů - odtrhu nebo stlačení. V prvním případě měří pevnosti v tahu, tažnosti, sílu odtrhu. Ve druhém případě k měření pevnosti v tlaku. Používaný přístroj je Hounsfield H10kS s nejnovější verzí programu Tinius Olsen. Maximální zatížení stroje je 10kN, maximální rozpětí 1100 mm, rychlost od 0,001 do 1000 mm/min, avšak program umí zaznamenávat až od rychlosti větší nebo rovno 10 mm/min, tudíž je rozpětí rychlostí omezeno na 10 - 1000 mm/min. Rozsah měřícího přístroje a



Obrázek 11 - Trhací stroj

jeho přesnost je také závislá na použité výměnné měřicí hlavě. Použitá měřicí hlava je konstruována na maximální zatížení 10kN s přesností $\pm 0,5\%$, od 2% do 100% zatížení. V tomto případě je tedy přesnost $\pm 0,5\%$ od síly 200N. Je možné měřit mnoho materiálů jako například plasty, dřevo, pěnové materiály, papír, jídlo atd. Možné použít jak manuální, pneumatické čelisti pro uchycení vzorku vhodné pro měření pevnosti v tahu, nebo vodorovné hliníkové desky čtvercového tvaru o šířce 120 mm na měření stlačení. K trhacímu přístroji je připojen také laserový průtahoměr fungující na principu vyhodnocování vzdálenosti odražených reflexních bodů mezi sebou. Přesnost tohoto přídatného zařízení je 1% na 25 mm délky vzorku a za jednu sekundu zaznamenává 320 vyhodnocení.

1.2 Digitální posuvné měřítko

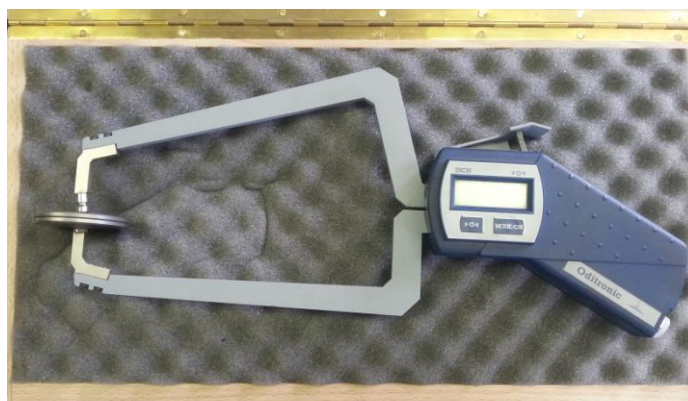
Slouží k měření vzdálenosti. Použité posuvné měřítko, zobrazené na obrázku 12, v této práci je od firmy Mitutoyo, která se výrobou těchto nástrojů zabývá více jak 30 let. Přesnost měření je $\pm 0,02$ mm. Je vybaven elektromagnetickým snímačem absolutní hodnoty a snímačem aktuální pozice. Díky absolutnímu snímači hodnoty není nutný návrat na výchozí pozici po zapnutí přístroje a také není možné vlivem vysoké rychlosti odtažení přetočit snímač a zhoršit tím přesnost měření.



Obrázek 12 – Digitální posuvné měřítko

1.3 Tloušťkoměr digitální Oditronic

Byl použit tento digitální tloušťkoměr, zobrazen na obrázku 13, od firmy Kroepelin – Längenmesstechnik, který je vhodný na měření pěnových materiálů a fólií, hlavně díky svému poměrně velkému rozpětí čelistí, které je od 0 do 50 mm. Má dvě styčné plochy kruhovitěho tvaru o průměru 50 mm a plochou 19,64 cm². Tyto dvě plochy působí silou od 0,8 – 1,7 N proti sobě. Maximální přípustná chyba je 0,08 mm. Zkoušený vzorek je vložen mezi ně a je stlačován mírným přitlakem. Na displeji se zobrazuje vzdálenost dvou ploch, což je tloušťka vzorku.



Obrázek 13 – Digitální tloušťkoměr

2. Proces výroby dílů sendvičového typu

Bude popsán výrobní proces dílu sendvičového typu složený z krycích netkaných textilií a polyuretanové pěny. Výrobní proces těchto dílů můžeme rozdělit do tří základních částí – pění, řezání polyuretanové (PUR) pěny a lisování.

2.1 Pění

Je vytváření objemné suroviny s výbornými izolačními vlastnostmi. Při správném procesu pění má tato polyuretanová pěna velmi dobré akustické vlastnosti, čímž zabraňuje, neboli pohlcuje šíření zvuku. Je dobré také zmínit velice nízkou tepelnou vodivost tohoto materiálu (druhá nejlepší hodnota hned po vakuu), díky čemuž se využívá v mnoha odvětvích. Ve stavebnictví se z ní vyrábí izolační vrstvy zdí, vnitřní části střech. V porovnání například s extrudovaným polystyrenem může být použita

v případě PUR pěny dvakrát slabší vrstva při zachování stejných tepelných izolačních vlastností. Další příklad využití je jako hlavní izolační vrstva v mrazácích, ledničkách i bojlerch.

Pro přehlednost jsou zopakovány reakční rovnice vzniku polyuretanové pěny.

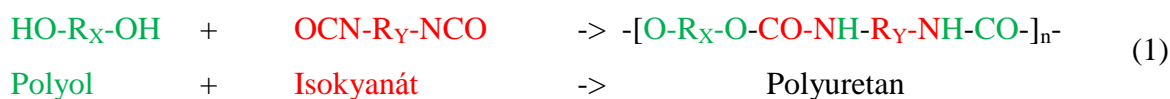
Reakce

Polyuretan je komplexní polymer obsahující uretanovou skupinu $R-NH-(C=O)-O-R'$. Tato vazba vznikne exotermní reakcí dvou hlavních složek.

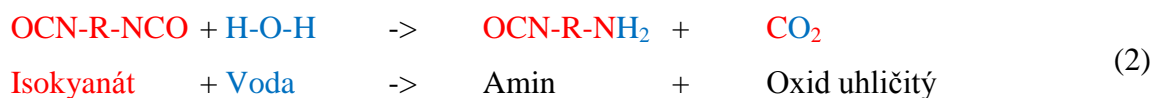
Části reakce

Tvorba polyuretanové pěny se skládá ze 3 základních reakcí.

Tvoření hmoty



Tvoření plynu



Vznik vedlejšího produktu



Polyol reaguje s isokyanátem za vzniku polyuretanového polymeru. Reakcí isokyanátu s vodou vzniká amin a oxid uhličitý, který působí jako nadouvadlo a zapříčiní vznik vzduchových bublin uvnitř materiálu, formování buněčné struktury a růst pěny. Mezi vedlejší produkt vzniku polyuretanové pěny je derivát močoviny.

Dvě základní složky PUR pěny jsou neustále temperovány při teplotě 25°C (i při dopravě od dodavatele složek) a míchány, jinak může docházet k degradaci. Ve firmě jsou tyto suroviny skladovány v tancích, zobrazené na obrázku 14 a 15, s maximální kapacitou 27 tun a dále jsou potrubím rozváděny mezi nádoby pro denní potřebu linky s menší kapacitou, kde dochází k důkladnějšímu promíchávání materiálu, aby výsledný vypěněný blok pěny měl co nejmenší odchylky vlastností a kvality.



Obrázek 14 – Tank pro polyol



Obrázek 15 – Tank pro isokyanát

Z denních nádob už je polyol a isokyanát dopravován do míchací hlavy, zobrazena na obrázku 16, která je ovládaná počítačem. O přesné dávkování se starají



Obrázek 16 – Míchací hlava

separátní průtokoměry, které měří jak polyol tak isokyanát odděleně. Ověřování správného dávkování množství je kontrolováno každý den. Na sklopné rameno s kruhovitým tvarem umístěný z boku hlavy se připevní při každém pění nového bloku vždy nová fólie (při zpětném pohybu hlavy nahoru se přesune pod hlavu a má za úkol chytat kapky zbytku směsi, které by vytvořily v bloku nežádoucí prohlubně). Fólie se připevní na kruhovou část tohoto ramena.

Pod míchací hlavu je dovezena pojízdná forma ve tvaru bedny, která se umístí na střed pod hlavu. Nyní je vše připraveno na spuštění požadovaného programu v počítači, který má uložené hodnoty přesného množství a dávkovacího poměru. Celý mechanismus hlavy po spuštění programu vykoná pohyb dolů do formy, kde si připraví směs polyolu a isokyanátu. Tento mix se důkladně míchá míchadlem uvnitř hlavy. Dále je obsluha vyzvána k přesnému nadávkování grafitu, který si navázila. Ten slouží jako retardér hoření. Vyráběná PUR pěna je polotvrdá s nízkou hustotou okolo 15 kg/m^3 . Množství isokyanátu ve směsi je větší než množství polyolu. Reakce směsi těchto dvou surovin je v tomto případě velice malá a proto se přidává katalyzátor, který urychlí reakci (metr vysoký blok se poté vypění do 100 sekund). Po nadávkování a důkladném promíchání v krátkém čase v řádech sekund vykoná hlava pohyb nahoru a



Obrázek 17 – Míchací hlava ve formě



Obrázek 18 – Vypěněný blok ve formě

tím dojde k vylití směsi do formy. Ihned po začátku tohoto pohybu je důležité spustit sklopné rameno pod hlavu, aby chytilo zbytky kapek. Při reakci pění vzniká uvnitř pěny velká teplota a dochází k úniku oxidu uhličitého, který zapříčiní vznik vzduchových pórů. Na kvalitu a nízký rozptyl vlastností výsledné pěny má vliv mnoho faktorů jako například teplota okolního vzduchu nebo rychlost míchání.

Hotový blok, zobrazen na obrázku 19, se vyjme z formy po deseti minutách, avšak reakce stále v malém měřítku pokračují (zcela vyzrálá pěna je za 24 hodin). V našem případě necháváme pěnu zrát minimálně 4 hodiny po pění, než může pokračovat v dalším procesu výroby



Obrázek 19 – Zrání vypěněného bloku

2.2 Vodorovné řezání pěny

Hotový blok je poté vodorovně rozřezán na požadovanou tloušťku na vodorovném řezacím stroji, zobrazen na obrázku 20.



Obrázek 20 – Vodorovné řezání PUR pěny

2.3 Svislé řezání pěny

V některých případech je nutné vodorovně nařezané „plachty“ ještě rozdělit na svislém řezacím stroji, zobrazen na obrázku 21.



Obrázek 21 – Svislé řezání PUR pěny

2.4 Krycí netkaná textilie

Netkanou textilií, zobrazenou na obrázku 22, firma nakupuje od svých dodavatelů, kteří musí dodávat ke každé nové dodávce materiálu certifikát kvality, čímž se zaručují, že surovina je bez vad. Rozptyl ve vlastnostech je předem sjednán mezi dodavatelem a odběratelem. I přesto jsou některé strategické suroviny zkušeny v laboratoři s každou dodávkou při příjmu na sklad nebo v případě, že předešlá dodávka měla vadu a musela být reklamována. Krycí netkaná textilie se většinou skládá z polyesterových a viskózových vláken, avšak větší zastoupení mají polyesterová. Vpichování zvyšuje soudržnost vláken. Na této textilii je vrstva fenolické pryskyřice, která slouží jako pojící vrstva mezi krycí textilií a PUR pěnou. Je také vyzbrojena proti absorpci provozních kapalin automobilu jako je motorový olej, nemrznoucí kapalina do chladicího oběhu motoru (antifreeze), zimní nafta a destilovaná voda. Tato vlastnost je docílena snížením smáčivosti povrchu vůči kapalinám. Většinou je dodávána v rolích o požadované šíři s perforovanými příčnými úseky, které udávají délku textilie a díky tomu se může lehce oddělit část textilie o požadovaném rozměru od zbytku textilie navinuté na roli. Některé



Obrázek 22 – Netkaná krycí textilie

jsou ale dodávané bez úseků s perforací a kusy textilie o požadovaném rozměru se musí odřezávat od zbytku textilie na roli. Plošná hmotnost nakupovaných krycích netkaných textilií je od 50 g/m² do 150 g/m². Musí být samozhášivé. Míra hořlavosti je kritický znak a proto se na zkoušku hořlavosti klade velký důraz. Tyto zkoušky se provádí podle norem předepsané od zákazníka, pro kterého je hotový díl vyroben.

2.5 Lisování

U lisovacího stroje je připravena jak nařezaná PUR pěna, tak role krycích netkaných textilií, zobrazené na obrázku 23 a 24. Na pohledovou stranu dílu, to je strana směrem k motoru po montáži dílu do automobilu v případě zvukové izolace kapoty, se používá krycí netkaná textilie vyšší plošné hmotnosti (většinou přibližně o 20% větší plošná hmotnost). Aby nedošlo k záměně pohledové a nepohledové role, je nepohledová označena ze strany bílým křížem.



Obrázek 23 – Role pohledové krycí textilie



Obrázek 24 – Role nepohledové krycí textilie

Na stole v blízkosti lisovacího stroje obsluha rozloží kus nepohledové krycí textilie stranou s vrstvou fenolické pryskyřice směrem nahoru, na kterou se položí přířez polyuretanové pěny. Poté se přidá pohledová krycí netkaná textilie s vrstvou fenolické pryskyřice směrem dolů.



Obrázek 25 – Materiál připravený na vložení do lisu

Takto vytvořený sendvič, znázorněný na obrázku 25, se vloží na spodní lisovací formu v lisovacím stroji. V lisovacím stroji jsou 2 lisovací formy. Vrchní forma vytváří tvar pohledové strany dílu, spodní lisovací forma nepohledovou stranu dílu. Formy jsou duté, naplněné cirkulujícím olejem, který je vyhříván lisem na zadanou teplotu. Každý díl má specifickou teplotu povrchu formy, ale většinou se pohybuje v rozmezí 180 – 200°C. Po vložení sendviče na lisovací formu, zobrazen na obrázku 26, je spuštěn lis, kde se působením teploty a tlaku vytvoří díl.



Obrázek 26– Materiál vložený do lisu

Po vyjmutí z lisu je ihned položen na stůl s tvarem dílu se spodním odsáváním, zobrazen na obrázku 27. Tento krok je důležitý pro udržení stálého tvaru dílu v době

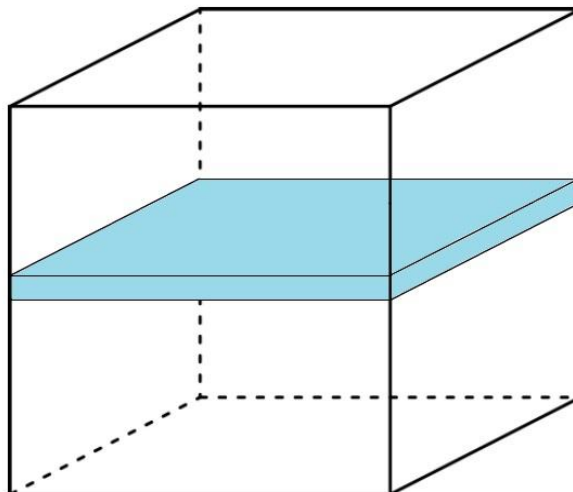
chladnutí. Po vychladnutí je zkontrolován povrch dílu. Musí být hladký a bez viditelných vad. Poté se položí na kontrolní formu, kde se zkontroluje, jestli je díl velikostí i tvarem ve sjednaných zákaznických tolerancích. V případě úspěšné kontroly se může díl zabalit do bedny a poslat zákazníkovi.



Obrázek 27 – Vylisované díly

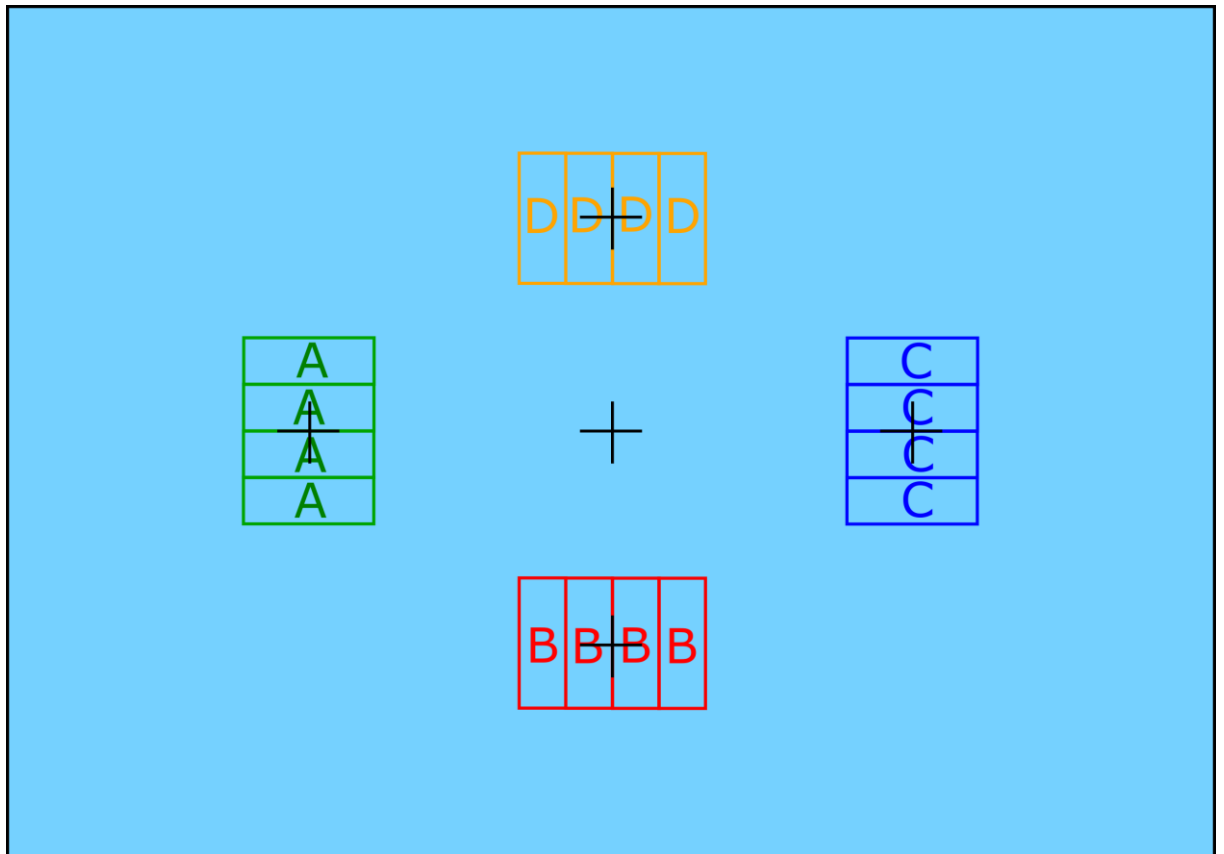
3. Odběr a výroba zkušebních vzorků

Kvůli dosažení nejmenšího rozptylu vlastností byly odebírány vzorky ze střední části vypěněného bloku, zobrazen na obrázku 28. Tyto přířezy (vyznačené na obrázku níže modrou barvou) jsou vyrobené vodorovným řezáním na určitou tloušťku, v našem případě na 27mm a nazývají se plachty.



Obrázek 28 – Ilustrační obrázek bloku pěny

Tyto plachty, které by jinak pokračovaly ve výrobním procesu ke svislému řezání a lisování dílu, byly odebrány pro tento experiment. Bylo vybráno šest plachet, každá z jiného vypěněného bloku stejných rozměrů, ze střední části.

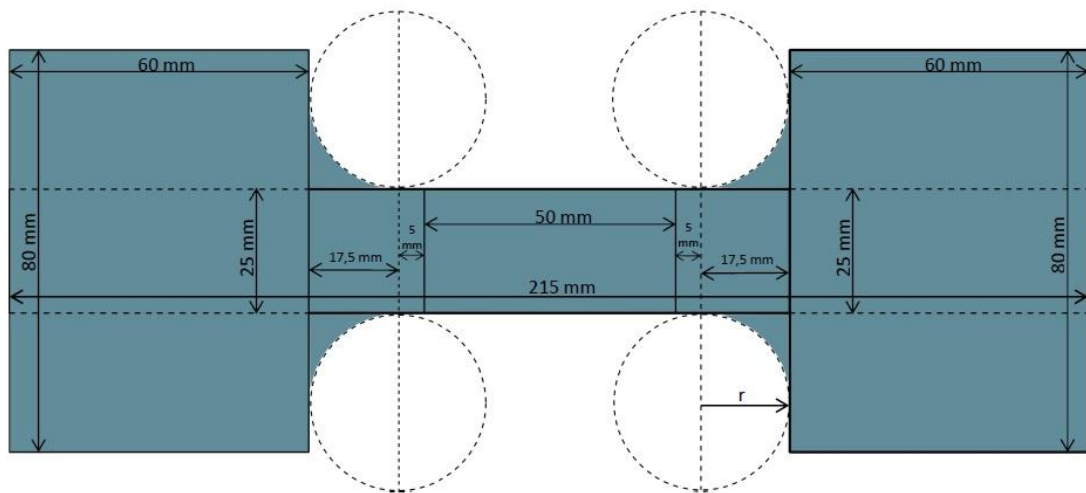


Obrázek 29 – Ilustrační obrázek odběru vzorků z plachty

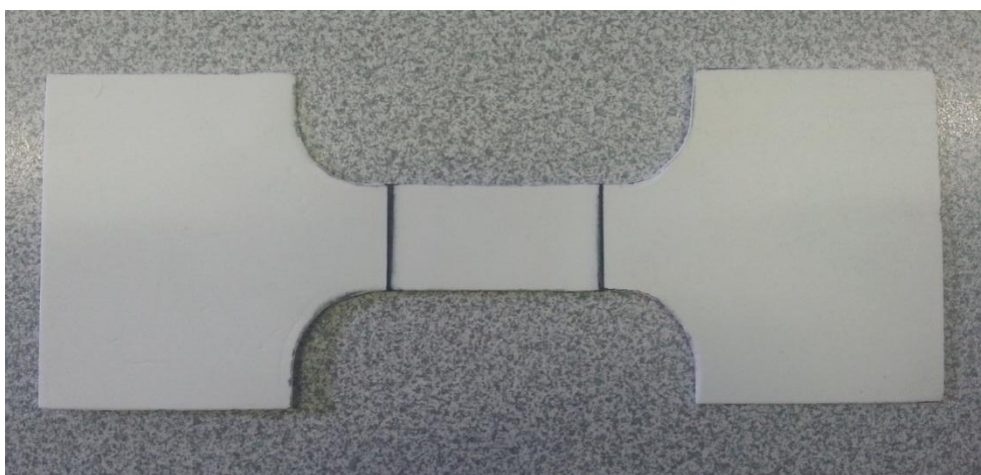
Při pohledu z vrchu na plachtu můžeme vidět, jak byly odebírány jednotlivé vzorky, zobrazené na obrázku 29. Na plachtě byl vyznačen střed a na každou stranu nakreslen bod, který vyznačuje vždy čtvrtinu celkové délky. Okolí nakreslených bodů ve čtvrtině plachty bylo popsáno jako okolí A, B, C D. Kdy vzorky A leží na delší straně, vzorky B na kratší straně atd.

Tyto oblasti byly vybrány z důvodu rozdílných vlastností polyuretanové pěny ve středu a na krajích plachty. Tímto způsobem se zajistila velká podobnost všech vzorků ve vlastnostech.

Tvar vzorku, zobrazen na obrázku 30, byl zkonstruován tak, aby tažnost i pevnost v tahu byly měřeny na šířku 25 mm. Počáteční měřicí část tažnosti je dlouhá 50 mm (označená reflexní páskou). Důvod, proč vzorek má tento tvar je, že kdyby byl bez rozšířených postranních částí, při vložení vzorku do kleští trhacího stroje by muselo být stlačení vzorku daleko větší a docházelo by buď k vytvoření prasklin ještě dříve, než by byl program spuštěn nebo při malém stlačení vzorku k vyklouznutí z kleští trhacího stroje. Oba tyto jevy jsou nežádoucí a proto jsou postranní části vzorku rozšířeny. Síla stlačení se poté rozloží na větší plochu a nemusí být tolik stlačen, aby nedocházelo k vysmekávání z kleští. Kleště působí na vzorek plochou obdélníkového tvaru o rozměrech 40 x 60 mm. Při uchycení tudíž vznikne přesah na krajích vzorku vůči kleštím o délce 5 mm na každé straně. Vzorek je dlouhý 215 mm, rozpětí mezi spodními a vrchními kleštěmi na trhacím stroji je nastaven na 115 mm. Přechod mezi uchycovací částí a měřicí částí vzorku je kruhového tvaru o poloměru 17,5 mm. Bylo zjištěno, že ideální stlačení v kleštích při použití tohoto tvaru vzorku a materiálu je 1/4 původní tloušťky.



Obrázek 30 – Technický výkres vzorku



Obrázek 31 – Předloha k vyřezání vzorků s označenými místy pro nalepení reflexní pásky

Podle vytvořené šablony, která je zobrazena na obrázku 31, se vyřezalo z šesti plachet z oblastí A, B, C, D celkem 96 vzorků (16 vzorků na plachtu krát 6 plachet), vyfocené na obrázku 32.



Obrázek 32 – 96 vzorků připravené na zkoušku

4. Testování

Vzorky byly podle potřeby stlačeny na 25%, 50% a 75% své původní tloušťky na trhacím stroji za pomoci dvou vodorovných, plochých desek čtvercového tvaru o délce strany 120 mm, zobrazené na obrázku 33. Rychlost stlačení byla 100 mm/min a po dosažení požadovaného stlačení se stroj vracel ihned do své výchozí pozice. Polovina vzorků se nechala relaxovat 1 hodinu a druhá polovina 24 hodin.



Obrázek 33 – Stlačení vzorku



Obrázek 34 – Vzorek upnutý do trhacího stroje

Následovalo samotné měření tažnosti na trhacím stroji, zobrazené na obrázku 34. Při testu muselo být použit přídavný laserový průtahoměr, protože kdyby byly brány hodnoty prodloužení ze samotného trhacího přístroje, data by mohly být zavádějící, protože by ve výsledku tažnosti byly zaznamenány jak tažnost zužené části vzorku, tak i přechod do rozšířené části (kde s narůstající tahovou silou je tažnost menší než ve zužené části). Roztržený vzorek po zkoušce je zobrazen na obrázku 35.

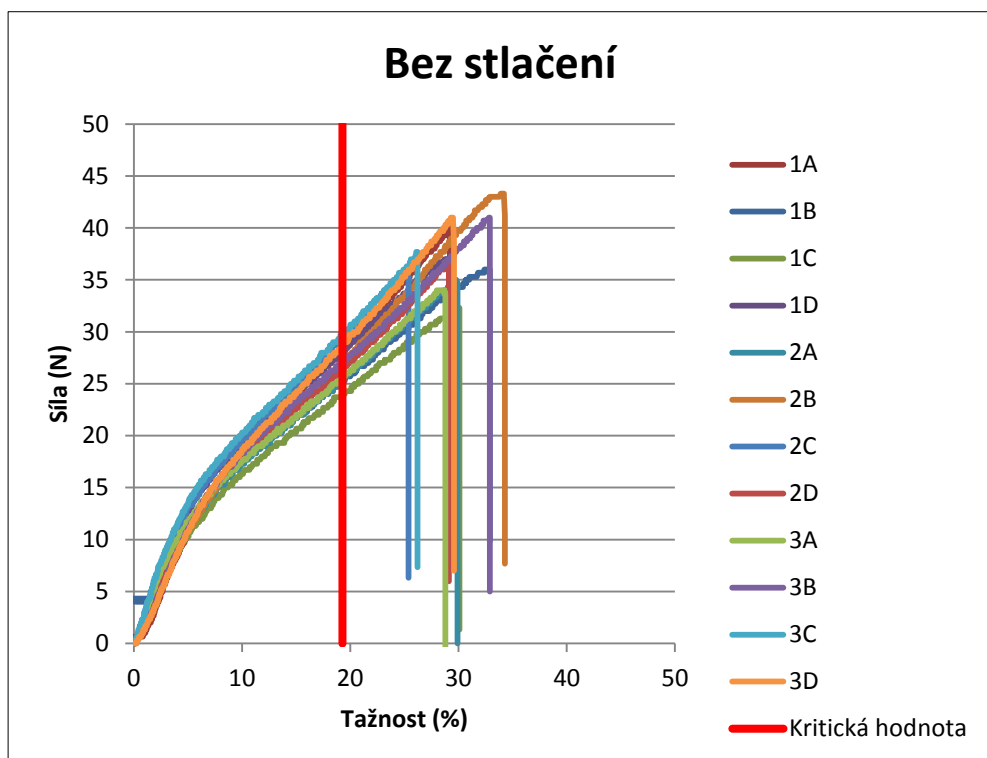


Obrázek 35 – Roztržený vzorek po zkoušce

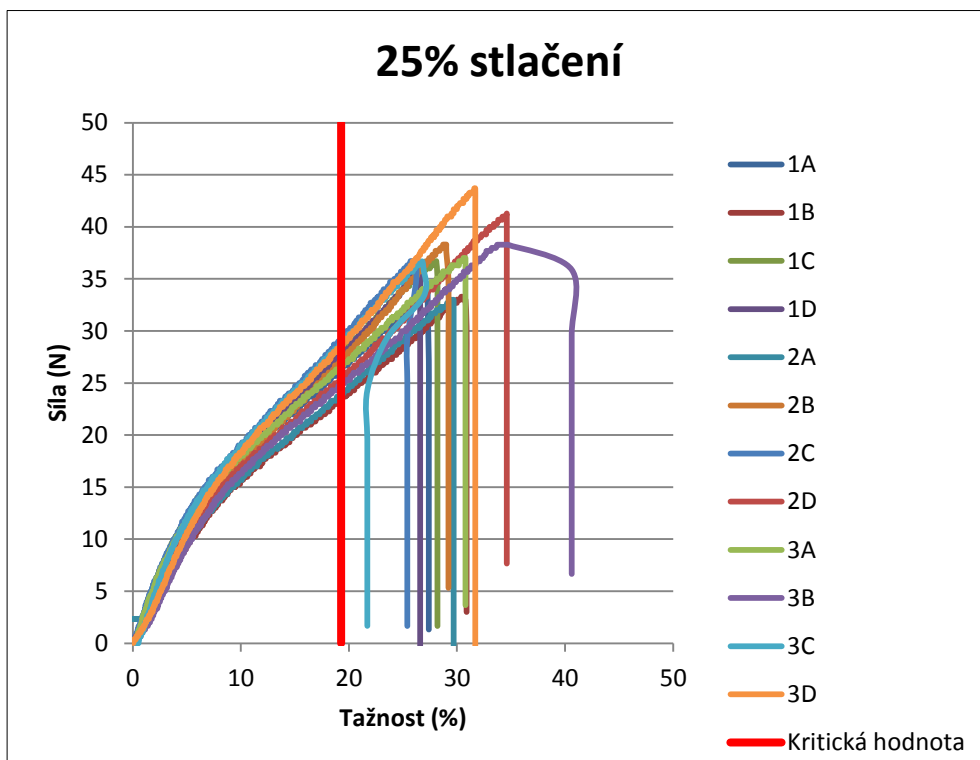
Data byla zaznamenávána tak, aby byl možný export do tabulkového softwaru, který vytvoří křivky do grafu, podle několika zaznamenaných bodů složený z X souřadnice - tažnosti a Y souřadnice – síly. Rychlost tahu byla nastavena na 100 mm/min a předpětí 1,2 N. Předpětí znamená, že po dosažení síly v tahu 1,2 N se hodnoty tažnosti i síly vynulují a začnou měřit od nuly jako by to byla počáteční pozice vzorku. Po dosažení hodnoty předpětí se v programu spustí další segment se záznamem dat. Každá křivka testovaného vzorku se skládá z 1004 bodů. Tyto křivky jsou vyneseny do grafů v další kapitole.

4.1 Grafy tažnosti vs. síly

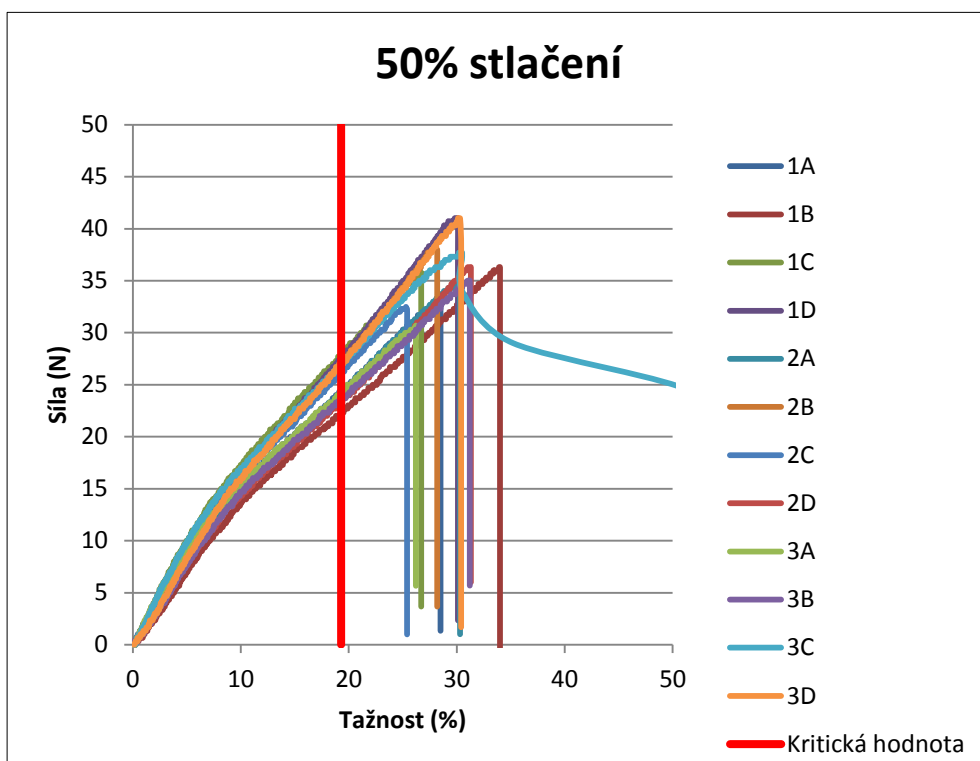
Po hodině od stlačení



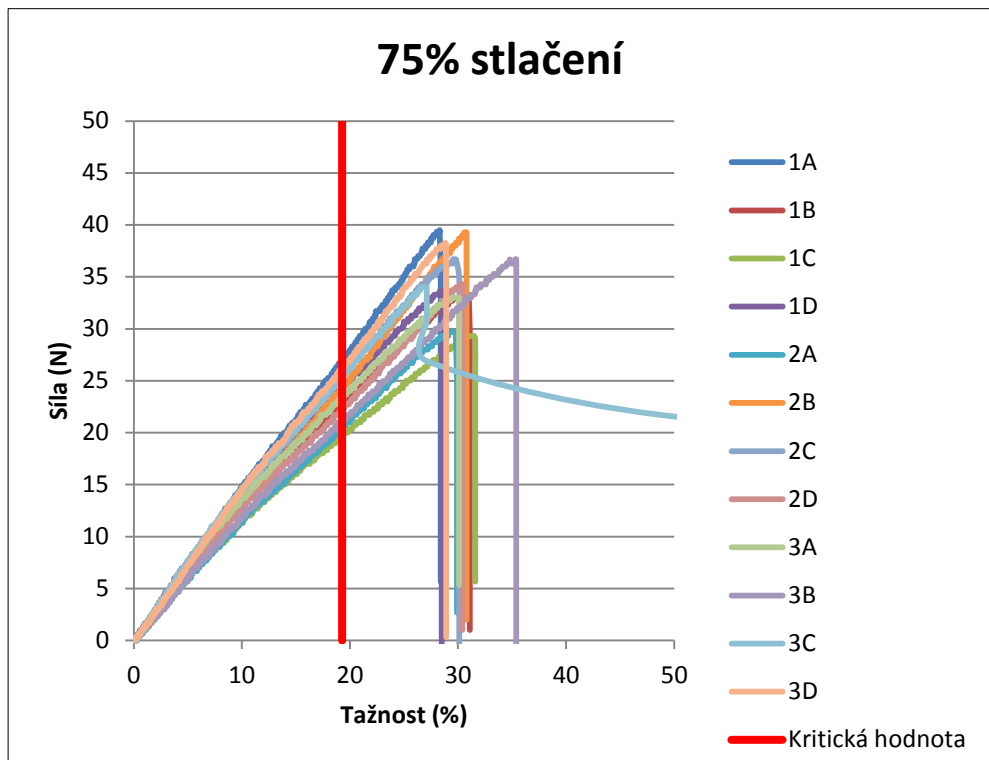
Graf 1 – Tažnost vs. síla vzorků bez stlačení



Graf 2 - Tažnost vs. síla vzorků po 25% stlačení po 1 hodině relaxace

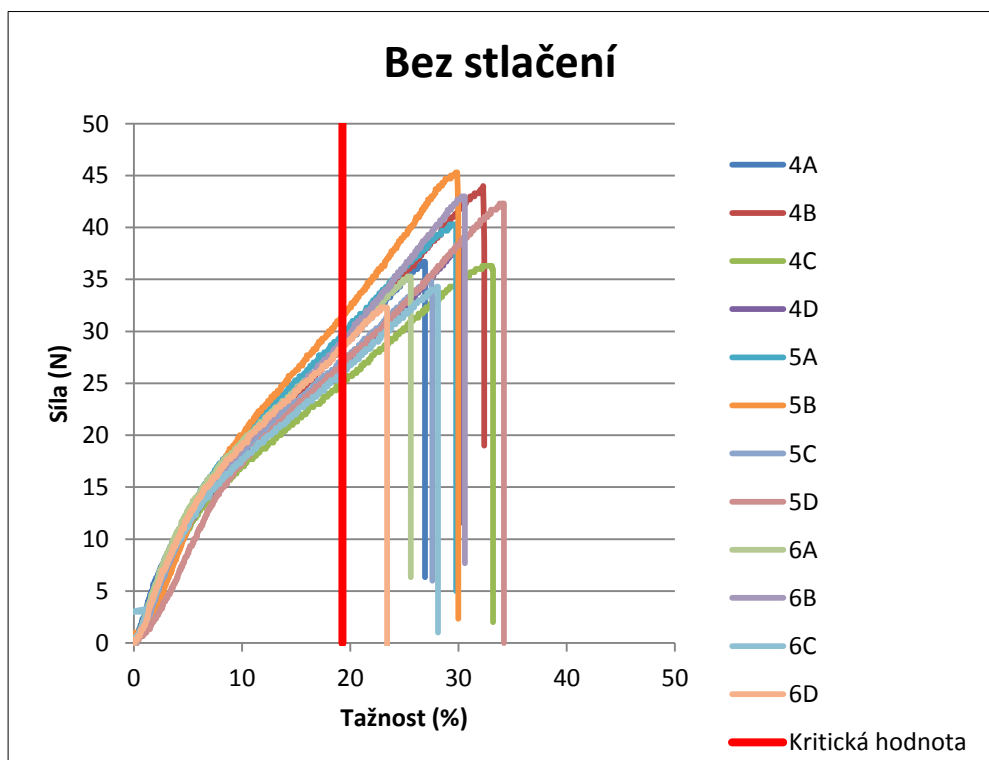


Graf 3 - Tažnost vs. síla vzorků po 50% stlačení po 1 hodině relaxace

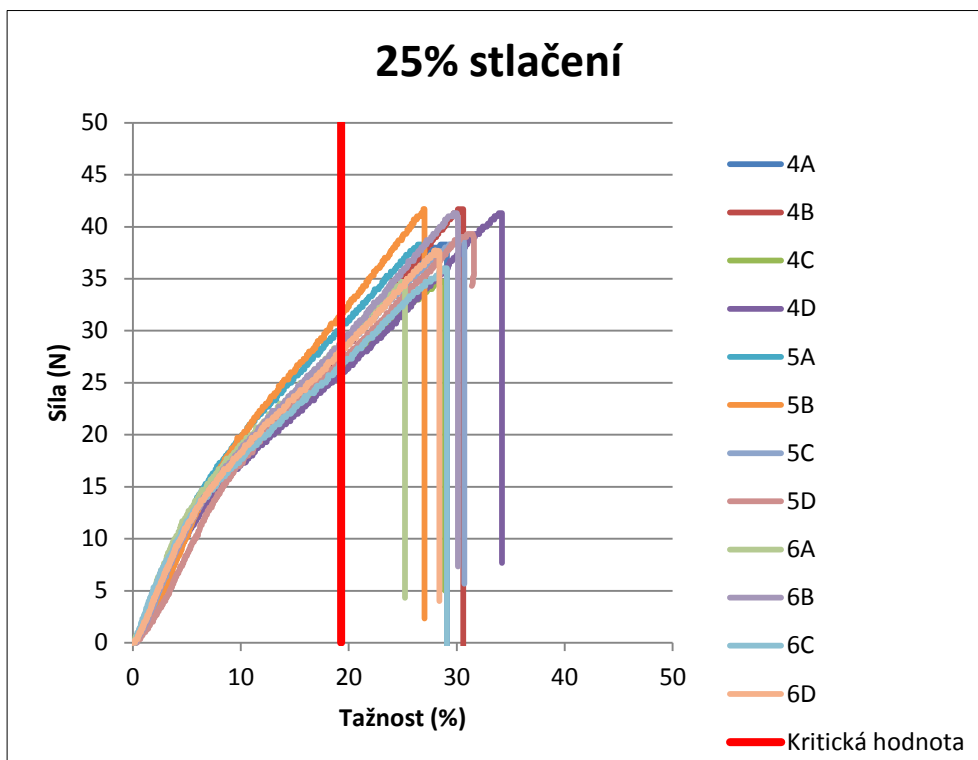


Graf 4 - Tažnost vs. síla vzorků po 75% stlačení po 1 hodině relaxace

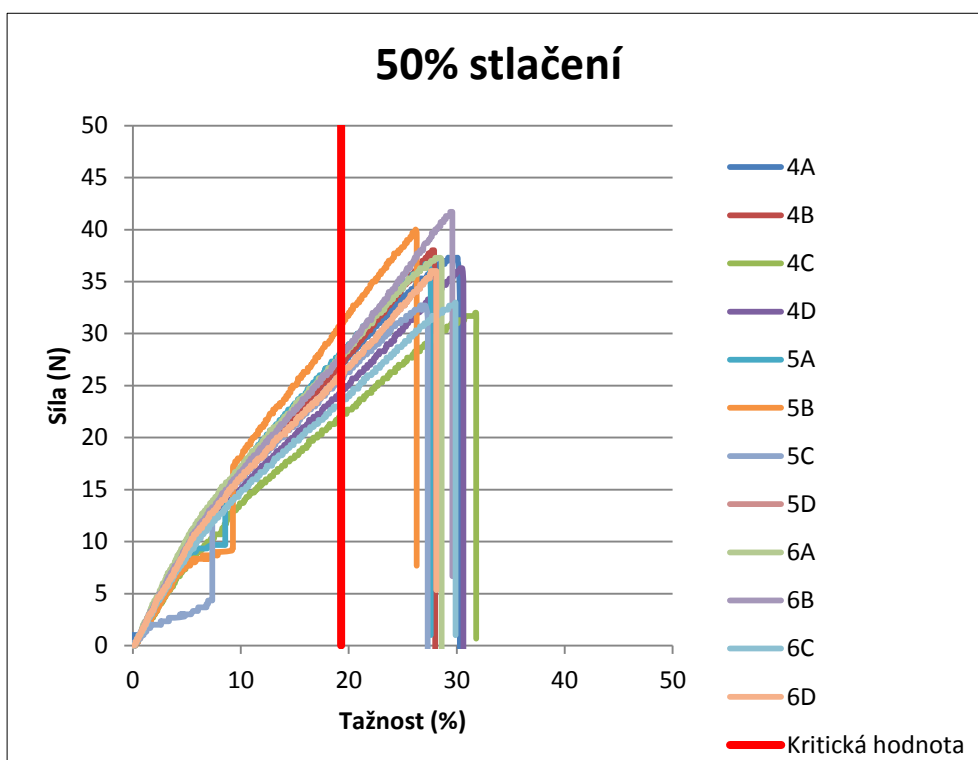
Po 24 hodinách od stlačení



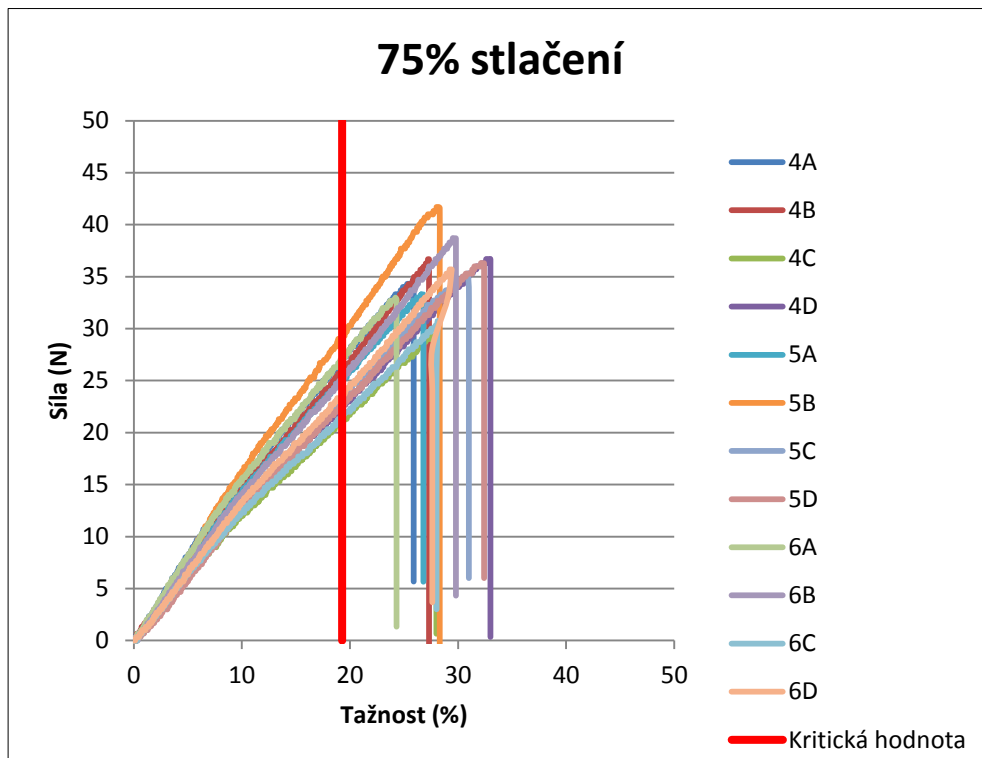
Graf 5 - Tažnost vs. síla vzorků bez stlačení



Graf 6 - Tažnost vs. síla vzorků po 25% stlačení po 24 hodinách relaxace



Graf 7 - Tažnost vs. síla vzorků po 50% stlačení po 24 hodinách relaxace



Graf 8 - Tažnost vs. síla vzorků po 75% stlačení po 24 hodinách relaxace

Do grafů je doplněna hraniční hodnota, pod kterou tažnost nesmí být, jinak by mohlo dojít k prasknutí pěny při výrobě dílu.

4.2 Tabulky maximálních tažností

Tabulka 1 - Maximální tažnosti po 1 hodině po stlačení

Vzorek	Bez stlačení		25% stlačení		50% stlačení		75% stlačení	
	Tažnost(%)	Síla (N)	Tažnost(%)	Síla (N)	Tažnost(%)	Síla (N)	Tažnost(%)	Síla (N)
1A	29,20	40,00	27,30	33,70	28,50	33,00	28,30	39,40
1B	32,90	36,00	30,50	33,30	34,00	36,30	31,00	33,30
1C	30,10	32,30	28,10	36,70	26,70	35,70	31,50	29,30
1D	29,30	37,00	26,60	35,30	30,10	41,00	28,60	33,70
2A	29,80	35,00	29,70	33,00	30,20	34,70	29,80	29,70
2B	34,20	43,30	29,00	38,30	28,10	38,30	30,80	39,30
2C	25,30	36,00	26,20	36,70	25,30	32,50	29,80	36,70
2D	29,10	36,70	34,60	41,30	31,30	36,30	30,40	34,30
3A	28,60	34,00	30,80	37,00	26,20	30,70	30,10	33,00
3B	32,90	41,00	34,70	38,30	30,90	34,90	35,40	36,70
3C	26,20	37,70	26,80	36,70	30,50	37,70	27,10	34,00
3D	29,50	41,00	31,70	43,70	30,30	41,00	28,80	38,30
Průměr	29,76	37,50	29,67	37,00	29,34	36,01	30,13	34,81
Odchylka	2,49	3,10	2,80	3,03	2,36	3,04	2,00	3,22
Min	25,30	32,30	26,20	33,00	25,30	30,70	27,10	29,30
Max	34,20	43,30	34,70	43,70	34,00	41,00	35,40	39,40
Rozpětí	8,90	11,00	8,50	10,70	8,70	10,30	8,30	10,10

Tabulka 2 - Maximální tažnosti po 24 hodinách po stlačení

Vzorek	Bez stlačení		25% stlačení		50% stlačení		75% stlačení	
	Tažnost(%)	Síla (N)	Tažnost(%)	Síla (N)	Tažnost(%)	Síla (N)	Tažnost(%)	Síla (N)
4A	26,90	36,70	29,10	38,30	30,10	37,30	25,90	34,70
4B	32,30	44,00	30,60	41,70	27,90	38,00	27,30	36,70
4C	33,10	36,30	28,90	34,70	31,70	31,80	28,00	29,30
4D	30,30	38,30	34,20	41,30	30,50	36,30	33,00	36,70
5A	29,80	40,30	27,20	38,30	27,30	36,70	26,80	33,30
5B	29,90	45,30	27,00	41,70	26,20	39,90	28,20	41,70
5C	27,50	35,00	30,60	39,00	27,10	32,70	30,90	35,30
5D	34,20	42,30	31,50	39,30	30,20	38,30	32,40	36,30
6A	25,60	35,30	25,20	34,70	28,50	37,30	24,20	33,00
6B	30,60	43,00	30,00	41,30	29,60	41,70	29,80	38,70
6C	28,10	34,30	29,10	36,00	29,90	33,00	28,10	30,70
6D	23,40	32,30	28,30	37,70	28,10	36,00	29,40	35,70
Průměr	29,31	38,59	29,31	38,67	28,93	36,58	28,67	35,18
Odchylka	3,02	4,09	2,24	2,46	1,58	2,80	2,47	3,22
Min	23,40	32,30	25,20	34,70	26,20	31,80	24,20	29,30
Max	34,20	45,30	34,20	41,70	31,70	41,70	33,00	41,70
Rozpětí	10,80	13,00	9,00	7,00	5,50	9,90	8,80	12,40

Tabulka 3 – Celkové maximální tažnosti

Vzorek	Bez stlačení		25% stlačení		50% stlačení		75% stlačení	
	Tažnost(%)	Síla (N)	Tažnost(%)	Síla (N)	Tažnost(%)	Síla (N)	Tažnost(%)	Síla (N)
1A	29,20	40,00	27,30	33,70	28,50	33,00	28,30	39,40
1B	32,90	36,00	30,50	33,30	34,00	36,30	31,00	33,30
1C	30,10	32,30	28,10	36,70	26,70	35,70	31,50	29,30
1D	29,30	37,00	26,60	35,30	30,10	41,00	28,60	33,70
2A	29,80	35,00	29,70	33,00	30,20	34,70	29,80	29,70
2B	34,20	43,30	29,00	38,30	28,10	38,30	30,80	39,30
2C	25,30	36,00	26,20	36,70	25,30	32,50	29,80	36,70
2D	29,10	36,70	34,60	41,30	31,30	36,30	30,40	34,30
3A	28,60	34,00	30,80	37,00	26,20	30,70	30,10	33,00
3B	32,90	41,00	34,70	38,30	30,90	34,90	35,40	36,70
3C	26,20	37,70	26,80	36,70	30,50	37,70	27,10	34,00
3D	29,50	41,00	31,70	43,70	30,30	41,00	28,80	38,30
4A	26,90	36,70	29,10	38,30	30,10	37,30	25,90	34,70
4B	32,30	44,00	30,60	41,70	27,90	38,00	27,30	36,70
4C	33,10	36,30	28,90	34,70	31,70	31,80	28,00	29,30
4D	30,30	38,30	34,20	41,30	30,50	36,30	33,00	36,70
5A	29,80	40,30	27,20	38,30	27,30	36,70	26,80	33,30
5B	29,90	45,30	27,00	41,70	26,20	39,90	28,20	41,70
5C	27,50	35,00	30,60	39,00	27,10	32,70	30,90	35,30
5D	34,20	42,30	31,50	39,30	30,20	38,30	32,40	36,30
6A	25,60	35,30	25,20	34,70	28,50	37,30	24,20	33,00
6B	30,60	43,00	30,00	41,30	29,60	41,70	29,80	38,70
6C	28,10	34,30	29,10	36,00	29,90	33,00	28,10	30,70
6D	23,40	32,30	28,30	37,70	28,10	36,00	29,40	35,70
Průměr	29,53	38,05	29,49	37,83	29,13	36,30	29,40	34,99
Odchylka	2,78	3,67	2,54	2,88	2,02	2,94	2,36	3,23
Min	23,40	32,30	25,20	33,00	25,30	30,70	24,20	29,30
Max	34,20	45,30	34,70	43,70	34,00	41,70	35,40	41,70
Rozpětí	10,80	13,00	9,50	10,70	8,70	11,00	11,20	12,40

5. Vyhodnocení výsledků

Už z grafů křivek je patrný velký rozpětí naměřených hodnot tažnosti při maximální síle u každého typu. Není zřetelný ani výrazný nárůst tažnosti po stlačení na 25%, 50% ani 75% původní tloušťky. Nyní nás bude zajímat míra závislosti stlačení na tažnost.

Míra závislosti stlačení (X) na tažnost (Y) po 1 hodině po stlačení

Korelační koeficient = 0,037 → žádná závislost

kovariance (S_{xy}) = 2,5

výběrový rozptyl (S_x) = 797,8723

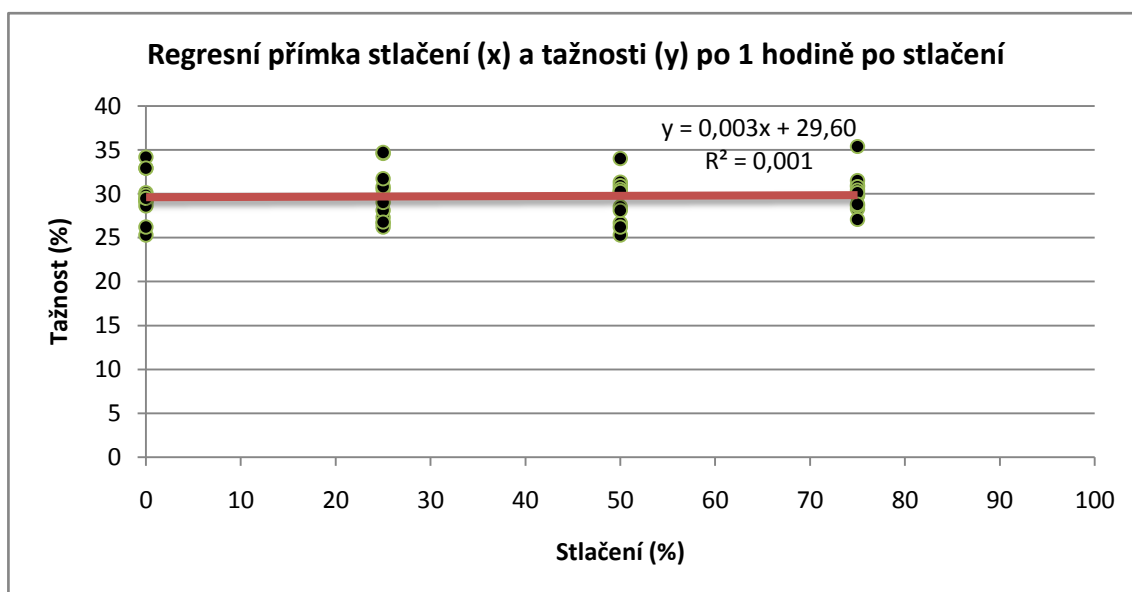
výběrový rozptyl (S_y) = 6,10617

Pearsonův výběrový
korelační koeficient $r = 0,000513$

$$T = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} * \sqrt{(n-2)}$$

$$T = 0,00348$$

Pokud platí $|T| \geq t_{n-2}(1 - \alpha/2)$ zamítáme hypotézu nezávislosti veličin (existuje závislost mezi veličinou A a veličinou B), ale tato rovnice neplatí a proto zamítáme hypotézu závislosti veličin a tudíž na hladině významnosti 0,05 neexistuje závislost mezi stlačením a tažností po 1 hodině po stlačení.



Graf 9 – Regresní přímka stlačení a tažnosti po 1 hodině relaxace

Míra závislosti stlačení (X) na tažnost (Y) po 24 hodinách po stlačení

Korelační koeficient = -0,107 → žádná závislost

kovariace (S_{xy}) = -7,21354

výběrový rozptyl (S_x) = 797,8723

výběrový rozptyl (S_y) = 5,895315

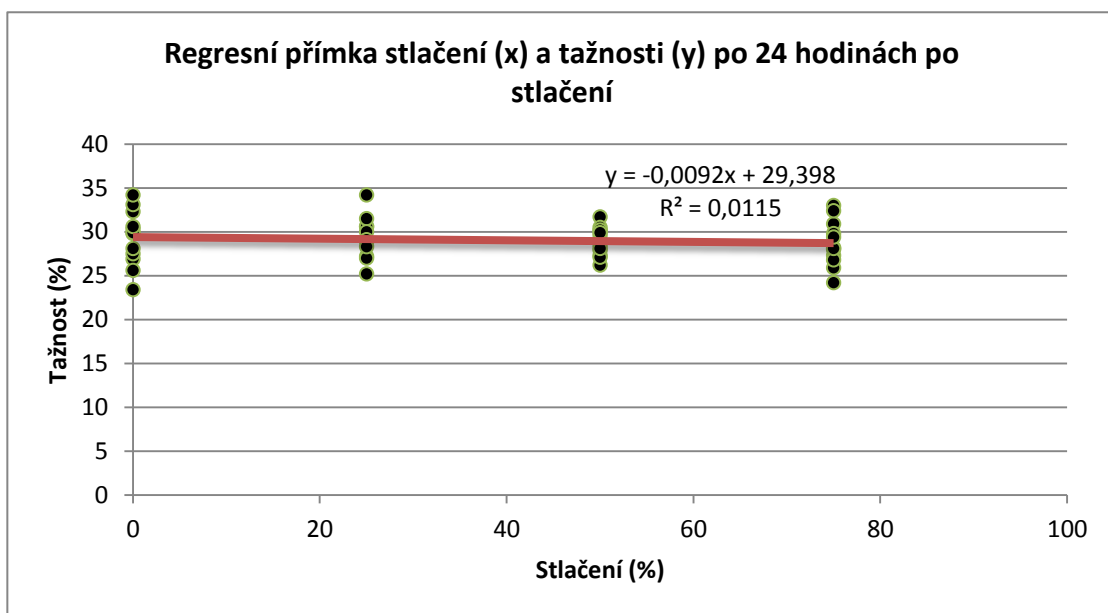
Pearsonův výběrový

korelační koeficient $r = -0,00153$

$$T = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} * \sqrt{(n-2)}$$

$$T = -0,0104$$

Rovnice $|T| \geq t_{n-2}(1 - \alpha/2)$ opět neplatí a proto zamítáme hypotézu závislosti veličin, tudíž na hladině významnosti 0,05 neexistuje závislost mezi stlačením a tažností po 24 hodinách po stlačení.



Graf 10 - Regresní přímka stlačení a tažnosti po 24 hodinách relaxace

Celková míra závislosti stlačení (X) na tažnost (Y)

Korelační koeficient = -0,034 → **žádná závislost**

kovariance (S_{xy}) = -2,35677

výběrový rozptyl (S_x) = 789,4737

výběrový rozptyl (S_y) = 6,051973

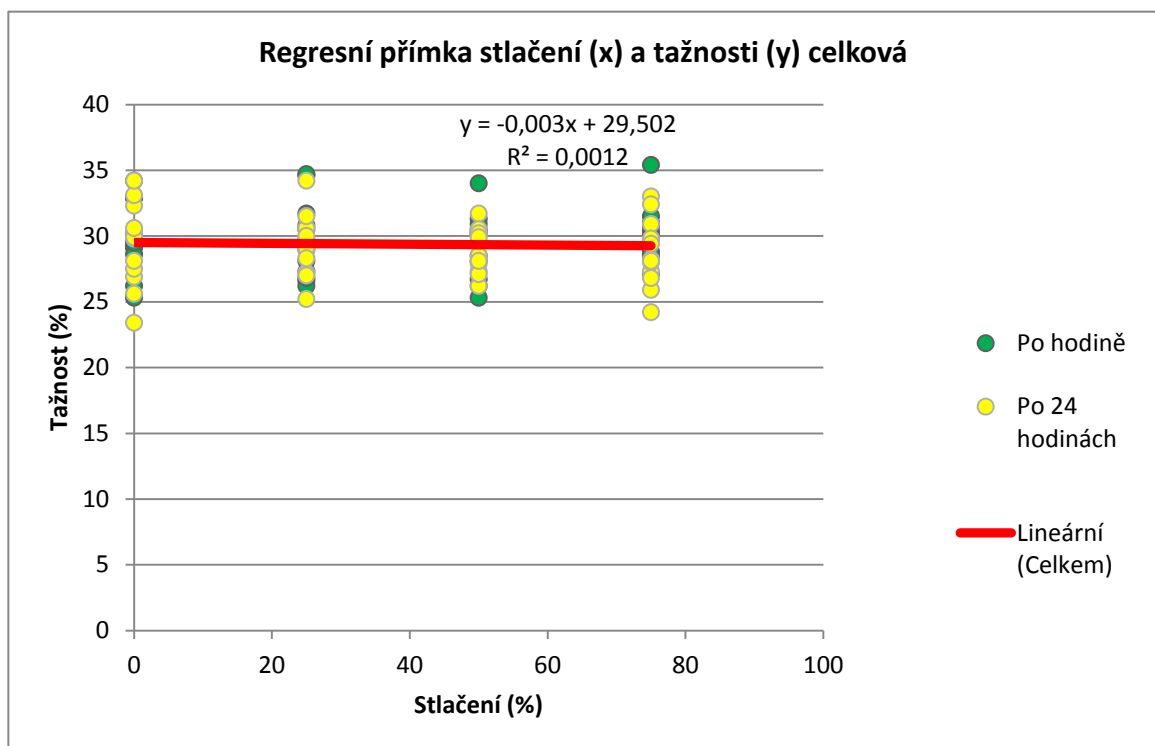
Pearsonův výběrový

korelační koeficient r = -0,00049

$$T = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} * \sqrt{(n-2)}$$

$$T = -0,00478$$

Rovnice $|T| \geq t_{n-2}(1 - \alpha/2)$ opět neplatí a proto zamítáme hypotézu závislosti veličin, tudíž na hladině významnosti 0,05 neexistuje závislost mezi stlačením a tažností.



Graf 11 – Celková regresní přímka stlačení a tažnosti

Porovnání relaxace pěny

Dále je vhodné vyhodnotit návratnost pěny po stlačení. Při stlačení o 25% a následné hodinové relaxaci se materiálu v průměru snížila tloušťka oproti původní o 0,58%. Při stlačení o 50% se při stejné době relaxace materiálu snížila tloušťka o 1,56% a při stlačení o 75% se tloušťka materiálu snížila o 3,84%.

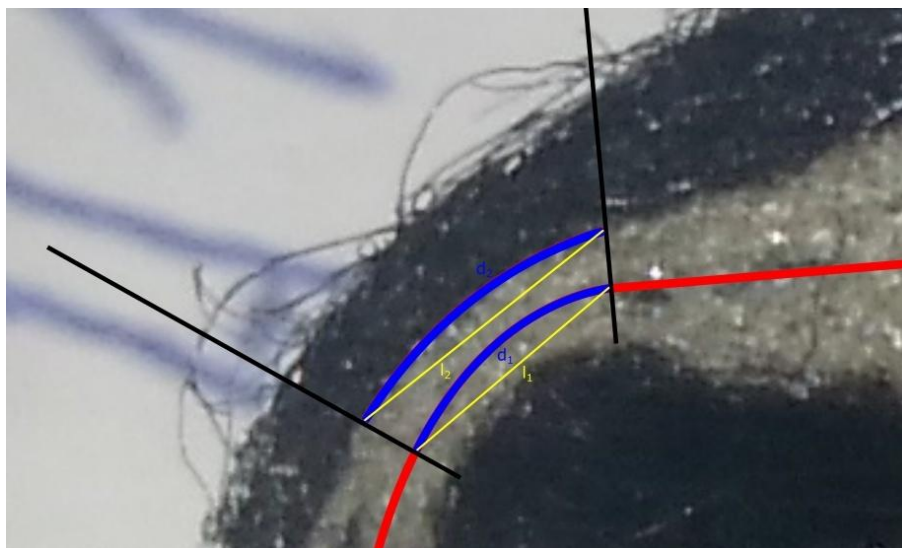
V případě dlouhodobé relaxace byly výsledky velice podobné a to při stlačení o 25% pěna snížila svou tloušťku oproti původní o 0,52%, při stlačení o 50% se snížila o 1,48% a při 75% stlačení o 3,99%. Z každého typu měření úbytku tloušťky bylo 12 vzorků.

Zjištění kritické hodnoty tažnosti

K tomuto pokusu bylo potřeba hotový díl s neporušenou pěnovou výplní v místě, kde je jinak častý výskyt praskliny. Díl se v inkriminovaném místě rozříznul (obrázek 36), aby se mohl zjistit rozdíl délky střední linie pěny vůči povrchové linii. Je známo, že vnitřní část materiálu se při ohybu stlačuje a vnější část protahuje. Nás bude zajímat prodloužení. O kolik se prodlouží materiál při ohybu zjistíme, když se udělají dvě kolmice na střední linii k povrchu. Vybereme takové kolmice, u kterých se můžeme domnívat, že bude největší rozdíl délky úsečky střední linie mezi těmito kolmicemi oproti délce úsečky linie na povrchu materiálu mezi těmito kolmicemi.



Obrázek 36 – Znázornění místa na díle s největším požadavkem na tažnost



Obrázek 37 – Přibližný místo s největším požadavkem na tažnost

Zajímají nás délky modrých úseček, označené na obrázku 37 jako d_1 - délka střední linie a d_2 – délka vrchní linie. Bylo zjištěno, že rozdíl délek je 19,28%, což je kritická hodnota tažnosti tohoto dílu. Pokud bude tažnost polyuretanové pěny nižší jak 19,28%, můžeme s velkou pravděpodobností očekávat vznik trhliny pěny na jinak hotovém díle.

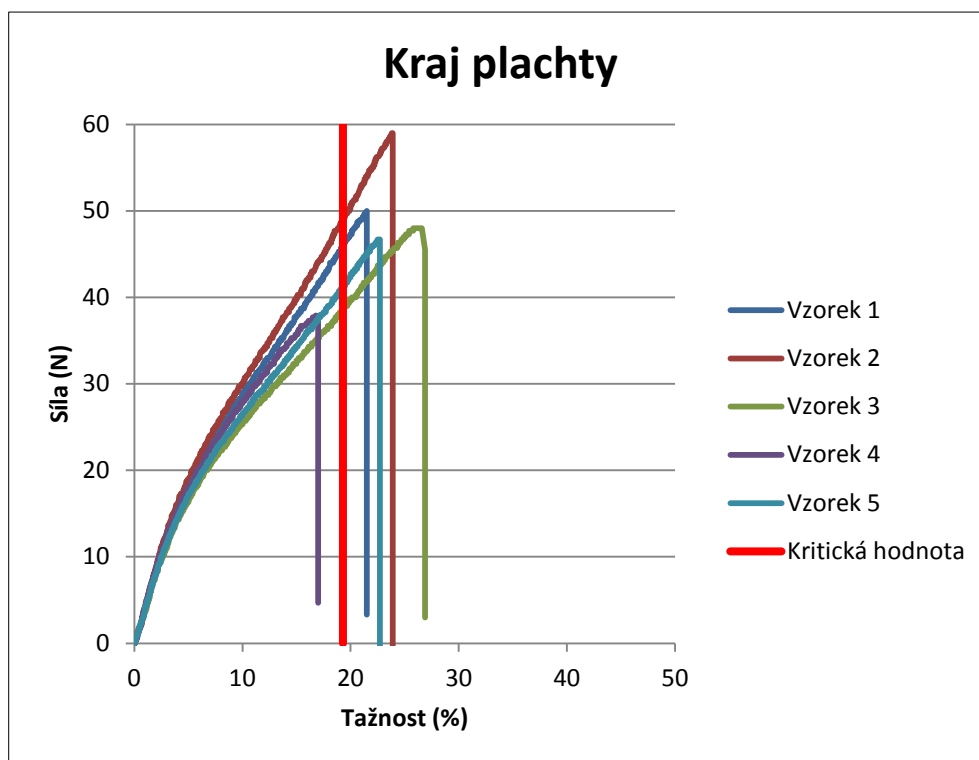
Z důvodu naměřených hodnot blíží se kritické hodnotě, bylo odebráno

Tabulka 4 – Maximální tažnosti vzorků z kraje plachty

Vzorek	Kraj plachty	
	Tažnost(%)	Síla (N)
1	21,5	50,0
2	23,9	59,0
3	26,6	48,0
4	17,0	37,7
5	22,7	46,7

Průměr	22,34	48,28
Odchylka	3,16	6,82
Min	17,00	37,70
Max	26,60	59,00
Rozptyl	9,60	21,30

dalších 5 vzorků z části, o které se domníváme, že by mohla mít nejmenší tažnost, abychom zjistili, jestli existuje ve vypěněném bloku této polyuretanové pěny místo, kde má pěna nižší tažnost, než je kritická hodnota. Pokud ano, je zde velká pravděpodobnost vysoké zmetkovitosti při použití této části pěny. Odebrané vzorky pocházely z plachty použité v experimentu výše (tudíž ze střední části pěny vertikálního směru) avšak z kraje plachty, přesněji 2 cm od rohů.



Graf 12 – Tažnost vs. síla vzorků z kraje plachty

Z těchto výsledků je patrné, že jeden vzorek měl tažnost 17 %, což je menší než kritická hodnota. A proto by se s velkou pravděpodobností při výrobě tato krajní část pěny přetrhla, pokud by byla použita na místo na dílu s největšími požadavky na tažnost. Celkově má v průměru krajní část plachty menší tažnost - 22,34%, oproti vzorkům bez stlačení ze čtvrtiny délky plachty, které měly tažnost 29,53%.

ZÁVĚR

Na 95% intervalu spolehlivosti můžeme tvrdit, že vliv stlačení na tažnost této pěny neexistuje. Avšak musíme zohlednit skutečnost, že testované vzorky nepocházely z celého souboru bloku této pěny. Jelikož byly odebrány ze střední části bloku ve vertikální rovině a vždy ve čtvrtině délky od plachty. Jedná se tedy od podmnožinu množiny bloku polyuretanové pěny používanou na výrobu problematických dílů. Ale s velkou pravděpodobností se můžeme domnívat, že neexistuje vliv stlačení na tažnost ani v jiné části bloku pěny.

Použití kalandrovacího stoje by bylo tedy v tomto případě naprosto zbytečné bez žádného efektu na zlepšení výroby. Z grafů je vidět, že některé vzorky měly tažnost blížící se tažnosti 20%, což není mnoho a při použití spodní části bloku nebo krajní části může být i pod kritickou hodnotu 19,28%, jelikož je vyzorovaný trend, že kraje a spodek vypěněného bloku jsou křehčí, tudíž mají menší tažnost. Nyní tedy víme, že pokud bude mít pěna menší tažnost než 19,28% je nepoužitelná k výrobě těchto dílů.

Jako další krok bych doporučil zaměřením se na optimalizaci výrobního procesu pění a nalezení jiného řešení než je stlačení, jak zvýšit tažnost této polyuretanové pěny, s minimálním snížením pevnosti v tlaku. Další, ne moc efektivní řešení, je používat pouze tu část vypěněného bloku, která má velkou tažnost. Avšak zjištění, kde a jaká část bloku má danou tažnost podložené statistickými výsledky není možné vyřešit v této práci z důvodu obsáhlosti a náročnosti experimentu.

Seznam literatury

[1] RAMASAMY, Shamala, Hanafi ISMAIL a Yamuna MUNUSAMY. *Effect of Rice Husk Powder on Compression Behavior and Thermal Stability of Natural Rubber Latex Foam* [online]. Penang, Malaysia: Universiti Sains Malaysia, 2013 [cit. 2016-05-03]. ISSN 4258-4269. Dostupné z: https://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_08/BioRes_08_3_4258_Ramasamy_IM_Rice_Husk_Powder_Compression_Natural_Rubber_4103.pdf

[2] Otto Bayer: Biographies. *Bayer* [online]. Leverkusen, Germany: Bayer AG, 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.bayer.com/en/otto-bayer.aspx>

[3] History of Polyurethanes: Introduction to polyurethanes. *AmericanChemistry.com* [online]. Washington, USA: American Chemistry Council, 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://polyurethane.americanchemistry.com/Introduction-to-Polyurethanes/History>

[4] WARNER JAN NAUTA. *Stabilisation of low density, closed cell polyethylene foam*. [S.l.: s.n.], 2000. ISBN 90-365-1463-0.

[5] Polystyren. *Wikipedia* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 12.3.2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polystyren>

[6] Moulding Expanded Polystyrene (EPS). *BPF* [online]. London: British Plastics Federation, c2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.bpf.co.uk/plastipedia/processes/Moulding_EPS.aspx

[7] Co je to PIR? *Puren* [online]. Jihlava: Puren gmbh, c2010-2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.puren.cz/cz/co-je-to-pir>

[8] SCHOER, Dan, Michelle HUDACK, Mark SODERQUIST a Inken BEULICH. Rigid polymeric foam boardstock technical assessment. *Dow* [online]. Midland (USA): The Dow Chemical Company, c1995-2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://c.ymcdn.com/sites/www.polyiso.org/resource/resmgr/cptg_2013/dow_paper_on_phenolic.pdf

[9] Termoplast. *Wikipedia* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 27.6.2015 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Termoplast>

[10] Co je to PIR? *Puren* [online]. Jihlava: Puren gmbh, c2010-2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.puren.cz/cz/co-je-to-pir>

[11] Polyurethanes Insulation solutions. *Huntsman* [online]. Everberg: Huntsman Corporation, c2012 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.huntsman.com/polyurethanes/Media%20Library/a_MC1CD1F5AB7BB1738E040EBCD2B6B01F1/Products_MC1CD1F5AB8081738E040EBCD2B6B01F1/Insulation_ME4E93A022E848990E040EBCD2C6B1951/files/Insulation%20Solutions.pdf

[12] BARTLO, John. Open vs. Closed Cell Foam. *Energsmart: High efficiency foam insulation* [online]. Grand Island (USA): Energsmart, c2009-2014 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.energsmart.com/spray-foam-insulation/open-vs-closed-cell-foam.html>

[13] Closed- and Open-Cell Spray Polyurethane (PU) Foam. *Polyurethanes: sustainable solutions for low energy buildings* [online]. Brussels: PU Europe, 2014 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.excellence-in-insulation.eu/site/fileadmin/user_upload/PDF/library/facts/Factsheet_22_Differences_between_closed-cell_and_open-cell_spray_polyurethane__PU__foam.pdf

[14] Polyurethane. *Wikipedia* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 14.3.2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>

[15] Polyol Resin Blends Safety and Handling Guidelines. *AmericanChemistry.com* [online]. Washington, USA: American Chemistry Council, 2013 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://polyurethane.americanchemistry.com/Resources-and-Document-Library/3859.pdf>

[16] Natural oil polyols. *Wikipedia* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 24.8.2015 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_oil_polyols

- [17] Dow Polyurethanes - TDI Role in Foam Formulation. *Dow* [online]. Midland (USA): The Dow Chemical Company, 2014 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://dowac.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/5697
- [18] Isokyanát. *Sensagent* [online]. France: Sensegates Sarl, c2012 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://dictionary.sensagent.com/Isokyan%C3%A1t/cs-cs/>
- [19] What Is Hypersensitivity Pneumonitis. *NIH: National Heart, Lung, and Blood Institute* [online]. Bethesda (USA): NHLBI, 9.3.2014 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://www.nlm.nih.gov/health/health-topics/topics/hp>
- [20] Plíce. *Wikipedia* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 30.4.2015 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%ADce>
- [21] Isocyanates. *CDC: Centers for Disease Control and Prevention* [online]. Atlanta (USA): CDC, 10.11.2014 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.cdc.gov/niosh/topics/isocyanates/>
- [22] LUBERDOVÁ, Petra. *Intelligentní matrace pro prevenci proleženin*. Liberec, 2011. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce Ing. Ondřej Novák.
- [23] Automotive Cushioning Through The Ages. BLAIR, Ron, John REYNOLDS a Mark WEIRSTALL. *Molded Polyurethane Foam Industry Panel* [online]. Molded Polyurethane Foam Industry Panel, 2008 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://www.moldedfoam-ip.com/linkedpdf/Technical%20Info%20-%20Automotive%20Cushioning%20Through%20the%20Ages.pdf>
- [24] Polyurethanes Insulation for construction. *Huntsman* [online]. Everberg: Huntsman Corporation, c2007 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.huntsman.com/polyurethanes/Media%20Library/a_MC1CD1F5AB7BB1738E040EBCD2B6B01F1/Products_MC1CD1F5AB8081738E040EBCD2B6B01F1/Insul

ation_ME4E93A022E848990E040EBCD2C6B1951/files/broch_insulation_for_construction_021007.pdf

[25] PE pěna [online]. [cit. 2016-5-4]. Dostupné z:

<http://www.balleteurope.cz/produkty/pe-pena/>

[26] Reducing Heating Costs [online]. [cit. 2016-5-4]. Dostupné z:

<http://www.diyadvice.com/diy/plumbing/hvac/reduce-heating-costs/>

[27] Research [online]. [cit. 2016-5-4]. Dostupné z:

<http://web.mit.edu/dmse/csg/Research.html>

[28] Dow Polyurethanes – Polyol Manufacturing [online]. [cit. 2016-5-4]. Dostupné z:

http://dowac.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/5659/

[29] Dow Polyurethanes – TDI Role in Foam Formulation [online]. [cit. 2016-5-4].

Dostupné z: http://dowac.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/5697

[30] Isomers and polymer of methylenediphenyl diisocyanate (MDI) [online]. [cit.

2016-5-4]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MDI_isomers.PNG

[31] Process of making polyuretane [online]. [cit. 2016-5-4]. Dostupné z:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polyurethane.png>

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 – BALÍCÍ MATERIÁL Z PE PĚNY [25]	14
OBRÁZEK 2 – IZOLACE TRUBEK TOPENÍ Z PE PĚNY [26]	14
OBRÁZEK 3 – PĚNA S OTEVŘENOU STRUKTUROU [27]	15
OBRÁZEK 4 – PĚNA S UZAVŘENOU STRUKTUROU [27]	15
OBRÁZEK 5 – REAKCE VZNIKU POLYOLU – DIOLU [28]	16
OBRÁZEK 6 – REAKCE VZNIKU POLYOLU – TRIOLU [28]	17
OBRÁZEK 7 2,4 TOLUEN DIISOKYANÁT [29]	19
OBRÁZEK 8 2,6 TOLUEN DIISOKYANÁT [29]	19
OBRÁZEK 9 – METHYLENEDIFENYL DIISOKYANÁT [30]	19
OBRÁZEK 10 – PROCES TVOŘENÍ PUR PĚNY [31]	21
OBRÁZEK 11 - TRHACÍ STROJ	24
OBRÁZEK 12 – DIGITÁLNÍ POSUVNÉ MĚŘÍTKO	25
OBRÁZEK 13 – DIGITÁLNÍ TLOUŠŤKOMĚR	26
OBRÁZEK 14 – TANK PRO POLYOL	28
OBRÁZEK 15 – TANK PRO ISOKYANÁT	28
OBRÁZEK 16 – MÍCHACÍ HLAVA	29
OBRÁZEK 17 – MÍCHACÍ HLAVA VE FORMĚ	29
OBRÁZEK 18 – VYPĚNĚNÝ BLOK VE FORMĚ	29
OBRÁZEK 19 – ZRÁNÍ VYPĚNĚNÉHO BLOKU	30
OBRÁZEK 20 – VODOROVNÉ ŘEZÁNÍ PUR PĚNY	30
OBRÁZEK 21 – SVISLÉ ŘEZÁNÍ PUR PĚNY	31
OBRÁZEK 22 – NETKANÁ KRYCÍ TEXTILIE	31
OBRÁZEK 23 – ROLE POHLEDOVÉ KRYCÍ TEXTILIE	32
OBRÁZEK 24 – ROLE NEPOHLEDOVÉ KRYCÍ TEXTILIE	32
OBRÁZEK 25 – MATERIÁL PŘIPRAVENÝ NA VLOŽENÍ DO LISU	33
OBRÁZEK 26– MATERIÁL VLOŽENÝ DO LISU	33
OBRÁZEK 27 – VYLISOVANÉ DÍLY	34
OBRÁZEK 28 – ILUSTRACNÍ OBRÁZEK BLOKU PĚNY	34
OBRÁZEK 29 – ILUSTRACNÍ OBRÁZEK ODBĚRU VZORKŮ Z PLACHTY	35
OBRÁZEK 30 – TECHNICKÝ VÝKRES VZORKU	36

OBRÁZEK 31 – PŘEDLOHA K VYŘEZÁNÍ VZORKŮ S OZNAČENÝMI MÍSTY PRO NALEPENÍ REFLEXNÍ PÁSKY	37
OBRÁZEK 32 – 96 VZORKŮ PŘIPRAVENÉ NA ZKOUŠKU	37
OBRÁZEK 33 – STLAČENÍ VZORKU	38
OBRÁZEK 34 – VZOREK UPNUTÝ DO TRHACÍHO STROJE	38
OBRÁZEK 35 – ROZTRŽENÝ VZOREK PO ZKOUŠCE	39
OBRÁZEK 36 – ZNÁZORNĚNÍ MÍSTA NA DÍLE S NEJVĚTŠÍM POŽADAVKEM NA TAŽNOST ...	49
OBRÁZEK 37 – PŘIBLÍŽENÝ MÍSTO S NEJVĚTŠÍM POŽADAVKEM NA TAŽNOST.....	50

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Maximální tažnosti po 1 hodině po stlačení	42
Tabulka 2 – Maximální tažnosti po 24 hodinách po stlačení	42
Tabulka 2 – Celkové maximální tažnosti	43
Tabulka 2 – Maximální tažnosti vzorků z kraje plachty.....	48

Seznam grafů

GRAF 1 – TAŽNOST VS. SÍLA VZORKŮ BEZ STLAČENÍ.....	39
GRAF 2 - TAŽNOST VS. SÍLA VZORKŮ PO 25% STLAČENÍ PO 1 HODINĚ RELAXACE.....	40
GRAF 3 - TAŽNOST VS. SÍLA VZORKŮ PO 50% STLAČENÍ PO 1 HODINĚ RELAXACE.....	40
GRAF 4 - TAŽNOST VS. SÍLA VZORKŮ PO 75% STLAČENÍ PO 1 HODINĚ RELAXACE.....	41
GRAF 5 - TAŽNOST VS. SÍLA VZORKŮ BEZ STLAČENÍ	41
GRAF 6 - TAŽNOST VS. SÍLA VZORKŮ PO 25% STLAČENÍ PO 24 HODINÁCH RELAXACE	42
GRAF 7 - TAŽNOST VS. SÍLA VZORKŮ PO 50% STLAČENÍ PO 24 HODINÁCH RELAXACE	42
GRAF 8 - TAŽNOST VS. SÍLA VZORKŮ PO 75% STLAČENÍ PO 24 HODINÁCH RELAXACE	43
GRAF 9 – REGRESNÍ PŘÍMKA STLAČENÍ A TAŽNOSTI PO 1 HODINĚ RELAXACE	46
GRAF 10 - REGRESNÍ PŘÍMKA STLAČENÍ A TAŽNOSTI PO 24 HODINÁCH RELAXACE	47
GRAF 11 – CELKOVÁ REGRESNÍ PŘÍMKA STLAČENÍ A TAŽNOSTI	48
GRAF 12 – TAŽNOST VS. SÍLA VZORKŮ Z KRAJE PLACHTY	51

