

# Speciální zkouška tahem pryžových kompozitů

Martin Bárta

---

Bakalářská práce  
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin BÁRTA**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Speciální zkouška tahem pryžových kompozitů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Navrhněte metodiku měření na speciálním upínacím přípravku
3. Provedte experimentální zkoušky pro upnutí v běžně používaných čelistech a ve speciálním upínacím přípravku
4. Provedte vyhodnocení experimentálních zkoušek pro oba typy upnutí

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. František Rulík, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**20. února 2009**

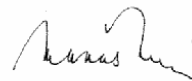
Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2009**

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce byla vypracována na téma „Speciální zkouška tahem pryžových kompozitů“. Teoretická část práce se zabývá statickými mechanickými zkouškami, dále pak rozdělením polymerních materiálů a způsoby jejich zpracování. Cílem praktické části bylo měření ve speciálních čelistech, ověření jejich funkčnosti a porovnání výsledků s hodnotami naměřenými v běžně používaných čelistech pomocí odvozeného vztahu.

Klíčová slova: tahová zkouška, upínací přípravek, kompozit, pryž

## **ABSTRACT**

„Special Stretching test of rubber composites“ is a subject matter of my final Bachelor's writing. The theoretical part deals with static mechanical tests, further with the division of polymer materials and methods of their processing. The aim of the practical part was measuring in special clamping jaws, then verification their functionality and finally comparison of the obtained results with readings that were recorded in common used clamping jaws with the help of the derived relation.

Keywords: tensile test, clamping grip, composites, rubber

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Františku Rulíkovi, CSc., za odborné vedení, čas a ochotu, kterou mi věnoval při vypracovávání bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....

Podpis diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ZKOUŠKY VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ</b> .....	<b>10</b>
1.1 MECHANICKÉ ZKOUŠKY .....	10
1.2 MECHANICKÉ ZKOUŠKY STATICKÉ .....	11
1.2.1 Zkušební zařízení .....	11
1.2.2 Zkouška tahem .....	12
1.2.3 Zkouška tlakem .....	16
1.2.4 Zkouška ohybem .....	17
1.2.5 Zkouška stříhem .....	19
<b>2 MATERIÁLY</b> .....	<b>20</b>
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	20
2.2 TERMOPLASTY A REAKTOPLASTY .....	20
2.2.1 Doplnující přísady plastomerů .....	21
2.3 ELASTOMERY .....	22
2.3.1 Gumárenská směs.....	23
2.4 NĚKTERÉ ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ POLYMERŮ.....	24
2.4.1 Válcování .....	24
2.4.2 Vytlačování .....	27
2.4.3 Vstřikování.....	29
2.4.4 Vyfukování.....	30
2.4.5 Máčení.....	30
2.4.6 Lisování.....	30
2.5 VYBRANÉ KAUČUKY A JEJICH VLASTNOSTI.....	31
<b>3 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE</b> .....	<b>34</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>35</b>
<b>4 UNIVERZÁLNÍ ZKUŠEBNÍ STROJ</b> .....	<b>36</b>
4.1 PARAMETRY ZKUŠEBNÍHO STROJE ZWICK 145 665 .....	37
<b>5 METODIKA MĚŘENÍ NA SPECIÁLNÍM UPÍNACÍM PŘÍPRAVKU</b> .....	<b>38</b>
<b>6 VÝPOČETNÍ ČÁST</b> .....	<b>39</b>
6.1 ROZBOR PŮSOBÍCÍCH SIL .....	39
6.2 ODVOZENÍ VZTAHU PRO MODUL PRUŽNOSTI.....	40
<b>7 PŘÍPRAVA VZORKŮ</b> .....	<b>41</b>
7.1 SLOŽENÍ MATERIÁLU .....	41
7.2 VULKANIZACE.....	42
<b>8 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>44</b>

8.1	ZKOUŠKA TAHEM V BĚŽNĚ POUŽÍVANÝCH ČELISTECH.....	44
8.2	ZKOUŠKA TAHEM VE SPECIÁLNÍM PŘÍPRAVKU .....	53
<b>9</b>	<b>ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ZÍSKANÝCH ZE SPECIÁLNÍ ZKOUŠKY TAHEM.....</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ Z OBOU ZPŮSOBŮ MĚŘENÍ.....</b>	<b>63</b>
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>73</b>

## ÚVOD

Mezi základní druhy namáhání patří tah, tlak, ohyb, krut a stříh. V technické praxi bývají výrobky namáhány kombinací těchto základních namáhání.

Vhodnost materiálu k použití na výrobek, který je zatěžován základními druhy namáhání, stanovujeme pomocí mechanických statických zkoušek. Tyto zkoušky nesou názvy podle druhu namáhání, kterým je zkoušený materiál zatěžován. Například pokud materiál namáháme tahem, jedná se o zkoušku tahem a podobně odvozujeme zkoušky tlakem, ohybem, krutem, smykem. Nejčastěji prováděná je zkouška tahem a provádí se téměř u všech materiálů.

V dnešní době je rozvoj polymerních materiálů obrovský. Samotné polymerní materiály můžeme obohacovat o plniva a různé přísady do zpracovatelských směsí. Vliv těchto změn můžeme také vyhodnotit pomocí mechanických zkoušek a stanovit zda-li je pro naše využití přínosné či nikoliv.

Mechanické zkoušky se provádí nejen pro zjišťování vlastností materiálu, ale také pro kontrolu materiálu. Těmito zkouškami zjišťujeme jestli materiál opravdu odpovídá předepsaným hodnotám, které výrobce deklaruje a také ke snížení poruchovosti výrobků.

Aby zkoušky byly provázeny vždy za stejných podmínek a dosažené výsledky byly objektivní používáme předepsanou normu, která určuje postup a podmínky měření.

Cílem této práce je zpracování úvodu do daného problému, dále provést tahovou zkoušku elastomerního kompozitu ve speciálním upínacím přípravku. Tyto dosažené výsledky budou porovnány s výsledky získanými v univerzálních upínacích čelistech.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZKOUŠKY VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ

Výběr materiálu pro výrobu různých součástí i stavbu konstrukcí a zařízení je založen na znalosti mechanických, technologických, fyzikálních i chemických vlastností materiálu. Prvý krok výběru materiálu spočívá v rozboru těch vlastností, které jsou pro daný účel nejdůležitější (např. jestli bude zatěžování pomalé nebo rázové, potřebujeme materiál pevný nebo tvárný). [2]

Mechanické vlastnosti materiálu jsou prakticky čtyři:

- pružnost
- plasticita
- pevnost
- houževnatost

**Pružnost-** vlastnost těles nabyt původního tvaru, přestane-li na ně působit síly, které vyvolaly jejich přetvoření. [7]

**Plasticita-** schopnost pevné hmoty podržet deformace, vyvolané účinkem vnějších sil.[7]

**Pevnost-** schopnost materiálu nebo součásti odolávat účinkům působení sil, aniž by došlo v některém místě k porušení. [7]

**Houževnatost-** odolnost materiálu s velkou tvárností a pevností proti vzniku lomu. Je podmíněna velkou schopností k plastické deformaci. [7]

## 1.1 Mechanické zkoušky

Těmito zkouškami získáváme údaje nutné pro návrh tvaru, rozměrů a materiálů strojních součástí.

Z hlediska působení síly na zkušební těleso rozdělujeme mechanické zkoušky na:

- Statické zkoušky- při nichž zatížení zvětšujeme poměrně zvolna. Působí obvykle minuty, při dlouhodobých zkouškách dny až roky.
- Dynamické zkoušky rázové a cyklické- při kterých působí síla nárazově po zlomek sekundy. při cyklických zkouškách (tzv. zkoušky na únavu materiá-

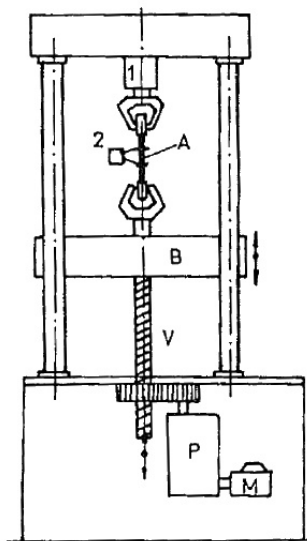
lu) se proměnné zatížení opakuje i mnoha cykly za sekundu až do milionů jejich celkového počtu. [8]

## 1.2 Mechanické zkoušky statické

Tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál zatěžujeme pozvolna bez rázu, a to buď pouze jednou, nebo zatěžování několikrát opakujeme. Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevnosti. Podle způsobu působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu. [8]

### 1.2.1 Zkušební zařízení

K základnímu vybavení laboratoře mechanických zkoušek patří univerzální zkušební stroj, na kterém se provádí zkoušky tahem, tlakem a zkouška ohybem. Se sériovou výrobou zkušebních strojů se začalo na konci minulého století. Princip stroje zůstal zachován do dnešní doby. Stroj (obr. 1) tvoří pevný rám, v jehož horní části je umístěn dynamometr 1- zařízení pro měření síly. Zkušební těleso A je jedním koncem uchyceno k dynamometru a druhým koncem k pohyblivému příčnicku B. Příčnick je uváděn do pohybu motorem M, přes vřeteno V a převodovou skříň P. Při pohybu příčnicku dochází k postupnému zatěžování a deformaci zkušebního tělesa. deformace tělesa je registrována průtahoměrem 2. Vhodnou úpravou uchycení zkušebního tělesa a průtahoměru se na tomto stroji provádí i ostatní mechanické zkoušky. [2]

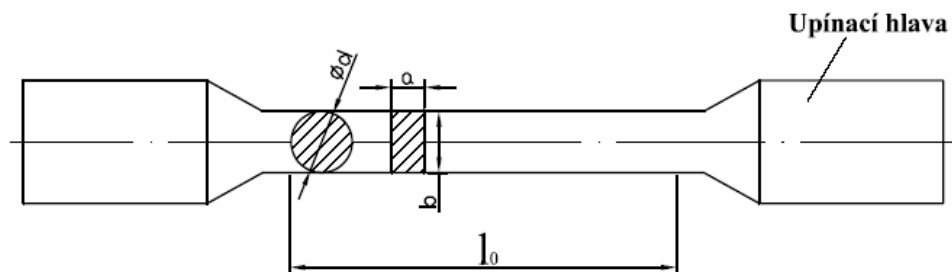


obr. 1. Schéma univerzálního trhacího stroje

V šedesátých letech byl vyvinut elektronický servohydraulický zkušební stroj, který umožňuje během zkoušky regulovat časový průběh jedné ze tří snímaných veličin – pohyb přičníku, prodloužení zkušebního tělesa, případně sílu. V současné době takovýto způsob řízení chodu zkušebního stroje je běžný i u mechanických zkušebních strojů řízených počítačem. [2]

### 1.2.2 Zkouška tahem

Je nejrozšířenější statickou zkouškou. je nutná téměř u všech technických materiálů, protože jí získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbou vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány (obr. 2). Vlastní měřená délka  $l_0$  závisí na průřezu zkušební tyče a je při kruhovém průřezu u dlouhé tyče  $10 d_0$  a u tyče krátké  $5 d_0$ . Abychom mohli měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačíme na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10 mm. Trhací zkouškou zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a zúžení (kontrakci) zkoušeného materiálu. [8]



obr. 2. Ukázka zkušební vzorku pro tahovou zkoušku

Tato zkouška je normalizovaná dle normy ČSN EN 10 002-1- Zkouška tahem za okolní teploty.

Pevnost v tahu (mez pevnosti v tahu)  $R_{Pt}$  je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly  $F$ , kterou snese zkušební tyč a původního průřezu tyče  $S_0$ .

$$R_{Pt} = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad [MPa] \quad (1)$$

Byla-li původní délka zkušební tyče  $l_0$  a délka zjištěná při přetržení  $l$ , je celkové prodloužení (změna délky):

$$\Delta l = l - l_0 \quad [mm] \quad (2)$$

Poměrné prodloužení  $\varepsilon$  je dáno poměrem změny délky  $\Delta l$  k původní délce zkušební tyče  $l_0$ .

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad [-] \quad (3)$$

Tažnost  $\delta$  je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech původní délky:

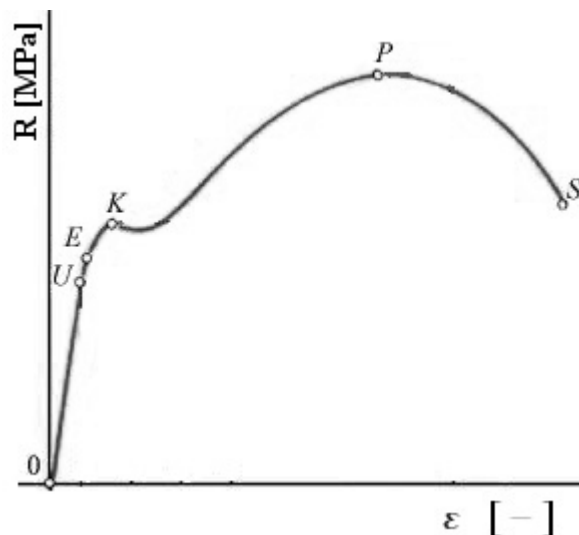
$$\delta = \frac{l - l_0}{l} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

U tažnosti uvádíme index ( $\delta_5, \delta_{10}$ ), zda byla získána na krátké či dlouhé tyči.

Kontrakce (zúžení průřezu)  $\varphi$  je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení k původnímu průřezu tyče  $S_0$ . Vyjadřujeme ji v procentech:

$$\varphi = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Trhací stroje kreslí v průběhu trhací zkoušky pracovní diagram, udávající závislost poměrného prodloužení  $\varepsilon$  na napětí  $R$  (nebo změny délky  $\Delta l$  na zatěžující síle  $F$ ). V pružnosti a pevnosti má význam jen diagram  $\varepsilon$ - $R$ . [8]



obr. 3. Tahová křivka měkké oceli

Z diagramu (obr. 3) vidíme, že zpočátku je prodloužení tyče přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení, a to až do bodu U. Napětí  $R_U$ , odpovídající bodu U, nazýváme mez úměrnosti a definujeme ji jako mezní napětí, při něm je prodloužení ještě přímo úměrné napětí. [8]

Je to tedy oblast ve, které platí Hookův zákon.

$$R = E \cdot \varepsilon \text{ [MPa]} \quad (6)$$

kde E zastupuje modul pružnosti v tahu. Je to směrnice přímkové části tahového diagramu R-ε.

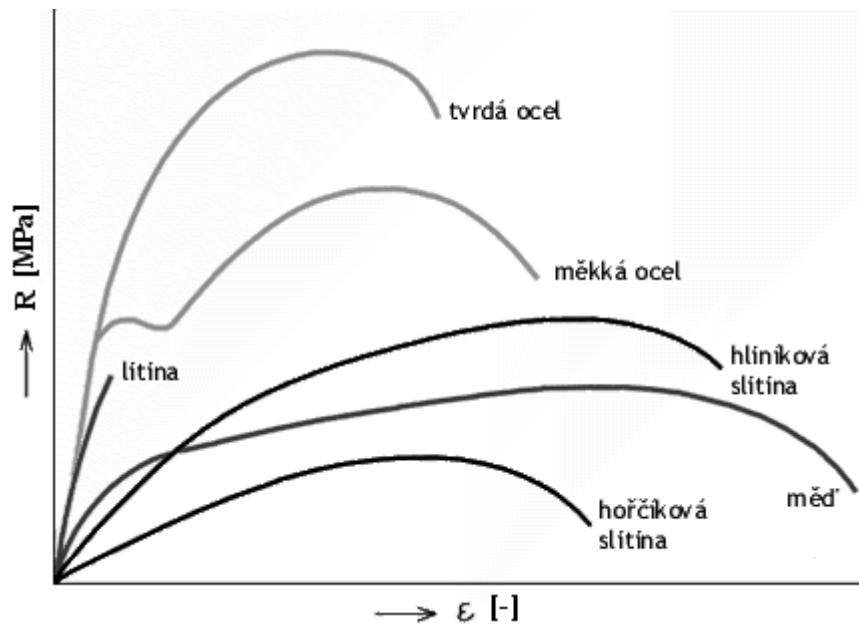
V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až po bod E je protažení pružné, tj. po odlehčení nabývá tyč původních rozměrů. Napětí  $R_E$  odpovídající bodu E je mez pružnosti a definujeme ji jako mezní napětí, které po odtížení (úplném odlehčení) nevyvolává trvalé deformace.

Zvětšujeme-li zatížení dále, nastává přetváření plastické (trvalé) a tyč po odlehčení již nenabude původní délky. Napětí  $R_K$  odpovídající bodu K označujeme jako mez kluzu v tahu a definujeme ji jako nejmenší napětí, při němž nastávají podstatné deformace, které někdy dočasně pokračují, aniž se zároveň zvyšuje napětí.

V technické praxi se za mez pružnosti bere napětí způsobující první trvalou deformaci. Je to smluvní hodnota pro trvalou deformaci zkušební tyče 0,005 % původní měřené délky  $l_0$ . Označujeme ji  $R_{E10,005}$ , krátce  $R_{0,005}$ . Zjišťování této meze je velmi obtížné a zdlouhavé. U některých materiálů prodleva nenastane a mez kluzu nelze zjistit. Proto jako běžnou smluvní hodnotu bereme napětí, které způsobí trvalé prodloužení 0,2 %, tj.  $R_{0,2}$ . Zjišťujeme je průtahoměry.

Od bodu K jde čára diagramu téměř vodorovně, kov jako by tekl, tyč se prodlužuje, aniž vzrůstá zatížení. Někdy se objeví i malý pokles napětí. Při dalším zvětšování zatížení se tyč prodlužuje mnohem rychleji než vzrůstá napětí. Bodu P na vrcholu křivky odpovídá největší napětí  $R_{Pt}$  (mez pevnosti v tahu, tj. pevnost v tahu). Při napětí odpovídajícím bodu S se zkušební těleso přetrhne (skutečné napětí při přetržení je menší než pevnost v tahu).

Křivka pracovního diagramu se mění podle druhu materiálu. Příklady některých materiálů můžeme vidět na obr. 4. [8]



obr. 4. Tahové diagramy různých kovových materiálů

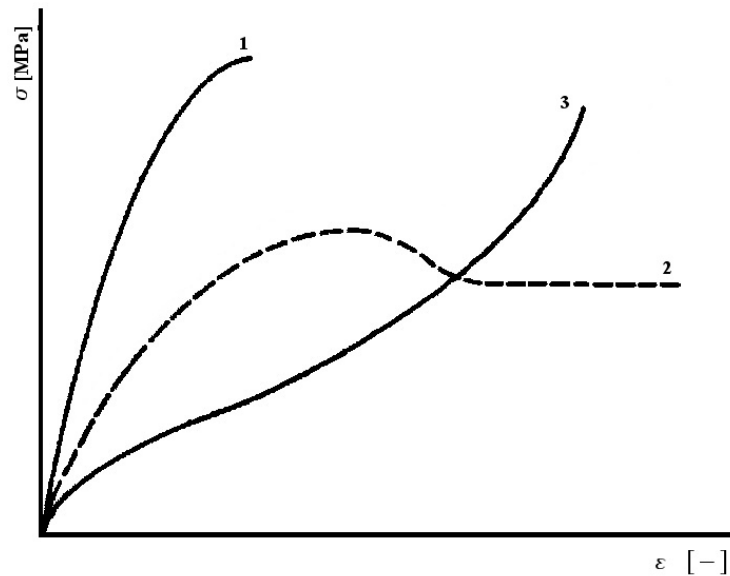
### Tahové diagramy polymerních materiálů

Definice a jednotky veličin měřených u zkoušek polymerních materiálů jsou analogické, jako u kovů. Avšak napětí, které se u kovů označovalo  $R$  se v této oblasti značí  $\sigma$ . V diagramu na obr. 5 můžeme porovnat výsledky tahových zkoušek různých typů polymerů.

Křivka označená číslem 1 popisuje chování látek s vysokou pevností a malou tažností. Tyto materiály nejsou houževnaté a patří mezi ně např. formaldehydové a epoxidové pryskyřice, polystyren, polymetylmetakrylát.

Průběh křivky číslo 2 je přiřazen plastickým materiálům. Zpočátku je průběh lineární s výraznou plastickou oblastí, kde se výrazně projeví horní mez kluzu. Po překonání meze kluzu se materiál orientuje a výrazně klesá napětí. K přetržení vzorku dochází až při mnohonásobném protažení.

Třetí křivka je charakteristická pro elastomerní materiály. Průběh tohoto diagramu je nelineární a plynulý. Z diagramu je patrné, že z počátku se projevují velké deformace při malých napětích.



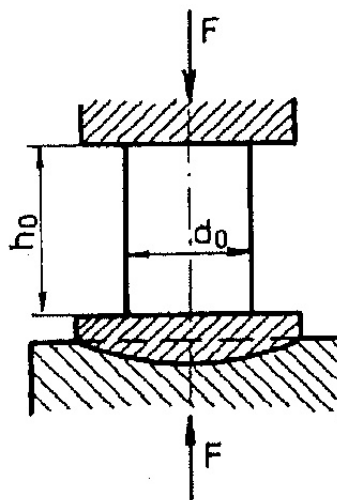
obr. 5. Tahové diagramy polymerních materiálů

1 – polymery s vysokou pevností, 2 – plastické materiály, 3 – elastomerní materiály

### 1.2.3 Zkouška tlakem

Tato mechanická zkouška je již používána méně často než zkouška tahem. Využíváme jí především u křehkých materiálů jako je například šedá litina, ložiskové kovy, stavební hmoty, tedy materiály, které jsou v provozu zatěžovány tlakem.

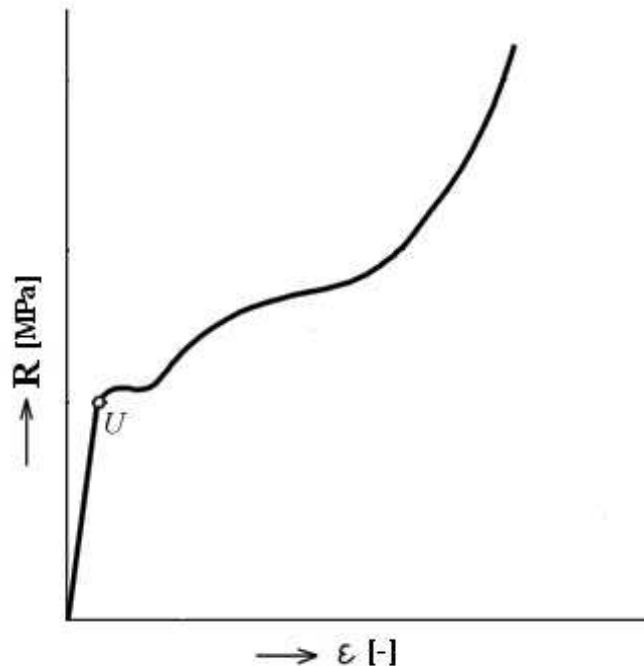
Zkušební tělesem je z pravidla váleček o výšce  $h_0$  a průměru  $d_0$ . Zkušební těleso se uloží mezi dvě podložky, z nichž jedna je uložena v kulovém sedle (obr. 6). Kulové sedlo zajišťuje zatížení v ose válečku.



obr. 6. Schéma zkoušky tlakem



Při zkoušce se zaznamenává tlaková síla v závislosti na velikosti stlačení výšky válečku (obr. 7). [2]



obr. 7. Diagram zkoušky tlakem pro měkkou ocel

Základní veličina pevnost v tlaku je dána vztahem:

$$R_{pd} = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad (7)$$

kde  $F_{\max}$  je síla při porušení a  $S_0$  původní průřez zkušebního tělesa.

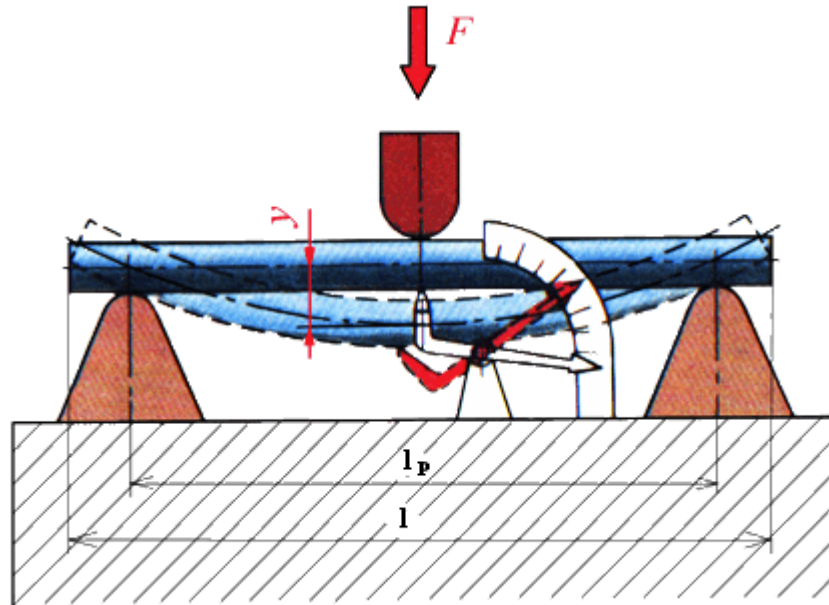
Pro hodnocení mechanických vlastností tvárných materiálů se běžně používá pouze zkouška tahem. Tlaková zkouška u těchto materiálů má však velký význam pro hodnocení objemové tvařitelnosti. Podobně jako u zkoušky tahem i v případě tlakové zkoušky se zjišťuje závislost skutečného napětí na skutečné tlakové deformaci.

#### 1.2.4 Zkouška ohybem

Tato zkouška se provádí na univerzálním zkušebním stroji, který je vybaven upínacím zařízením na zkoušku ohybem. Zkouška ohybem může být tříbodová nebo čtyřbodová. U zkoušky tříbodové je vzorek uložen na dvou podporách a zatěžován jedním trnem. Čtyřbodová zkouška je obdobná, ale zatížení se provádí dvěma trny.

Tato zkouška je pro nás nejvýznamější v oblasti křehkých materiálů. U houževnatých materiálů, u kterých nedochází k lomu při zkoušce ohybem se tato zkouška neuplatňuje.

U tříbodové zkoušky je vzorek zatěžován uprostřed silou, která se plynule zvyšuje (obr. 8).



obr. 8. Schéma zkoušky ohybem

U této zkoušky vyhodnocujeme ohybové napětí  $\sigma_o$ .

$$\sigma_o = \frac{M_o}{\frac{J_z}{e}} = \frac{M_o}{W_o} \text{ [MPa]} \quad (8)$$

V tomto vzorci  $M_o$  zastupuje ohybový moment,  $J_z$  kvadratický moment,  $e$  je vzdálenost vlákna od neutrální osy a  $W_o$  je průřezový modul v ohybu. Průřezový modul se počítá podle vzorců v závislosti na tvaru průřezu.

Dovolené napětí v ohybu určíme ze vztahu:

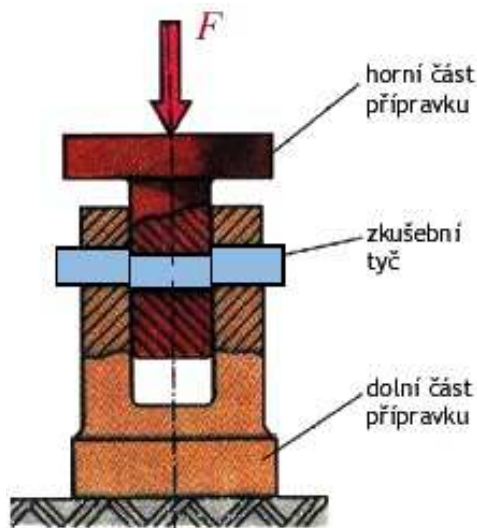
$$\sigma_{od} = \frac{M_{o\max}}{W_o} = \frac{F l_p}{4 W_o} \text{ [MPa]} \quad (9)$$

U zkoušky ohybem lze také určit hodnotu  $y$ , kterou označujeme průhyb zkušebního vzorku.

$$y = \frac{F l_p^3}{48 E J_z} \text{ [mm]} \quad (10)$$

### 1.2.5 Zkouška stříhem

Většina strojních součástí je namáhána jak normálovou, tak i smykovou složkou napětí. U součástí jako jsou např. nýty, šrouby, spojovací klíny převažují smyková napětí. Odolnost materiálu proti stříhu se provádí ve speciálních přípravcích, které se vkládají do univerzálních zkušebních strojů. Zkušebním tělesem je válcová tyč, která se zasune do otvorů v horní i dolní čelisti zkušebního přípravku. Na horní část přípravku působí zatěžovací síla až do porušení zkušebního vzorku (obr. 9).



obr. 9 Schéma zkoušky stříhem

Z největšího zatížení, při kterém se vzorek poruší a z plochy stříhaných průřezů, stanovíme pevnost ve stříhu  $\tau_{PS}$ .

## 2 MATERIÁLY

### 2.1 Rozdělení polymerů

Materiálovou základnu v gumárenské a plastikářské technologii v podstatě tvoří polymery. Jedná se o materiály různého chemického složení s vysokou molekulovou hmotností. Podle deformačního chování rozlišujeme plastomery a elastomery. U prvních jsou charakteristické nevratné (plastické) deformace, u druhých převažují velké vratné (elastické) deformace. Polymery se často doplňují přísadami. Mnohé polymery včetně příměsí a doplněné přísadami se také označují jako plasty. Kaučuky se zamíchanými přísadami v nezvulkanizovaném stavu se nazývají gummy, které pak vulkanizací přecházejí na pryže. Plasty jsou materiály, jejichž podstatu tvoří makromolekulární látky syntetické, přírodní (nebo jejich deriváty), u nichž se dosahuje tvarové změny zpravidla účinkem tepla a tlaku. Tvarová změna se může fixovat fyzikálním nebo chemickým dějem. Podle toho rozlišujeme termoplasty a reaktoplasty.

Termoplasty jsou v podstatě polymerní materiály, které lze ohřevem opakovaně převést do viskózního stavu a zpětným ochlazením pak znova do tuhého stavu.

Reaktoplasty jsou v podstatě polymerní materiály, které viskózním stavem procházejí jen jednou. Zesíťované reaktoplasty jsou zpravidla netavitelné a nerozpustné.

Hranice mezi reaktoplasty a termoplasty není příliš vázána na typ polymeru, neboť tentýž polymer může podle podmínek zpracování být převeden do kteréhokoliv z obou skupin. Např. PE běžně patří mezi termoplasty, ale zesíťováním přechází do skupiny reaktoplastů.[5]

### 2.2 Termoplasty a reaktoplasty

Ke zpracování mohou polymery přicházet v různých formách. V pevném stavu se polymer může vyskytovat jako prášek, granulát, drť nebo může být namotán v balících a rolích. V kapalném stavu můžeme zpracovávat licí pryskyřice, pasty a roztoky. Obecně je manipulace s kapalnou formou polymeru jednodušší než s formou pevnou. V plynném stavu se monomery zpracovávají pouze výjimečně. Např. vytváření polymerních povlaků účinkem elektrického výboje tzv. plazmová polymerace.

### 2.2.1 Doplnující přísady plastomerů

Polymery se nezpracovávají samotné, ale často je doplňujeme různými přísadami. Tyto přísady mají dobrý vliv, jak na jejich zpracovatelské vlastnosti, tudíž nám zlehčují zpracování polymeru, tak i na vlastnosti užité. Znamená to, že vhodnými přísadami můžeme kladně ovlivnit danou vlastnost polymeru. Mezi nejvýznamnější přísady řadíme stabilizátory, změkčovadla, maziva, barviva, plniva, nadouvadla, síťovací činidla, antistatické přísady atd.

*Stabilizátory*- tyto látky zvyšují odolnost polymerního materiálu proti světelným (světelné stabilizátory) nebo tepelným (tepelné stabilizátory) účinkům. Podle různých druhů využití polymeru používáme tomu odpovídající názvy stabilizačních prostředků např. antioxidanty, antiozonanty, zhasíva, retardéry hoření apod. Stabilizační systém volíme podle druhu polymeru.

*Změkčovadla*- jsou látky se změkčovacím účinkem. Změkčováním polymerů zpravidla rozumíme snižování jejich modulu pružnosti, zvyšování mrazuvzdornosti, snižování tvrdosti atd. Podle molekulové hmotnosti je rozdělujeme na nízkomolekulární a vysokomolekulární. První z nich mají zpravidla vyšší změkčovací účinek, ale v systému s polymerem jsou méně stálá. [5]

*Maziva*- tyto přísady používáme ke snadnějšímu zpracování polymerů. Maziva dělíme na dva druhy. Vnitřní maziva zlepšují a ovlivňují tokové vlastnosti polymeru. Maziva vnější se projevují snadnějším pohybem polymeru po stěnách zpracovatelského stroje.

*Barviva*- jsou přísady, které upravují barvu směsi. Nerozpustné barviva se též nazývají pigmenty. Rozpustná barviva mají zpravidla větší sklon k migraci. Podle původu jsou barviva buď anorganická nebo organická. Anorganická barviva jsou zpravidla stálější, ale mívají nižší vybarvovací schopnost. [5]

*Plniva*- jsou přísady, které upravují některé vlastnosti jako tvrdost, modul pružnosti apod. Často také snižují cenu směsi. Podle tvaru jsou prášková, vláknitá nebo útržková. Ztužovací účinek je nejnižší u vláknitých plniv. Některá plniva se povrchově upravují, aby se zlepšila jejich zpracovatelnost, případně aby se příznivě ovlivnily vlastnosti kompozitu. Zvláštní význam u kaučuků mají saze, které mohou velmi výrazně měnit vlastnosti vulkanizátu. [5]

*Nadouvadla*- tyto přísady se používají k výrobě lehčených hmot. Nadouvací materiál při zpracování uvolňuje velké množství plynných zplodin.

*Síťovací činidla*- síťovací činidla používáme k zesíťování polymeru. U plastů nejčastěji používáme peroxidy. U kaučuků se tato činidla nazývají vulkanizační. V této oblasti převládá jako vulkanizační činidlo síra a její sloučeniny.

*Antistatická činidla*- jsou látky, které snižují povrchový odpor výrobků z plastů. Mohou to být vodivé přísady (saze, grafit...), vodivé povlaky (pokovení) nebo látky hydrofilní povahy iontového charakteru, případně sloučeniny s vysokým dipólovým momentem. Antistatická činidla snižují výskyt statického náboje na výrobcích z plastů, což usnadňuje manipulaci s nimi a snižuje nebezpečí znečišťování jejich povrchu usazováním prachu. [5]

Ostatní přísady se přidávají podle účinku. Například to mohou být přísady, které zabraňují zamlžování fólií při balení některých výrobků apod.

Při zpracování se používají také pomocné materiály. Takovéto materiály narozdíl od přísad plní svoji funkci pouze při výrobě, ale ve finálním výrobku již nejsou obsaženy. Patří sem separační činidla, rozpouštědla, bandážovací materiály atd.

### 2.3 Elastomery

Základní složkou elastomerů je kaučuk. Ten známe ve dvou formách, a to přírodní a syntetické. Přírodní kaučuk je obsažen ve formě latexu v některých rostlinách. Hospodářsky je nejvýznamnější strom *Hevea brasiliensis* původem z pralesů Jižní Ameriky. Dneska jsou však plantáže rozšířeny i na Srí Lanku a Malajsii.

Kaučuk se stává důležitou technickou surovinou až po objevení vulkanizace Charlesem Goodyearem v r. 1839. Vývoj gumárenského průmyslu se prudce rozvíjí s automobilismem a k němu patřícími pneumatikami. Dneska kaučuk nachází široké uplatnění.

Syntetické kaučuky používáme jako náhražky za kaučuky přírodní. Existuje několik druhů syntetických kaučuků mezi které patří např. izoprenové, butadienstyrenové, butadienové, ethylenpropylenové, chloroprenové, polyurethanové kaučuky a další.

### 2.3.1 Gumárenská směs

Pro přípravu pryže požadovaných vlastností je potřebné smísit kaučuk s přísadami. Tyto přísady jsou obsaženy v gumárenské směsi v malém množství, ale značně ovlivňují zpracovatelnost a výsledné vlastnosti směsi a tedy i výrobku.

Mezi přísady řadíme vulkanizační činidla, aktivátory a retardéry vulkanizace, urychlovače vulkanizace, plniva a ztužovadla, antidegradanty, změkčovadla, pigmenty a organická barviva, speciální přísady.

*Vulkanizační činidla*- tyto látky jsou schopné vytvářet chemickou reakcí příčné vazby mezi řetězci kaučukového uhlovodíku. Ačkoliv od objevu teplé vulkanizace uběhlo již 170 let a bylo navrženo mnoho látek, které jsou schopny vytvářet příčné vazby, zůstává síra, použitá již Goodyearem k vulkanizaci, hlavním vulkanizačním činidlem. [1]

Často používanými činidly jsou také peroxidy, pryskyřice, oxidy kovů apod.

*Aktivátory vulkanizace*- tato skupina látek umožňuje aktivovat vulkanizační činidla.

*Retardéry*- gumárenské přísady, které jsou schopné regulovat zpracovatelskou bezpečnost směsí a málo ovlivňují rychlost síťování a vlastnosti vulkanizátu. Používají se při zpracování kaučukových směsí, u kterých vznikají problémy s předčasným navulkanizováním směsi tzv. pálení směsi. [3]

*Urychlovače vulkanizace*- přísady z této skupiny výrazně zrychlují vulkanizační proces.

Dělíme je na pomalé, rychlé, velmi rychlé a ultra rychlé urychlovače.

*Plniva*- vulkanizáty ze základní směsi by byly pro většinu technických účelů nepoužitelné, málo odolné a také příliš drahé. K eliminování těchto vlastností využíváme plniva. Kaučukové směsi plníme plnivy nejčastěji ve formě prášku ve větším množství. Přidáním plniva do směsi se mění vlastnosti směsi a následně i pryže. Plniva dělíme na aktivní a neaktivní. Mezi aktivní plniva řadíme ty které ovlivňují technicky důležité vlastnosti.

*Antidegradanty*- zabraňují změnám mechanických vlastností pryží. Zpomalují stárnutí výrobku a prodlužují tedy jeho životnost.

*Změkčovadla*- přísady, které nám usnadňují zpracovatelnost gumárenské směsi tím, že snižují její tuhost. Usnadňují zpracování při válcování, míchání, vytlačování apod.

*Pigmenty*- umožňují dosažení barevnosti výrobků.

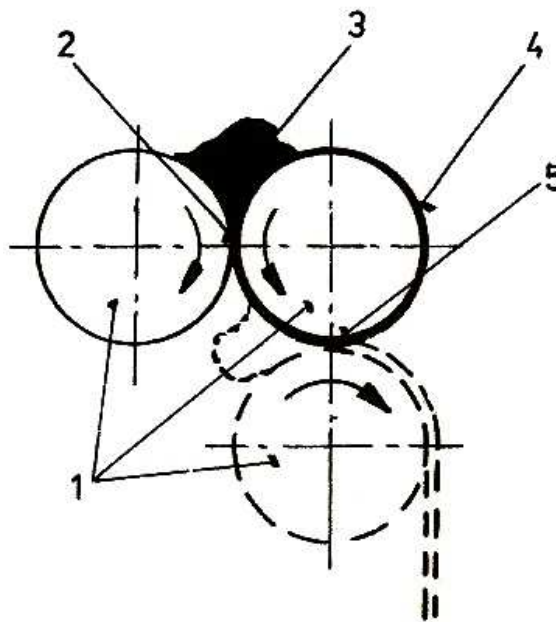
## 2.4 Některé způsoby zpracování polymerů

Zpracovatelské stroje lze třídit z mnoha různých hledisek. Jedno z těchto hledisek bere ohled na charakteristické operace uskutečňované v těchto zařízeních. Např. mlýny, drtiče, sušárny, dopravníky, míchačky, lisy, vstřikovací stroje, vytlačovací stroje, tvarovací stroje a mnoho dalších.

V praxi se požaduje z mnoha důvodů slučovat výrobní stroje a další potřebná zařízení do výrobních linek.

### 2.4.1 Válcování

Tato tvářecí metoda je určena ke zpracovávání plastů nebo kaučukových směsí mezi otáčejícími se válci. Materiál je tvářen ve štěrbině mezi válci (obr. 10).



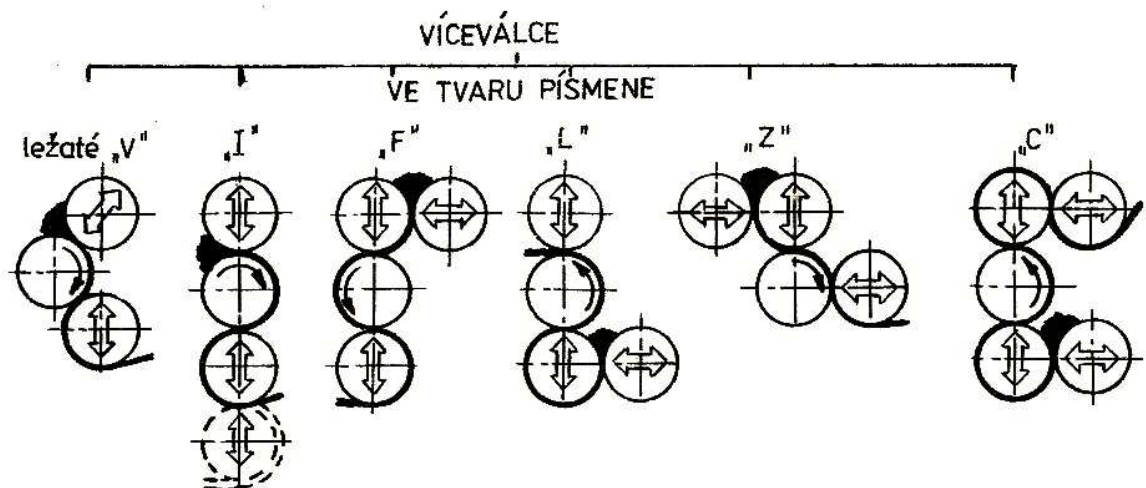
obr. 10. Princip válcování

1- válce, 2,5- skus, 3- návalek, 4- opásání



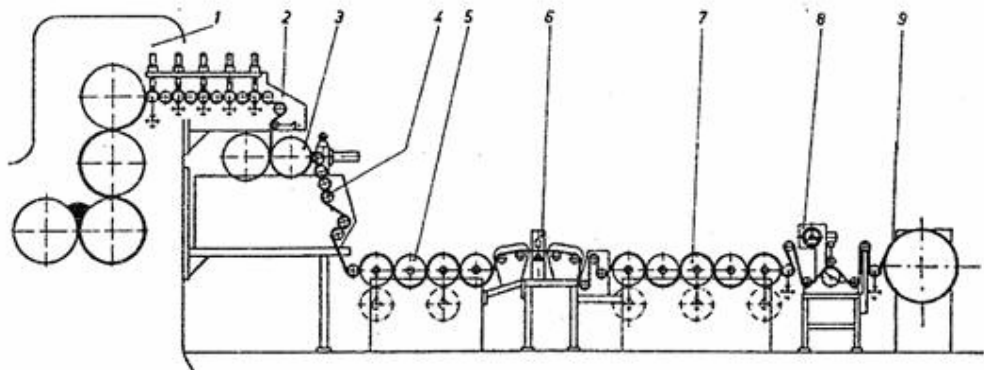
Válcovací stroje můžeme rozdělovat z různých hledisek:

- podle počtu válců
  - dvouválce
  - víceválce (tříválce, čtyřválce, pětíválce)
- podle uspořádání
  - nad sebou (dvouválce)
  - vedle sebe (dvouválce)
  - víceválce podle tvarů písmen V, I, F, L, Z, C
- podle použití
  - míchací
  - ohřívací
  - želatinační
  - drtící
  - mlecí apod.



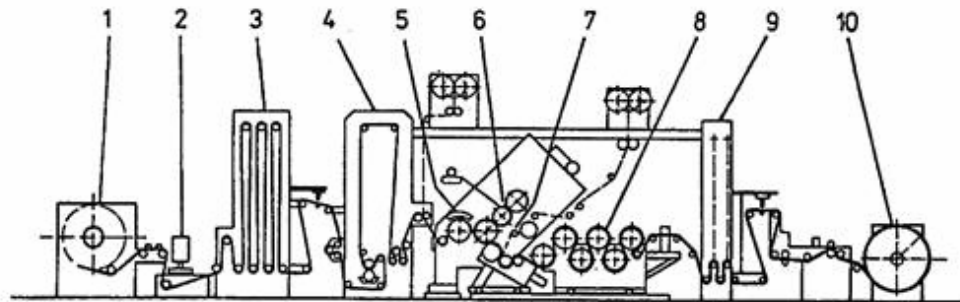
obr. 11. Způsoby uspořádání víceválců

Dvouválce se používají v gumárenském průmyslu k míchání a předeřívání směsí, k válcování pásů a fólií, k mletí pryžového odpadu atd. V plastikářském průmyslu slouží dvouválce k přípravě směsi PVC, k želatinaci nebo plastifikaci, válcování fólií ap. [6]



obr. 12. Linka pro válcování fólií

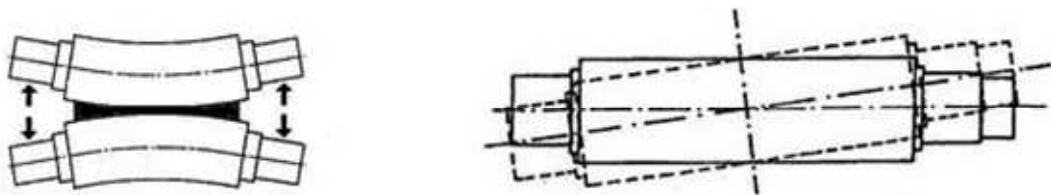
1- čtyřválcový kalandr, 2 – válečkový odtah, 3 - desénovací válce, 4 – odtah, 5 – temperace, 6 – měření tloušťky, 7 – chlazení, 8 – ořezávání okrajů, 9 – navíjecí zařízení



obr. 13. Linka pro nános polymerní fólie na podložku

1- odvíjení textilu, 2 – spojování textilu, např. lepením, 3 - vyrovnávání textilu, 4 – nanášení spojovacího materiálu, 5 – předhřev textilu, 6 – tříválcový kalandr, 7 – desénovací válce, 8 – chlazení, 9 – vyrovnávání, 10 – navíjecí zařízení

Při zpracovávání směsi ve skusu působí materiál silou na válce a tato síla způsobuje prohnutí válců. Výsledkem je fólie, která má na krajích menší tloušťku než uprostřed. Protože tato situace může působit potíže při dalším zpracování, kompenzujeme prohnutí válců křížením os nebo protiprohnutím válců.



obr. 14. Kompenzace prohnutí válců protiprohnutím (vlevo) a křížením os (vpravo)

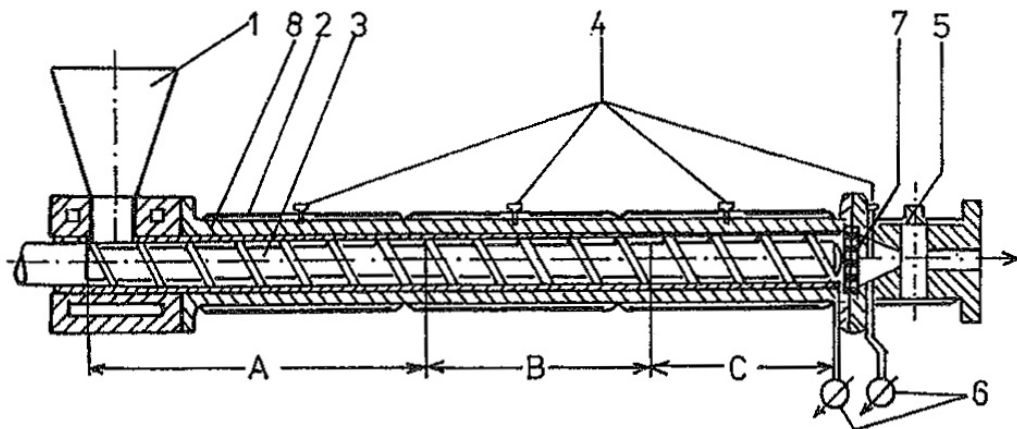
### 2.4.2 Vytlačování

Vytlačovací stroje jsou určeny k vytlačování plastů nebo kaučukových směsí. Funkce stroje záleží zpravidla v převedení materiálu do plastického stavu a vytlačování taveniny profilovacím otvorem do volného prostoru. Potom následuje fixace tvaru a případné další úpravy. Vytlačováním se vyrábějí desky, fólie, trubky a profily. Vytlačovacích strojů lze také použít k přípravě granulátu, k oplášt'ování vodičů a kabelů, zásobování válcovacích strojů atd.[6]

Vytlačovací stroje v gumárenském průmyslu také můžeme používat pro kontinuální míchání směsi, přípravu materiálu pro lisování, pogumování kovových materiálů, zahřívání směsi pro jiné operace, čištění kaučukových směsí.

Vytlačovací stroje se dělí:

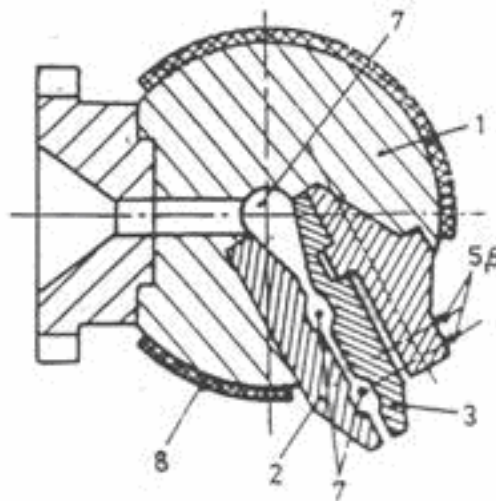
- podle hlavního pracovního elementu
  - pístové
  - diskové
  - šnekové
    - jednošnekové
    - dvoušnekové
    - tříšnekové
  - speciální
- podle polohy pracovního elementu
  - horizontální
  - vertikální



obr. 15. Schéma vytlačovacího stroje

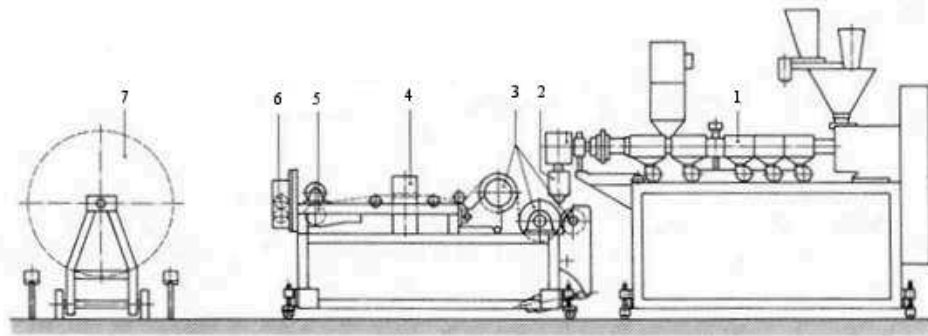
1- násypka, 2 – elektrické odporové topení, 3 – šnek, 4 – termočlánky k měření teploty, 5 – ventil k regulaci tlaku, 6 – snímače tlaku, 7 – lamač, 8 - válec

Vytlačovací stroj je rozdělen na tři části v obrázku označené A, B, C. Zónu A nazýváme vstupní část, zónu B nazýváme přechodovou část a zóna C je výstupní část.



obr. 16. Šikmá plochá vytlačovací hlava

1 – těleso hlavy, 2 – spodní pevná čelist, 3 – horní stavitelná čelist, 5, 6 – stavěcí šrouby, 7 – příčné rozvodné kanály, 8 – topení



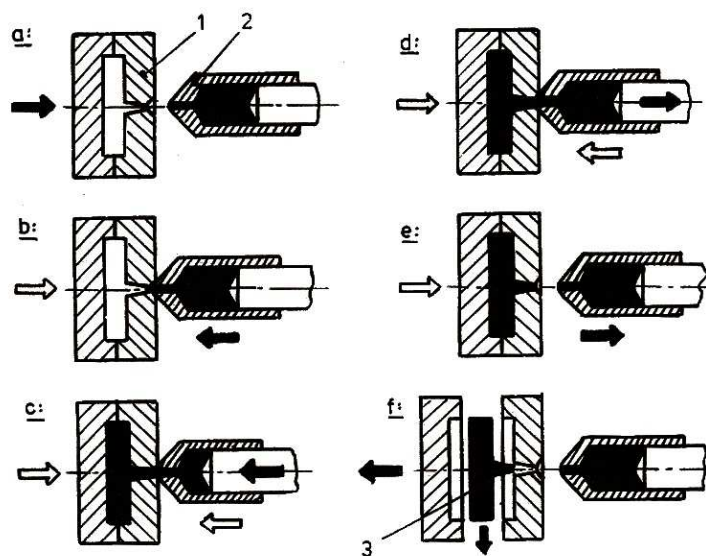
obr. 17. Schéma linky na výrobu tenkých vytlačovaných fólií

1 – vytlačovací stroj, 2 – vytlačovací hlava, 3 – chladicí válce s odtahem, 4 – měření tloušťky, 5 – úprava povrchu, 6 – řezací zařízení, 7 - navíjení

### 2.4.3 Vstříkování

Vstříkováním se označuje takový způsob tváření polymerních materiálů, při kterém se plastifikovaný materiál plní vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy, která je temperována. [5]

Na vstříkovacích strojích lze zpracovávat jak plasty tak i kaučuky. V gumárenském průmyslu je třeba dbát na dobu sesít'ování směsi, aby směs nezvulkanizovala již v rozvodných kanálech formy. Vstříkovací stroje pracují v jednotlivých cyklech (obr. 18) a skládají se z jednotky uzavírací a vstříkovací.



obr. 18. Cyklus vstříkování.

1- forma, 2- vstříkovací jednotka, 3- výrobek

Vstřikovací cyklus je zahájen uzavřením dutiny formy a následným přisunutím vstřikovací jednotky z výchozí polohy. Po příjezdu vstřikovací jednotky je plastický materiál rychle přemístěn z plastikační jednotky do dutiny formy, tedy vstříknut. Ihned po naplnění formy začíná tuhnutí pod tlakem až do zatuhnutí ústí vtoku. Cyklus pak dále pokračuje postupným doplňováním vstřikovací komory plastifikovaným materiálem. Ve formě pokračuje tuhnutí, ale již není pod tlakem. V následující fázi dojde k odsunutí vstřikovací jednotky do výchozí polohy. Na závěr cyklu se otevírá forma a výsledný výrobek je vyjmut. Forma i vstřikovací jednotka jsou ve výchozích polohách a cyklus se může opakovat. Touto technologií se vyrábí tvarově složité výrobky, tenkostěnné výrobky a výrobky, které se vyrábí ve velkých sériích.

#### 2.4.4 Vyfukování

Duté výrobky se mohou vyrábět vyfukováním buď z vytlačovaných profilů nebo ze vstřikovaných parizonů. Podle toho potom rozeznáváme vytlačovací vyfukování a vstřikovací vyfukování. V prvním případě se vytlačený parizon uzavře do formy. Přitom se svaří a uzavře dno a vytvaruje hrdlo. Potom se stlačeným vzduchem vyfoukne a ochladí.

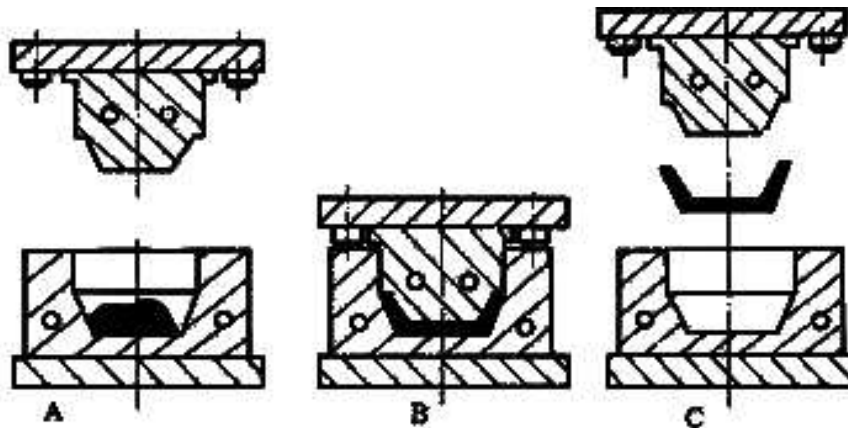
U vstřikovacího vyfukování se vyrobí nejdříve parizon vstříknutím v jedné formě a pak po přemístění parizonu včetně jádra do druhé formy se vyfoukne. Operace následují dostatečně rychle za sebou, aby si parizon zachoval potřebnou teplotu. [6]

#### 2.4.5 Máčení

Latexy se máčením zpracovávají tak, že se nános suší nebo sráží. Při jednom namočení se vytváří vrstva asi 0,05 mm. Používají se porézní modely. Při srážení se pracuje tak, že na modelu se vytvoří vrstva srážedla. Takto upravený vysušený model se máčí a vytvořený film se suší a vulkanizuje v horkém vzduchu. Při jednom namočení se získá tloušťka sráženého filmu 0,5 mm. Modifikuje-li latex přísadou polyvynilmetyléteru a model se předehřeje na 60 – 80 °C, může se dosáhnout tloušťky filmu při jednom namočení až 2 mm. [5]

#### 2.4.6 Lisování

Tímto způsobem rozumíme tváření sypkého nebo tabletovaného materiálu v dutině formy působením tlaku a v některých případech i za působení teploty.



obr. 19. Princip lisování

Lisovací síla je největší síla, která při lisování působí. Lisování dělíme na lisování vysokotlaké ( $p > 3,5$  Mpa) a nízkotlaké ( $p < 3,5$  Mpa).

Výsledný tvar výrobku je zachován buď chemickou nebo fyzikální změnou. Chemická změna je typická pro reaktoplasty a kaučukové směsi. Tento děj u reaktoplastů nazýváme vytvrzování a u kaučukových směsí vulkanizace.

## 2.5 Vybrané kaučuky a jejich vlastnosti

### Butadienstyrenové kaučuky (SBR)

Tyto kaučuky jsou nejvyužívanějším druhem syntetického kaučuku. Největším spotřebitelem této skupiny kaučuků je pneumatikářský průmysl.

Tyto směsi kaučuků mají oproti přírodnímu kaučuku lepší odolnost proti opotřebení při agresivní jízdě, pomaleji stárnou, odolnější proti vzniku trhlin při malých deformacích.

Mezi nevýhody patří malá odolnost proti vzniku trhlin při větších deformacích, menší pevnost, horší dynamické vlastnosti.

### Isoprénové kaučuky (IR)

Tato skupina synteticky vyráběných kaučuků se nejvíce blíží struktuře přírodního kaučuku. Průmyslově vyráběné isopreny nejsou zcela shodné s přírodním kaučukem, ale úpravami a způsobem zpracování je možné dosáhnout i toho, že isoprenové kaučuky dokáží nahradit přírodní kaučuk. Používá se pro pneumatiky nákladních aut.

**Butadienové kaučuky (BR)**

Zujímají druhé místo mezi syntetickými kaučuky na výrobu pneumatik. Butadienové kaučuky se používají ve směsi s jinými kaučuky, protože jejich zpracování je velmi obtížné. Největší oblastí jejich použití je v automobilovém průmyslu, používá se hlavně pro výrobu běhounů pro osobní i nákladní auta.

**Ethylenpropylenové kaučuky (EPM a EPDM)**

Jejich nízká teplota zesklnění jim zaručuje jejich výborné dynamické vlastnosti. Mají také dobrou tepelnou a chemickou odolnost. Využíváme je pro lisované, vytlačované, vstříkované výrobky. Také na výrobu hadic, těsnění, bočnic apod.

**Chloroprenové kaučuky (CR)**

Nejnámější obchodní název těchto výrobků je, produkt firmy Du Pont, Neopren. Se svou velkou elasticitou, malou hořlavostí, odolností proti stárnutí a ovětrnostním vlivům je vhodný pro řadu účelů.

**Butadienakrylonitrilové kaučuky (NBR)**

Jsou velmi odolné proti bobtnání v minerálních olejích a nepolárních rozpouštědlech. Jejich odolnost proti teplotám je také značná. Uplatňuje se v průmyslech kde se výrobek setkává s olejem, benzínem a dalšími nepolárním rozpouštědly.

**Butylkaučuk (IIR)**

Je velmi odolný proti vlhkosti, chemikáliím, ozónu, povětrnostním podmínkám, má vysokou tepelnou stabilitu, malou propustnost plynů, tlumí vibrace a má vysoký koeficient tření.

**Chlórbutylkaučuk (CIIR)**

Tyto směsi mají vynikající odolnost proti stárnutí, oxidaci, ozónu, prolamování, kyselinám, zásadám a kyslíkatým rozpouštědlům. Mají malou trvalou deformaci a strukturní pevnost.

[1]

**Brómbutyl kaučuk (BIIR)**

Výrobce uvádí, že brómbutyl kaučuk má ve srovnání s chlórbutylkaučukem větší rychlost vulkanizace a lepší adhezi k přírodnímu a butadienstyrenovému kaučuku za studena i za



tepla. To je důležité u vložek do bezdušových pneumatik, které jsou v kontaktu s kostrou na bázi přírodního kaučuku nebo butadienstyrenového kaučuku.

### 3 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Cílem této práce je vyhodnotit výsledky tahových zkoušek pryžového kompozitu, získané ze dvou různých typů upnutí na zkoušecím stroji. Upnutí bude realizováno jak pomocí speciálního upínacího přípravku, tak i v klasických upínacích čelistech.

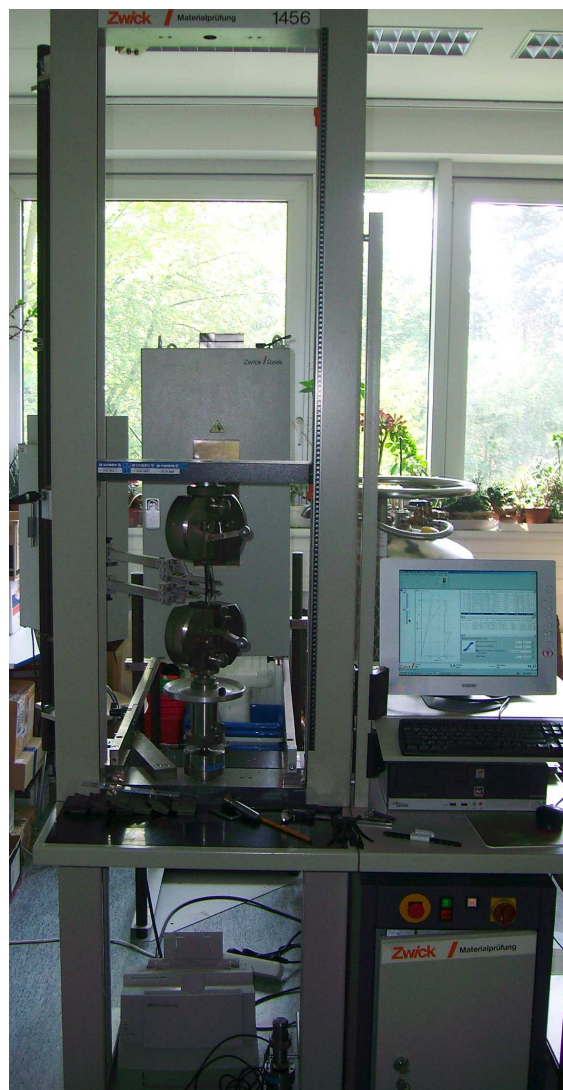
Výsledky z obou typů zkoušek budou vyhodnoceny a vzájemně porovnány. Na základě tohoto porovnání budou stanoveny a zformovány příslušné závěry.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 UNIVERZÁLNÍ ZKUŠEBNÍ STROJ

V Praktické části této práce bude prováděna tahová zkouška pro dva typy upnutí. Jedná se o upnutí v běžně používaných čelistech a upnutí ve speciálním přípravku. Práce navazuje na bakalářskou práci „Upínací přípravek pro speciální zkoušku tahem pryžových kompozitů“ M. Řezníčka [9]. V této práci je navržen speciální upínací přípravek pro zkoušku tahem.

Tahová zkouška pro oba typy upnutí se bude provádět na zkušebním stroji typu ZWICK 145 665. Na tomto stroji je možnost měření tahových i tlakových zkoušek. Stroj je propojen s osobním počítačem a vybaven zkušebním programem TestXpert. Tento program nám umožňuje rychlé a snadné vyhodnocení měřených a žádaných veličin spolu s tahovým respektive tlakovým diagramem.



obr. 20. Univerzální zkušební stroj Zwick

#### **4.1 Parametry zkušebního stroje ZWICK 145 665**

Celková výška: 2012 mm

Celková šířka: 630 mm

Strojová výška: 1284 mm

Pracovní šířka: 420 mm

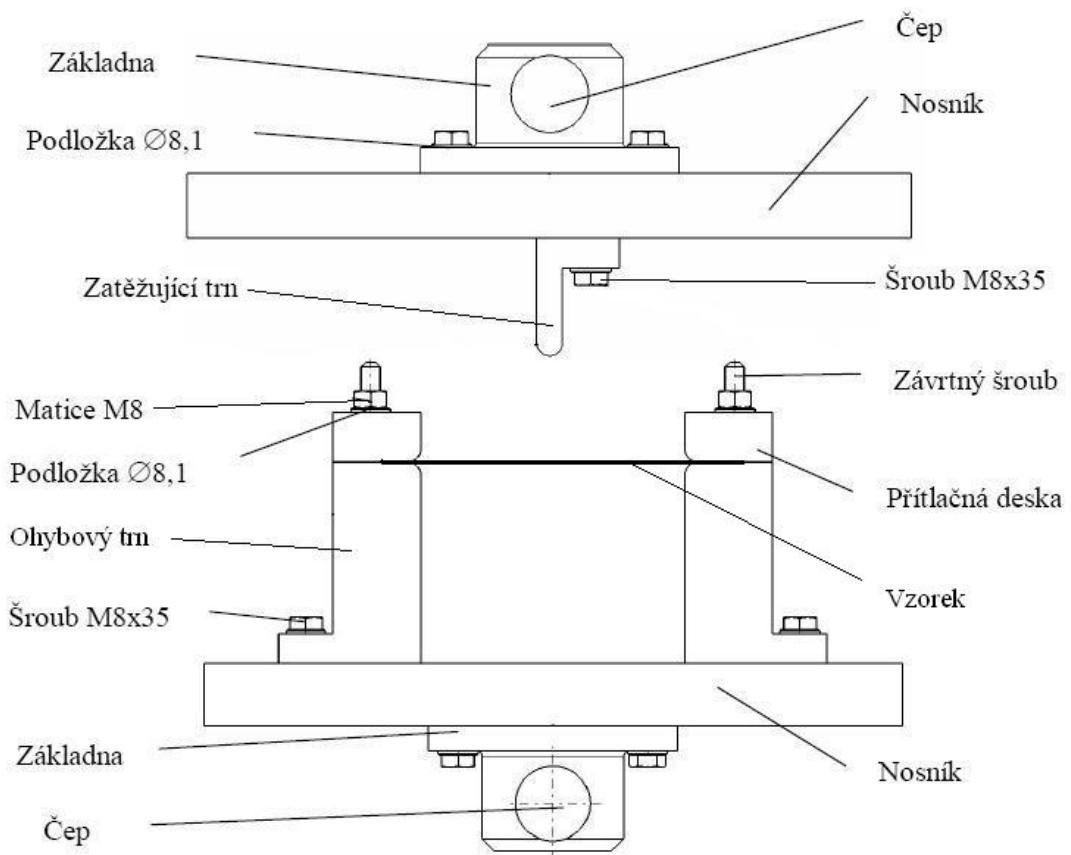
Rozpětí běžných čelistí: 15 mm

Hmotnost: 150 kg

Maximální zkušební síla: 20 kN

## 5 METODIKA MĚŘENÍ NA SPECIÁLNÍM UPÍNACÍM PŘÍPRAVKU

Horní a dolní část přípravku je uchycena pomocí čepu na univerzálním trhacím stroji a dotažena maticí. Zkoušený vzorek je upnut mezi přítlačnou deskou a zatěžujícím trnem a je opět zajištěn proti posunutí závrtnými šrouby (obr. 21. Schéma speciálního upínacího přípravku). Vzájemným pohybem čelistí proti sobě tlačí zatěžující trn na vzorek, který je namáhán tahovou silou.

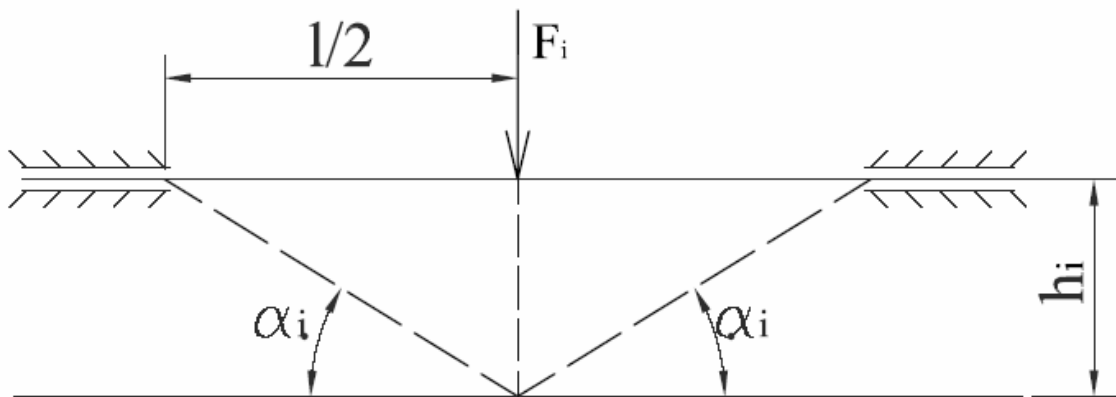


obr. 21. Schéma speciálního upínacího přípravku

## 6 VÝPOČETNÍ ČÁST

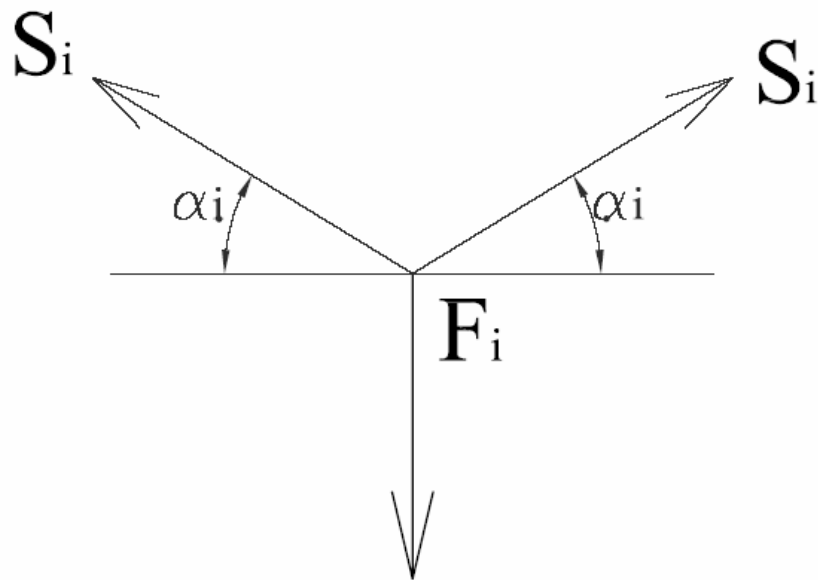
### 6.1 Rozbor působících sil

Pro odvození vztahu pro výpočet modulu pružnosti použijeme následující schéma:



obr. 22. Schéma zatížení vzorku ve speciálním přípravku

Pro libovolnou polohu  $i$  musí tedy platit rovnováha tří sil v rovině a obrázek lze překreslit.



obr. 23. Rovnováha tří sil

$$\text{Rovnováha sil do osy } x: \quad S_i \cdot \cos\alpha_i - S_i \cdot \cos\alpha_i = 0 \quad (11)$$

$$\text{rovnováha sil do osy } y: \quad 2 \cdot \sin\alpha_i \cdot S_i - F_i = 0 \Rightarrow S_i = \frac{F_i}{2 \cdot \sin\alpha_i} \quad (12)$$

## 6.2 Odvození vztahu pro modul pružnosti

Výpočet úhlu  $\alpha$ :

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{h_i}{\frac{l}{2}} \Rightarrow \alpha_i = \operatorname{arctg} \frac{2h_i}{l} \quad (13)$$

Výpočet vnitřní tahové síly  $S_i$ :

$$\sin \alpha_i = \frac{\frac{F_i}{2}}{S_i} \Rightarrow S_i = \frac{F_i}{2 \sin \alpha_i} \quad (14)$$

Délka poloviny vzorku po zatížení:

$$L_i = \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_i^2} \quad (15)$$

Prodloužení mezi body  $i=1$  a  $i=2$ :

$$\Delta L = L_2 - L_1 = \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_2^2} - \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2} \quad (16)$$

Přírůstek poměrného prodloužení  $\Delta \varepsilon$  mezi body  $i=1$  a  $i=2$ :

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta L}{\frac{l}{2}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_2^2} - \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + h_1^2}}{\frac{l}{2}} \quad (17)$$

Přírůstek tahového napětí  $\Delta \sigma$  mezi body  $i=1$  a  $i=2$ :

$$\Delta \sigma = \frac{(S_2 - S_1) \cdot l}{a \cdot b} = \frac{\frac{F_2}{2 \sin \alpha_2} - \frac{F_1}{2 \sin \alpha_1}}{a \cdot b} \quad (18)$$

Modul pružnosti v tahu:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\left( \frac{F_2}{\sin \alpha_2} - \frac{F_1}{\sin \alpha_1} \right) \cdot l}{2 \cdot a \cdot b \cdot \left( \sqrt{l^2 + 4h_2^2} - \sqrt{l^2 + 4h_1^2} \right)} \quad (19)$$



## 7 PŘÍPRAVA VZORKŮ

### 7.1 Složení materiálu

Použity byly různé pryžové kompozitní materiály vyztužené vlákny. Konkrétně se jednalo o tři druhy vláken, a to Polyester, Nylon a Rayon.

**Polyester-** v současnosti je to po bavlně druhé nejpoužívanější vlákno na světě. Mezi největší producenty tohoto výrobku patří Čína a Indie.

*Vlastnosti:*

- vysoká odolnost proti světlu a mikroorganismům
- malá navlhavost (rychlé sušení)
- vzhled velmi podobný přírodnímu hedvábí

*Použití:*

- může být součástí jakéhokoliv textilního výrobku
- pneumatikové kordy, dopravní pásy, šicí nitě
- dutá vlákna polyesteru se používají jako alternativa peří

**Nylon-** první syntetické vlákno vyrobené z uhlí, vody a vzduchu. Nylon je obchodní název pro polyamid 6.6.

*Vlastnosti:*

- dobrá afinita k barvivům
- malá stálost na světlo a vůči povětrnostním vlivům
- sklon ke vzniku statického náboje

*Použití:*

- punčochové zboží, sportovní oděvy
- koberce, podlahové krytiny
- padáky, sítě, provazy, lana, výplet tenisových raket

**Rayon-** je to náhrada přírodního hedvábí.

*Vlastnosti:*

- absorbuje vlhkost, a proto se používá na základní vrstvy oblečení

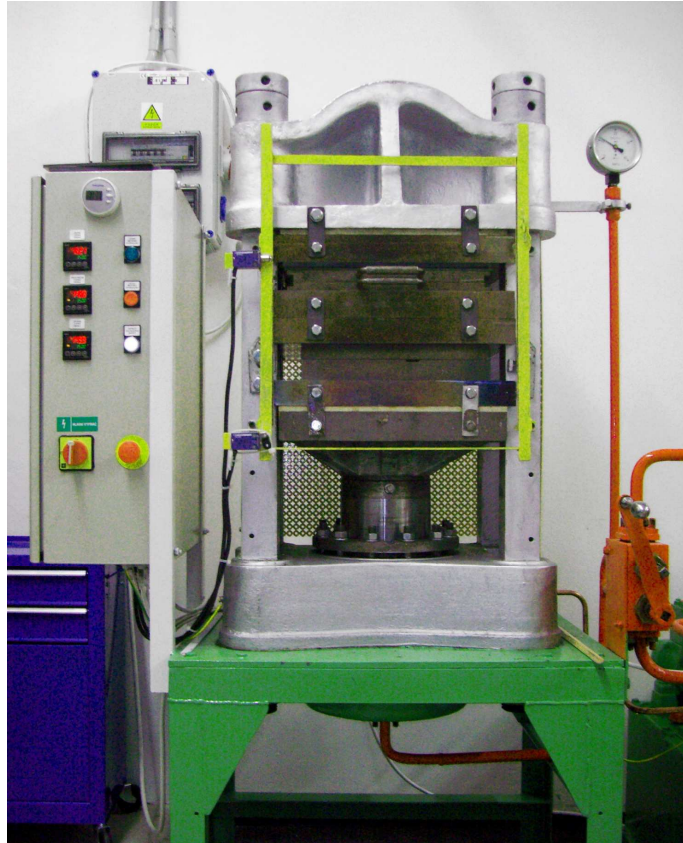
*Použití:*

- nitě, výšivky, textilní výrobky
- hygienické tampóny
- kordy

## 7.2 Vulkanizace

Z uvedených tří pryžových kompozitů byly připraveny vzorky k vulkanizaci o rozměrech 350 x 350 mm. Vulkanizace probíhala u všech materiálů za těchto podmínek:

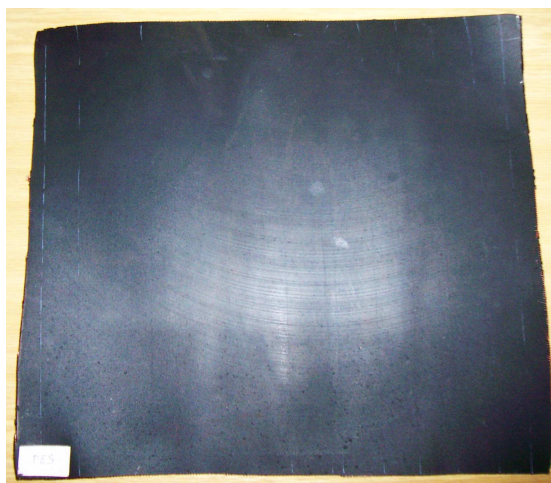
- teplota 150 °C
- čas 12 minut
- tlak 12 MPa



obr. 24. Použitý vulkanizační lis

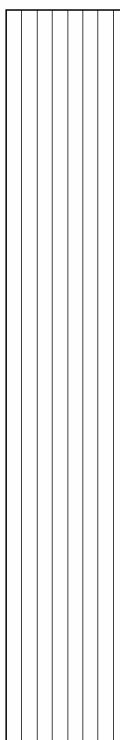


obr. 25. PES před vulkanizací

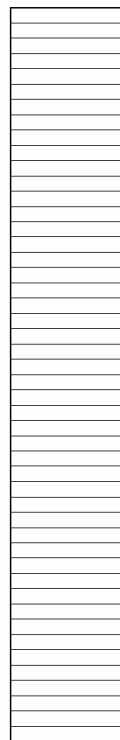


obr. 26. PES po vulkanizaci

Ze z vulkanizovaného materiálu byla vyříznuta zkušební tělíska o rozměrech 150 x 15 mm. Z každého druhu materiálu byly zhotoveny vzorky, které byly zatěžovány po směru vláken (značení A) a vzorky se zatížením kolmo na směr vláken (s označením B).



a)



b)

obr. 27. a) Vzorek s vlákny ve směru zatěžování

b) Vzorek s vlákny kolmými na směr zatížení

## 8 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část práce se zabývá získáním a vyhodnocením hodnot naměřených na univerzálním trhacím stroji již zmíněných vzorků. Měření bylo provedeno pro všechny tři druhy materiálu, pro různé orientace vláken a pro upnutí v běžných čelistech a speciálním přípravku na zkoušku tahem pryžových kompozitů.

Vzorky měly šířku 15 mm a délku 150 mm. Jejich tloušťka závisela na typu materiálu. Tloušťka kompozitu s nylonovými vlákny byla  $a = 0,74$  mm, s vlákny polyesteru  $a = 1,31$  mm a kompozit vyztužený vlákny rayonu měl tloušťku  $a = 0,95$  mm. Každá série měření byla realizována na šesti vzorcích. Celkový počet všech vzorků byl 72.

Všechny zkoušky probíhaly při rychlosti 100 mm/min s předzatěžující silou 2 N.

### 8.1 Zkouška tahem v běžně používaných čelistech

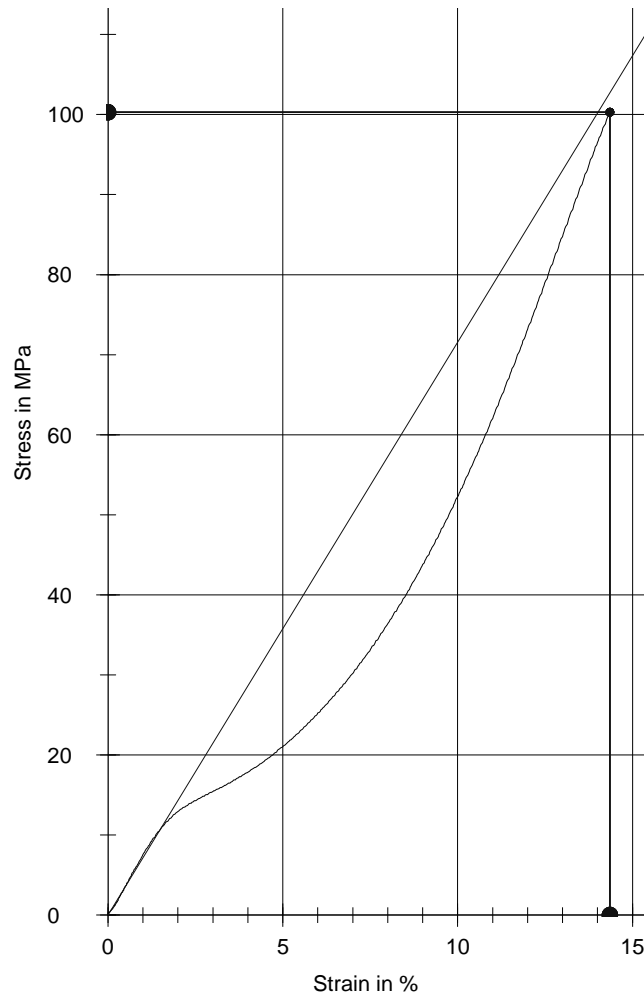


obr. 28. Zkušební samosvorné čelisti pro běžnou zkoušku tahem

Odečítání prodloužení bylo prováděno pomocí extenzometru, který pracoval se základní délkou  $l_0 = 20$  mm.

Pro každý druh pryžového kompozitu (PK) je vyhodnocena tabulka, která obsahuje rozměry vzorku (šířku  $b$  a tloušťku  $a$ ), maximální dosažené napětí  $\sigma_m$ , maximální dosaženou sílu  $F_m$ , poměrné prodloužení  $\varepsilon$  při působení maximální síly a při dosažení maximálního napětí. V neposlední řadě je v tabulce také uveden modul pružnosti v tahu  $E$ .

**PK vyztužený vlákny nylonu ve směru zatěžování A:**



Graf 1. Tahový diagram PK

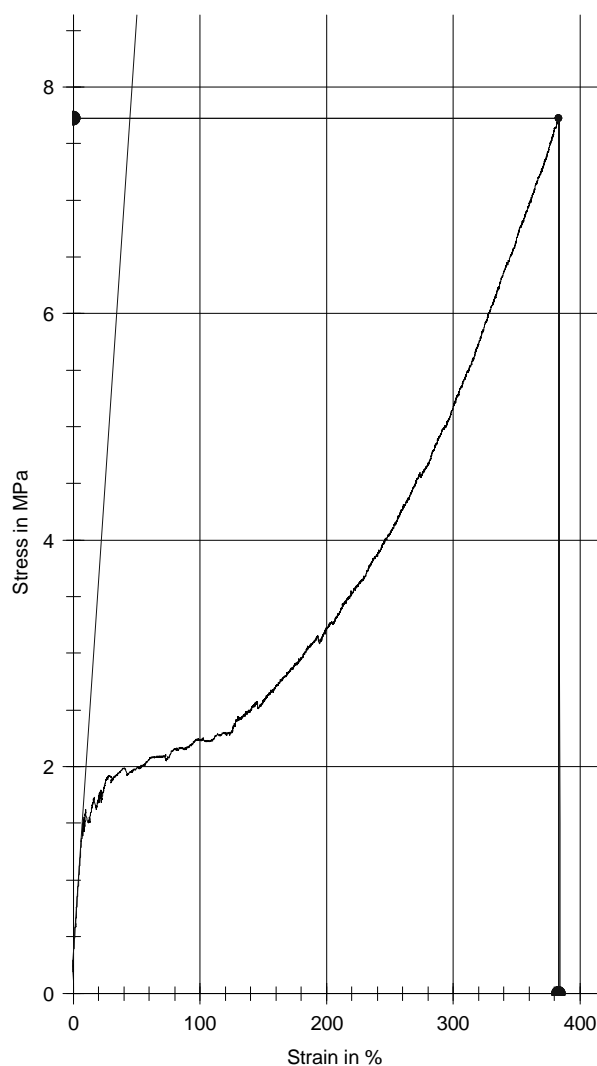
s nylonem ve směru A (vzorek č.6)

$N_A$	a [mm]	b [mm]	$\sigma_m$ [Mpa]	$F_m$ [N]	$\varepsilon_{\sigma m}$ [%]	$\varepsilon_{Fm}$ [mm]	E [Mpa]
1	0,74	15,78	115,95	1353,92	14,7	2,96	719,33
2	0,74	15,78	109,56	1279,3	14,48	2,88	714,94
3	0,74	15,13	100,27	1170,91	14,36	2,87	716,18
4	0,74	15,78	97,01	1132,83	13,54	2,73	723,78
5	0,74	15,78	119,8	1398,97	14,55	2,93	766,62
6	0,74	15,78	101,87	1189,51	13,96	2,81	717,14
Ø			107,41	1254,24	14,27	2,86	726,33

Tabulka 1. Naměřené hodnoty PK s nylonovými vlákny ve směru A



obr. 29. Charakteristické roztržení PK s nylonem ve směru A

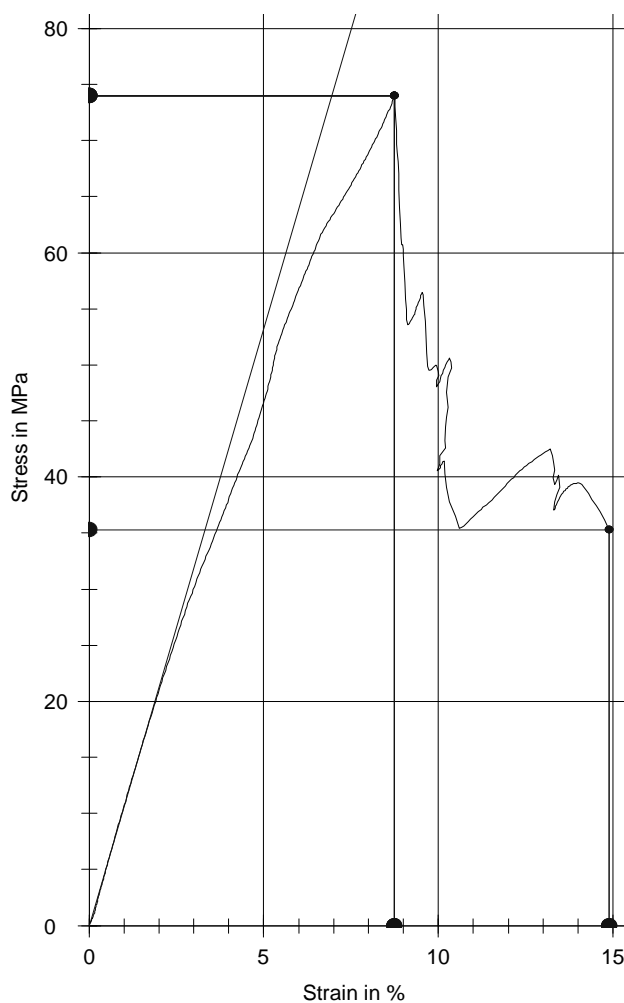
**PK s vlákny nylonu ve směru zatěžování B:**

Graf 2. Tahový diagram PK

s nylonem ve směru B (vzorek č.3)

$N_B$	a [mm]	b [mm]	$\sigma_m$ [Mpa]	$F_m$ [N]	$\varepsilon_{\sigma m}$ [%]	$\varepsilon_{Fm}$ [mm]	E [Mpa]
1	0,74	15,78	7,34	85,71	369,29	74,21	16,80
2	0,74	15,78	7,42	86,61	371,39	74,60	17,47
3	0,74	15,78	7,73	90,21	383,42	77,04	16,58
4	0,74	15,78	6,96	81,32	375,48	75,63	9,69
5	0,74	15,78	6,83	79,74	369,09	74,15	14,64
6	0,74	15,78	6,71	78,41	356,88	71,74	14,28
$\emptyset$			7,17	83,67	370,93	74,56	14,91

Tabulka 2. Naměřené hodnoty PK s vlákny nylonu ve směru B

**PK vyztužený vlákny rayonu ve směru zatěžování A:**

Graf 3. Tahový diagram PK s rayonem  
ve směru A (vzorek č.3)

$R_A$	a [mm]	b [mm]	$\sigma_m$ [Mpa]	$F_m$ [N]	$\varepsilon_{\sigma m}$ [%]	$\varepsilon_{Fm}$ [mm]	E [Mpa]
1	0,95	15,12	76,78	1102,84	9,50	1,90	1353,75
2	0,95	15,12	78,90	1133,38	8,78	1,75	1473,61
3	0,95	15,12	73,97	1062,49	8,74	1,74	1067,15
4	0,95	15,12	81,92	1176,75	8,87	1,77	1359,40
5	0,95	15,12	81,52	1170,91	13,50	2,70	1388,78
6	0,95	15,12	83,15	1194,31	12,97	2,59	1468,37
$\bar{\sigma}$			79,37	1140,11	10,39	2,08	1351,84

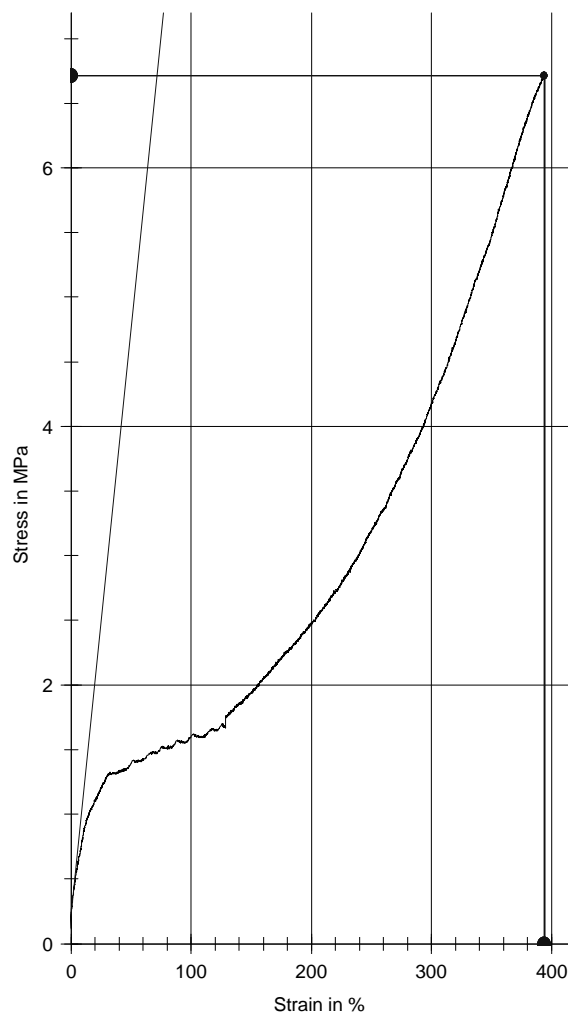
Tabulka 3. Naměřené hodnoty PK s rayonem ve směru A





obr. 30. Charakteristické roztržení PK s rayonem ve směru A

**PK vyztužený vlákny rayonu ve směru zatěžování B:**

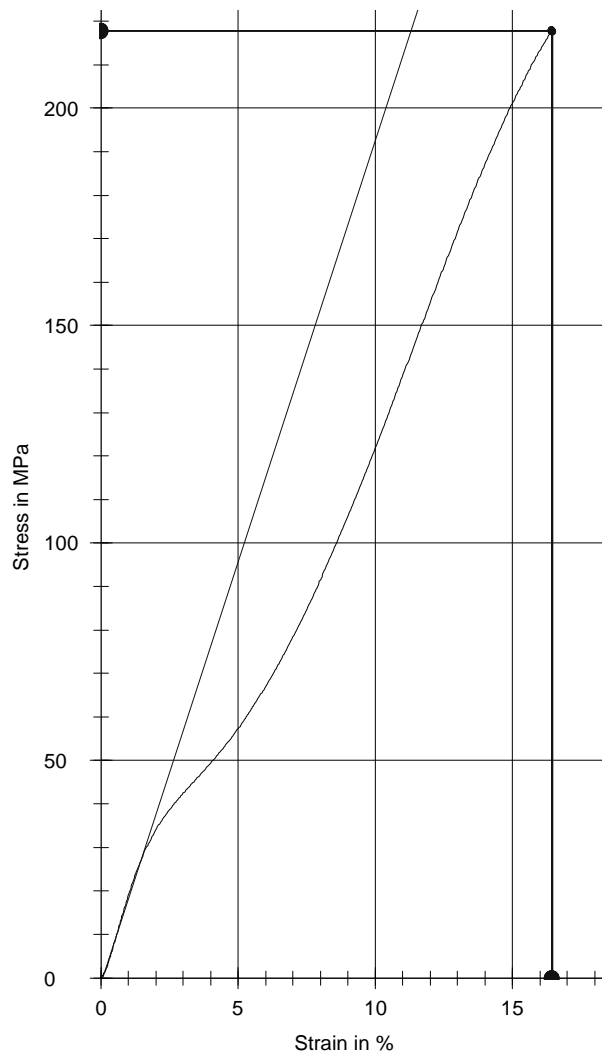


Graf 4. Tahový diagram PK

s rayonem ve směru B (vzorek č.2)

$R_B$	a [mm]	b [mm]	$\sigma_m$ [Mpa]	$F_m$ [N]	$\varepsilon_{\sigma m}$ [%]	$\varepsilon_{Fm}$ [mm]	E [Mpa]
1	0,95	15,12	6,38	91,65	395,98	79,71	7,23
2	0,95	15,12	6,71	96,45	393,96	79,27	9,08
3	0,95	15,12	6,23	89,52	391,64	78,74	9,50
4	0,95	15,12	5,85	84,00	380,58	76,66	8,00
5	0,95	15,12	6,18	88,73	398,12	80,06	9,46
6	0,95	15,12	6,22	89,35	388,76	78,11	10,75
$\emptyset$			6,26	89,95	391,51	78,76	9,00

Tabulka 4. Naměřené hodnoty PK s vlákny rayonu ve směru B

**PK vyztužený vlákny z PES ve směru zatěžování A:**

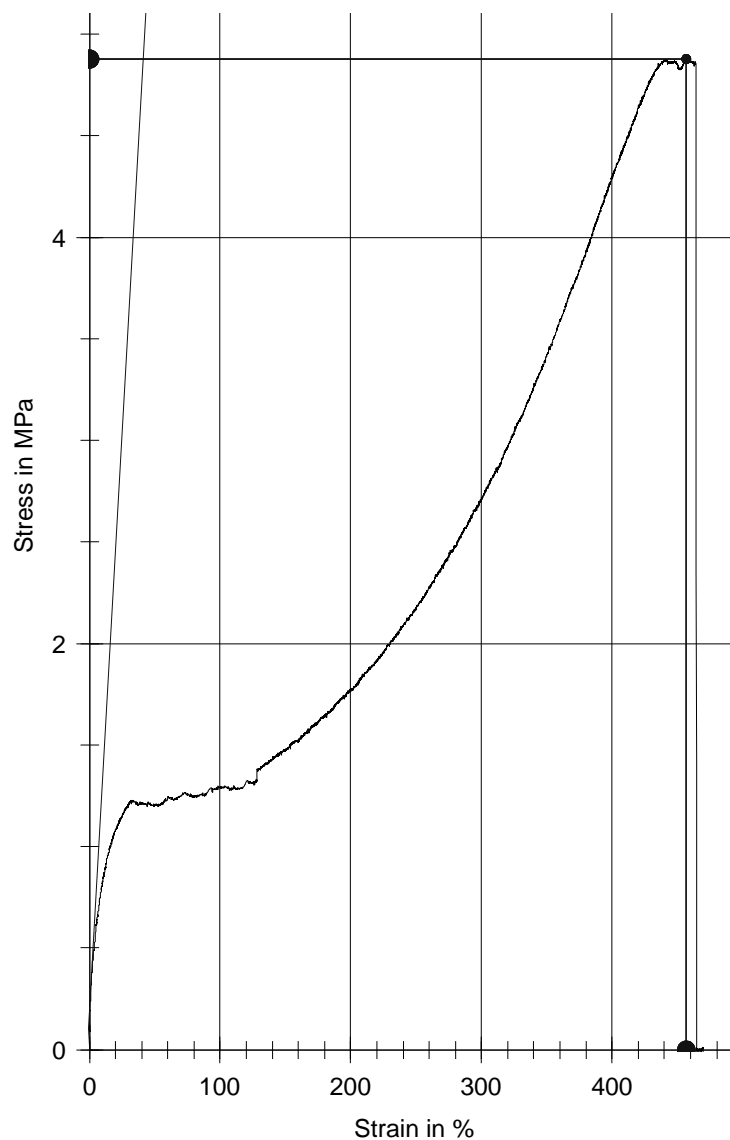
Graf 5. Tahový diagram PK s vlákny polyesteru ve směru A (vzorek č.1)

PES <sub>A</sub>	a [mm]	b [mm]	$\sigma_m$ [Mpa]	F <sub>m</sub> [N]	$\varepsilon_{\sigma m}$ [%]	$\varepsilon_{Fm}$ [mm]	E [Mpa]
1	1,31	15,31	217,89	3169,08	16,43	3,27	1941,70
2	1,31	15,31	139,10	2789,84	14,82	2,88	1066,83
3	1,31	15,31	161,52	3239,38	13,88	2,78	1498,04
4	1,31	15,31	156,18	3132,43	13,26	2,67	1501,33
5	1,31	15,31	151,64	3041,41	13,37	2,69	1403,10
6	1,31	15,31	174,19	3493,55	14,62	2,93	1536,92
Ø			166,75	3144,28	14,40	2,87	1491,32

Tabulka 5. Naměřené hodnoty PK s polyesterem ve směru A



obr. 31. Charakteristické přetržení PK s vlákny polyesteru ve směru A

**PK vyztužený vlákny z PES ve směru zatěžování B:**

Graf 6. Tahový diagram PK s vlákny polyesteru ve směru B (vzorek č.2)

PES <sub>B</sub>	a [mm]	b [mm]	$\sigma_m$ [Mpa]	$F_m$ [N]	$\varepsilon_{\sigma m}$ [%]	$\varepsilon_{Fm}$ [mm]	E [Mpa]
1	1,31	15,31	5,38	107,91	430,79	86,44	11,34
2	1,31	15,31	4,88	97,82	456,67	91,61	11,41
3	1,31	15,31	4,35	87,22	385,32	77,28	11,65
4	1,31	15,31	4,95	99,37	432,46	86,77	12,38
5	1,31	15,31	4,82	96,76	442,01	88,71	10,06
6	1,31	15,31	4,64	93,02	405,71	81,44	12,20
Ø			4,84	97,02	425,49	85,38	11,51

Tabulka 6. Naměřené hodnoty PK s vlákny polyesteru ve směru B

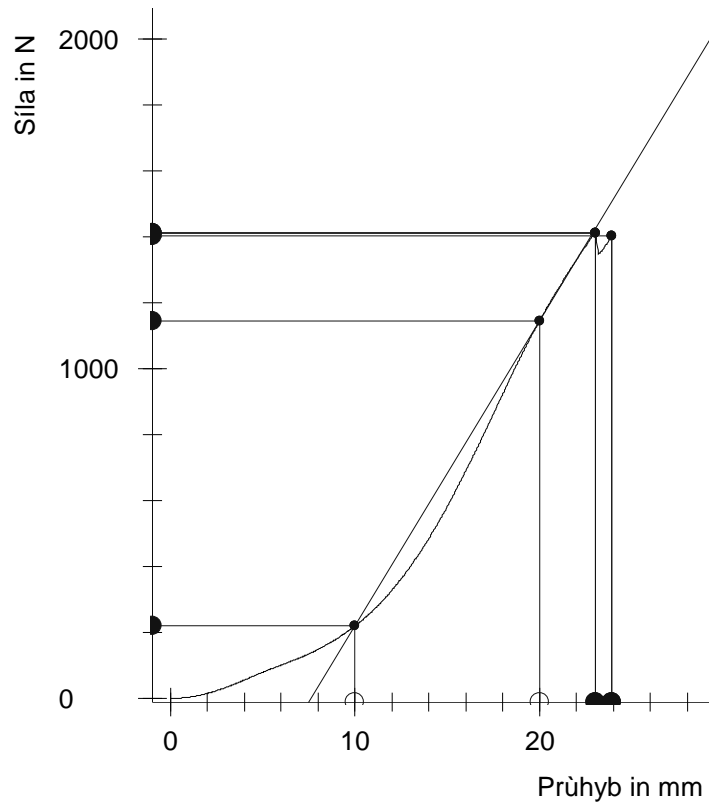
## 8.2 Zkouška tahem ve speciálním přípravku



obr. 32. Speciální upínací přípravek

Ke každé sérii měření byla vypracována tabulka, která obsahuje hodnoty zatěžujících sil  $F_{10}$  pro polohu  $h_1 = 10$  mm,  $F_{15}$  pro polohu  $h_2 = 15$  mm a  $F_{20}$  pro polohu  $h_3 = 20$  mm.

**PK vyztužený vlákny nylonu ve směru zatěžování A:**



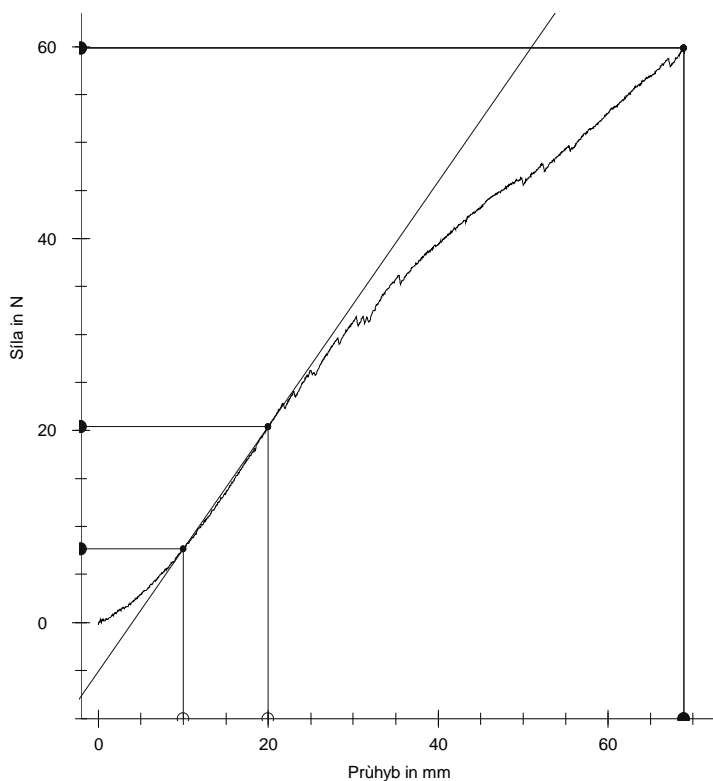
Graf 7. Diagram vzorku s nylonovými vlákny  
ve směru A (vzorek č.2)

$N_A$	$F_{10}$ [N]	$F_{15}$ [N]	$F_{20}$ [N]
1	174	486	943
2	226	600	1143
3	143	355	851
4	157	457	1086
5	129	371	880
6	157	426	1014
$\bar{\sigma} F$	164,3	449,2	986,2

Tabulka 7. Odečtené hodnoty zatěžujících sil  
pro PK s nylonem ve směru A



obr. 33. Charakteristické roztržení PK s nylonem ve směru A

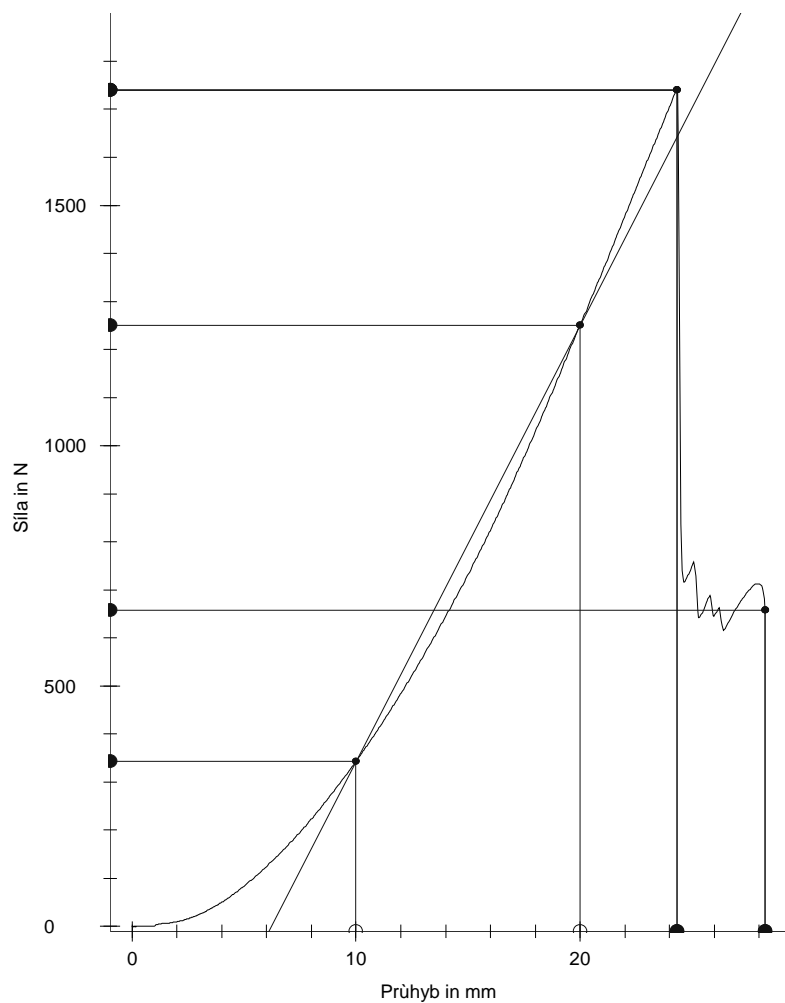
**PK s vlákny nylonu ve směru zatěžování B:**

Graf 8. Diagram vzorku s nylonovými vlákny ve směru B (vzorek č.2)

<b>N<sub>B</sub></b>	<b>F<sub>10</sub> [N]</b>	<b>F<sub>15</sub> [N]</b>	<b>F<sub>20</sub> [N]</b>
<b>1</b>	7,5	13,8	20,5
<b>2</b>	7,5	13,8	20,5
<b>3</b>	8,8	16,2	20,0
<b>4</b>	8,7	16,3	22,5
<b>5</b>	8,5	15,2	19,4
<b>6</b>	9,5	17,2	21,5
<b>ø F</b>	<b>8,4</b>	<b>15,4</b>	<b>20,7</b>

Tabulka 8. Odečtené hodnoty zatěžujících sil

pro PK s nylonem ve směru B

**PK vyztužený vlákny rayonu ve směru zatěžování A:**

Graf 9. Diagram vzorku s vlákny rayonu ve směru A (vzorek č.2)

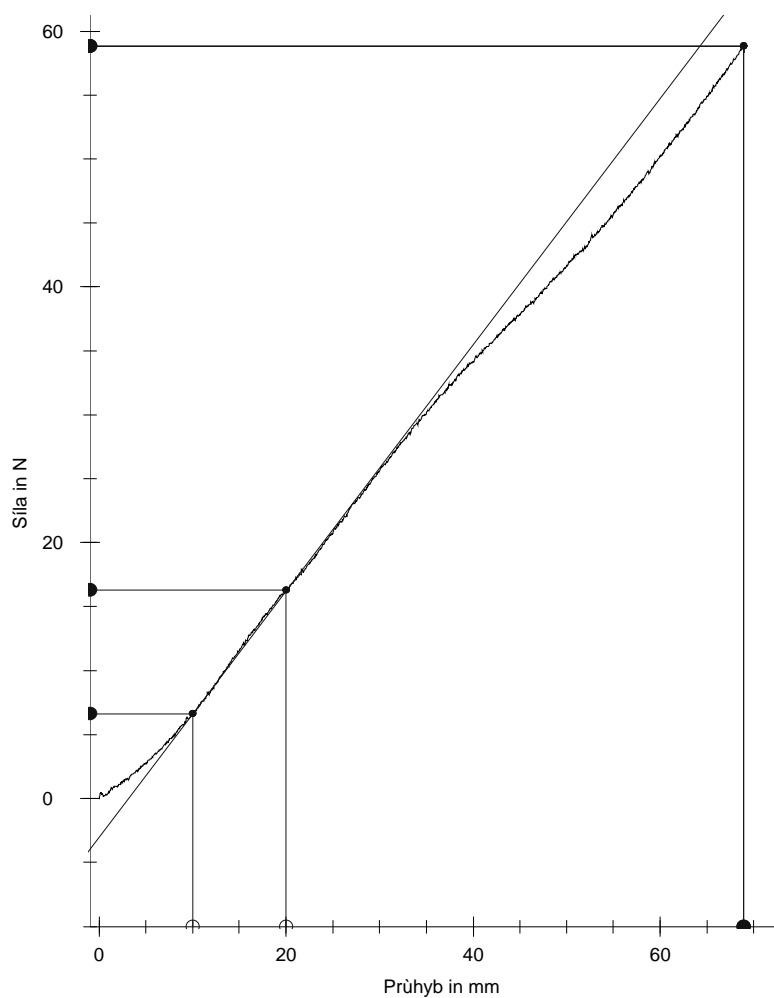
$R_A$	$F_{10}$ [N]	$F_{15}$ [N]	$F_{20}$ [N]
1	371	771	1286
2	343	736	1250
3	357	776	1384
4	478	943	1520
5	367	793	1343
6	247	564	979
$\bar{\sigma} F$	<b>360,5</b>	<b>763,8</b>	<b>1293,7</b>

Tabulka 9. Odečtené hodnoty zatěžujících sil  
pro PK s rayonem ve směru A





obr. 34. Charakteristické roztržení PK s rayonem ve směru A

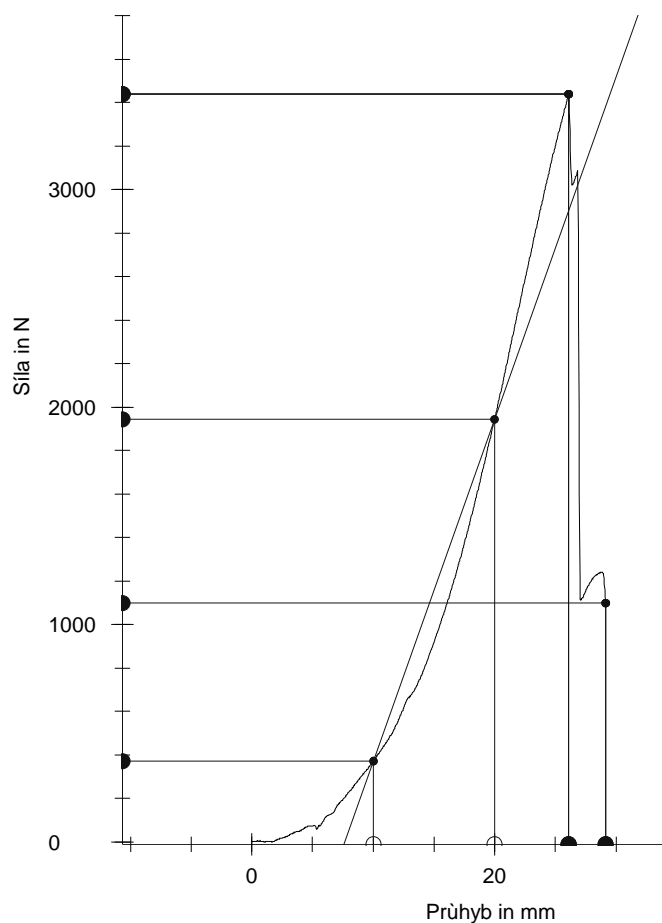
**PK vyztužený vlákny rayonu ve směru zatěžování B:**

Graf 10. Diagram vzorku s vlákny rayonu ve směru B (vzorek č.5)

$R_B$	$F_{10}$ [N]	$F_{15}$ [N]	$F_{20}$ [N]
1	6,9	12,9	17
2	7,3	11,7	17,5
3	6,7	11,6	17,2
4	7,8	13,7	18,5
5	6,6	11,8	16,4
6	6,2	11,4	16,2
$\bar{\sigma}_F$	6,9	12,2	17,1

Tabulka 10. Odečtené hodnoty zatěžujících sil  
pro PK s rayonem ve směru B

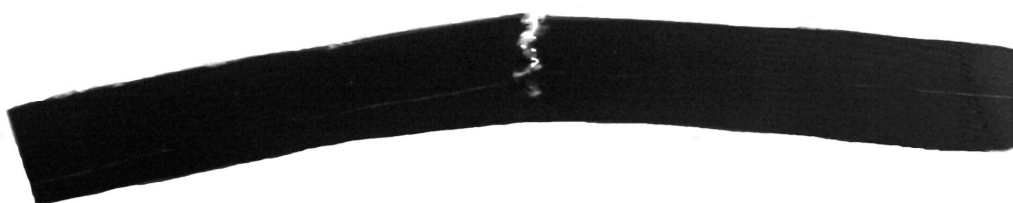
**PK vyztužený vlákny z PES ve směru zatěžování A:**



Graf 11. Diagram vzorku s vlákny polyesteru ve směru A (vzorek č.5)

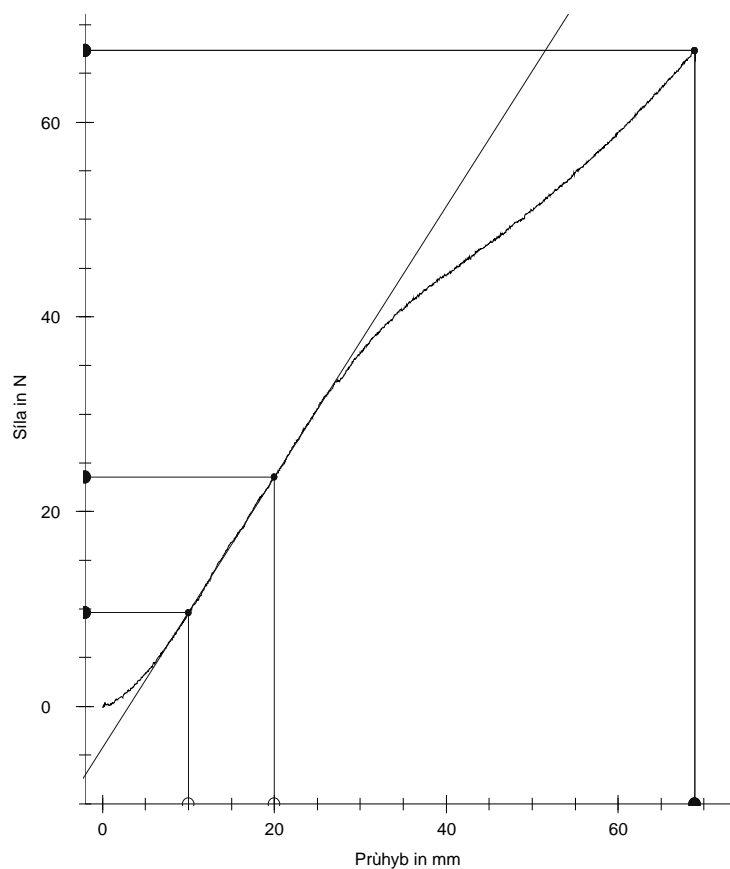
PES <sub>A</sub>	F <sub>10</sub> [N]	F <sub>15</sub> [N]	F <sub>20</sub> [N]
1	400	934	1800
2	286	886	1771
3	317	829	1743
4	370	800	1800
5	367	950	1943
6	241	740	1800
ø F	330,2	856,5	1809,5

Tabulka 11. Odečtené hodnoty zatěžujících sil  
pro PK s polyesterem ve směru A



obr. 35. Charakteristické roztržení PK s polyesterem ve směru A

**PK vyztužený vlákny z PES ve směru zatěžování B:**



Graf 12. Diagram vzorku s vlákny polyesteru ve směru B (vzorek č.4)

<b>PES<sub>B</sub></b>	<b>F<sub>10</sub> [N]</b>	<b>F<sub>15</sub> [N]</b>	<b>F<sub>20</sub> [N]</b>
<b>1</b>	9,8	16,7	24
<b>2</b>	11,5	18,8	26
<b>3</b>	10	17,5	24
<b>4</b>	9,8	17,2	23,5
<b>5</b>	12,5	20	26,3
<b>ø F</b>	<b>10,7</b>	<b>18,0</b>	<b>24,8</b>

Tabulka 12. Odečtené hodnoty zatěžujících

sil pro PK s polyesterem ve směru B

## 9 ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ZÍSKANÝCH ZE SPECIÁLNÍ ZKOUŠKY TAHEM

Z odečtených sil získaných ze speciální zkoušky tahem jsem vyhodnotil průměrné hodnoty sil pro polohy  $h_1 = 10$  mm,  $h_2 = 15$  mm,  $h_3 = 20$  mm. Ze vztahů (17), (18) a (19) jsem vypočítal příslušné veličiny, které jsem zpracoval do následujících tabulek. Je zde uveden přírůstek tahového napětí  $\Delta\sigma$ , přírůstek poměrného prodloužení  $\Delta\varepsilon$  a modul pružnosti  $E$  pro délku upnutí  $l = 90$  mm.

Pro výpočet uvedených vztahů bylo použito programu Microsoft Excel 2003. Tento výpočetní program je uveden v příloze na CD.

**Tabulka vypočtených hodnot mezi polohami  $h_1$  a  $h_3$ :**

	$\varnothing F_{10}$ [N]	$\varnothing F_{20}$ [N]	$\Delta\sigma$ [MPa]	$\Delta\varepsilon$ [-]	$E_{13}$ [MPa]
<b>Nylon</b> - ve směru A	164,3	986,2	75,25	0,07	1076,21
<b>Nylon</b> - ve směru B	8,4	20,7	0,55	0,07	7,89
<b>Rayon</b> - ve směru A	360,5	1293,7	53,45	0,07	764,47
<b>Rayon</b> - ve směru B	6,9	17,1	0,36	0,07	5,17
<b>PES</b> - ve směru A	330,2	1809,5	74,64	0,07	1067,46
<b>PES</b> - ve směru B	10,7	24,8	0,29	0,07	4,20

Tabulka 13. Hodnoty veličin mezi polohami  $h_1$  a  $h_3$

**Tabulka vypočtených hodnot mezi polohami  $h_2$  a  $h_3$ :**

	$\varnothing F_{15}$ [N]	$\varnothing F_{20}$ [N]	$\Delta\sigma$ [MPa]	$\Delta\varepsilon$ [-]	$E_{23}$ [MPa]
<b>Nylon</b> - ve směru A	449,2	986,2	45,39	0,040	1128,50
<b>Nylon</b> - ve směru B	15,4	20,7	0,10	0,040	2,54
<b>Rayon</b> - ve směru A	763,8	1293,7	27,02	0,040	671,68
<b>Rayon</b> - ve směru B	12,2	17,1	0,12	0,040	3,07
<b>PES</b> - ve směru A	856,5	1809,5	44,45	0,040	1105,04
<b>PES</b> - ve směru B	18	24,8	0,11	0,040	2,62

Tabulka 14. Hodnoty veličin mezi polohami  $h_2$  a  $h_3$

Tabulka vypočtených hodnot mezi polohami  $h_1$  a  $h_2$ :

	$\sigma F_{10}$ [N]	$\sigma F_{15}$ [N]	$\Delta\sigma$ [MPa]	$\Delta\varepsilon$ [-]	$E_{12}$ [MPa]
<b>Nylon</b> - ve směru A	<b>164,3</b>	<b>449,2</b>	29,87	0,030	1005,76
<b>Nylon</b> - ve směru B	<b>8,4</b>	<b>15,4</b>	0,45	0,030	15,13
<b>Rayon</b> - ve směru A	<b>360,5</b>	<b>763,8</b>	26,44	0,030	890,26
<b>Rayon</b> - ve směru B	<b>6,9</b>	<b>12,2</b>	0,24	0,030	8,00
<b>PES</b> - ve směru A	<b>330,2</b>	<b>856,5</b>	30,19	0,030	1016,44
<b>PES</b> - ve směru B	<b>10,7</b>	<b>18</b>	0,19	0,030	6,51

Tabulka 15. Hodnoty veličin mezi polohami  $h_1$  a  $h_2$

## 10 VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ Z OBOU ZPŮSOBŮ MĚŘENÍ

	klasický způsob		speciální přípravek					
	$\sigma$ [MPa]	E [MPa]	$\Delta\sigma_{13}$ [MPa]	$E_{13}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{23}$ [MPa]	$E_{23}$ [MPa]	$\Delta\sigma_{12}$ [MPa]	$E_{12}$ [MPa]
N- A	107,41	726,33	75,25	1076,21	45,39	1128,50	29,87	1005,76
N- B	7,17	14,91	0,55	7,89	0,10	2,54	0,45	15,13
R- A	79,37	1351,84	53,45	764,47	27,02	671,68	26,44	890,26
R- B	6,26	9,00	0,36	5,17	0,12	3,07	0,24	8,00
P- A	166,75	1491,32	74,64	1067,46	44,45	1105,04	30,19	1016,44
P- B	4,84	11,51	0,29	4,20	0,11	2,62	0,19	6,51

Tabulka 16. Srovnání naměřených a vypočtených hodnot

Z porovnání získaných údajů uvedených v tab. 13., 14. a 15. lze konstatovat, že:

- při poměrném prodloužení  $\Delta\varepsilon = 0,04$  jsou hodnoty modulu pružnosti  $E$  ( $E_{23}$ ) u všech materiálů nejnižší, kromě kompozitů s vlákny nylonu a polyesteru ve směru A;
- nejvyšších hodnot modulu pružnosti  $E$  ( $E_{12}$ ) bylo u všech materiálů s vlákny ve směru P dosaženo při poměrném prodloužení  $\Delta\varepsilon = 0,03$ ;
- nejvyšší hodnoty modulu pružnosti  $E$  ( $E_{12}$ ) u materiálu s vlákny rayonu ve směru A bylo dosaženo při poměrném prodloužení  $\Delta\varepsilon = 0,03$ ;

Na základě těchto uvedených dílčích závěrů, ale nelze ukazovat na jakoukoliv funkční závislost mezi měřenými veličinami. Za jedinou výhodu speciálního přípravku lze považovat skutečnost, že měřené veličiny jsou získány pro každou sérii měření při shodné hodnotě poměrného prodloužení  $\Delta\varepsilon$ .

## 11 ZÁVĚR

Porovnávat hodnoty jednotlivých veličin získaných pomocí klasického způsobu upnutí a pomocí upnutí ve speciálním přípravku je velice problematické. Je těžké si totiž uvědomit, že např. napětí  $\sigma$  u klasického způsobu upnutí odpovídá maximální síle  $F_m$  při přetržení, kdežto hodnoty napětí  $\Delta\sigma$  získaná při upnutí do speciálního přípravku představují přírůstky napětí mezi dvěmi hodnocenými polohami. Dalším problematickým jevem byla skutečnost, že při provádění experimentu na speciálním přípravku došlo u některých vzorků k nedostatečné jejich fixaci mezi upínacími deskami. Přes uvedené skutečnosti lze při porovnání získaných hodnot modulu pružnosti konstatovat, že:

- největší shoda výsledných hodnot je u všech materiálů s vlákny ve směru B a to pro poměrné prodloužení  $\Delta\varepsilon = 0,03$ , kde je pro:
  - nylon:  $E = 14,91 \text{ MPa}$       a       $E_{12} = 15,13 \text{ MPa}$
  - rayon:  $E = 9,00 \text{ MPa}$       a       $E_{12} = 8,00 \text{ MPa}$
  - PES:  $E = 11,51 \text{ MPa}$       a       $E_{12} = 6,51 \text{ MPa}$
- největší rozdíl výsledných hodnot je naopak u materiálu ve směru A a to pro poměrné prodloužení  $\Delta\varepsilon = 0,04$ , kde je pro:
  - nylon:  $E = 726,33 \text{ MPa}$       a       $E_{23} = 1128,50 \text{ MPa}$
  - nylon:  $E = 1351,84 \text{ MPa}$       a       $E_{23} = 671,68 \text{ MPa}$
- největší shoda výsledných hodnot u materiálů s vlákny ve směru A u PES pro poměrné prodloužení  $\Delta\varepsilon = 0,04$  a to:  $E = 1491,32 \text{ MPa}$  a  $E_{23} = 1105,04 \text{ MPa}$
- největší rozdíly výsledných hodnot jsou u materiálů s vlákny ve směru B pro poměrné prodloužení  $\Delta\varepsilon = 0,04$  a to pro:
  - nylon:  $E = 14,91 \text{ MPa}$       a       $E_{23} = 2,54 \text{ MPa}$
  - rayon:  $E = 9,00 \text{ MPa}$       a       $E_{23} = 3,07 \text{ MPa}$
  - PES:  $E = 11,51 \text{ MPa}$       a       $E_{23} = 2,62 \text{ MPa}$

Na základě vyhodnocení naměřených a vypočtených hodnot lze závěrem konstatovat, že použití speciálního přípravku lze doporučit pouze pro provedení orientačních zkoušek a pro případy, kdy požadujeme měřené veličiny získat pro shodné hodnoty poměrného pro-



dloužení  $\Delta\epsilon$ . Současně je třeba pro lepší fixaci vzorků ve speciálním přípravku opatřit upínací desky příčným drážkováním, aby nedocházelo k uvolňování měřeného vzorku.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] FRANTA, I., a kol. Gumárenská technologie I : gumárenské suroviny. 2.vyd. Praha : SNTL, 1979. 608 s. ISBN 04-618-79
- [2] PLUHAŘ, J., a kol. Nauka o materiálech. Praha : SNTL, 1989. 552 s. ISBN 04-205-89
- [3] PREKOP, Š., a kol. Gumárska technológia I. 1.vyd. Žilina : Žilinská univerzita, 1998. 282 s. ISBN 80-7100-483-9.
- [4] ŠPAČEK, J. Technologie gumárenská a plastikářská II. 1.vyd. Praha : SNTL, 1987. 200 s.
- [5] TOMIS, F. Gumárenská a plastikářská technologie : zpracovatelské procesy. 2.vyd. Brno : VUT Brno, 1987. 289 s. ISBN 55-552-87.
- [6] TOMIS, F.; RULÍK, F. Gumárenské a plastikářské stroje II. 1.vyd. Brno : SNTL, 1981. 216 s. ISBN 05-105-81.
- [7] KORBAŘ, T.; STRÁNSKÝ, A. Technický slovník naučný. 1. vyd. Praha: SNTL, 1963. 676 s. ISBN 04-029-63
- [8] HLUCHÝ, M., a kol. Strojírenská technologie I : Nauka o materiálu. 2.vyd. Praha: SNTL, 1978. 360 s. ISBN 04-212-78.
- [9] ŘEZNÍČEK, Martin. Upínací přípravek pro speciální zkoušku tahem pryžových kompozitů. [s.l.], 2008. 70 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$l_0$	počáteční délka zkoušeného vzorku [mm]
$d_0$	počáteční průměr zkoušené tyče [mm]
$R_{pt}$	mez pevnosti v tahu [MPa]
$F_{max}$	maximální zatěžující síla [N]
$S_0$	počáteční průřez zkoušeného tělesa [mm <sup>2</sup> ]
$l$	délka při přetržení [mm]
$\Delta l$	změna délky [mm]
$\varepsilon$	poměrné prodloužení [-]
$\delta$	tažnost [%]
$\varphi$	kontrakce [%]
$R$	napětí [MPa]
$R_U$	mez úměrnosti v tahu [MPa]
$E$	modul pružnosti v tahu [MPa]
$R_E$	mez elasticity v tahu [MPa]
$R_K$	mez kluzu v tahu [MPa]
$R_{pt}$	mez pevnosti v tahu [MPa]
$h_0$	původní výška zkoušeného tělesa [mm]
$R_{pd}$	mez pevnosti v tlaku [MPa]
$r$	poloměr tyče [mm]
$l$	délka vzorku [mm]
$\sigma$	napětí u namáhání polymerů [MPa]
$\sigma_{max}$	maximální dosažené napětí [MPa]
$M_o$	ohybový moment [N.mm]
$\sigma_o$	napětí v ohybu [MPa]

---

$W_o$	průřezový modul v ohybu [ $\text{mm}^3$ ]
$l_p$	délka vzorku [mm]
$e$	vzdálenost od neutrální osy [mm]
$J_z$	kvadratický moment [ $\text{mm}^4$ ]
$y$	průhyb tyče [mm]
$\sigma_{od}$	dovolené napětí v ohybu [MPa]
$M_{o\max}$	maximální ohybový moment [N.mm]
$\tau_{ps}$	pevnost ve stříhu [MPa]
$F_i$	působící síla v i-té poloze [N]
$\alpha_i$	úhel mezi rovinou a vzorkem v i-té poloze [ $^\circ$ ]
$h_i$	poloha bodu vzorku v i-té poloze [mm]
$S_i$	vnitřní síla v i-té poloze [N]
$\Delta L$	přírůstek délky [mm]
$\Delta \epsilon$	přírůstek poměrného prodloužení [-]
$a$	tloušťka vzorku [mm]
$F_{10}$	síla působící v bodě $h= 10$ mm [N]
$F_{15}$	síla působící v bodě $h= 15$ mm [N]
$F_{20}$	síla působící v bodě $h= 20$ mm [N]
$E_{12}$	modul pružnosti mezi body 1 a 2 [MPa]
$E_{13}$	modul pružnosti mezi body 1 a 3 [MPa]
$E_{23}$	modul pružnosti mezi body 2 a 3 [MPa]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

obr. 1. Schéma univerzálního trhacího stroje.....	11
obr. 2. Ukázka zkušební vzorku pro tahovou zkoušku.....	12
obr. 3. Tahová křivka měkké oceli.....	13
obr. 4. Tahové diagramy různých kovových materiálů.....	15
obr. 5. Tahové diagramy polymerních materiálů.....	16
obr. 6. Schéma zkoušky tlakem.....	16
obr. 7. Diagram zkoušky tlakem pro měkkou ocel.....	17
obr. 8. Schéma zkoušky ohybem.....	18
obr. 9 Schéma zkoušky stříhem.....	19
obr. 10. Princip válcování.....	24
obr. 11. Způsoby uspořádání víceválců.....	25
obr. 12. Linka pro válcování fólií.....	26
obr. 13. Linka pro nános polymerní fólie na podložku.....	26
obr. 14. Kompenzace prohnutí válců protiprohnutím (vlevo) a křížením os (vpravo).....	26
obr. 15. Schéma vytlačovacího stroje.....	28
obr. 16. Šikmá plochá vytlačovací hlava.....	28
obr. 17. Schéma linky na výrobu tenkých vytlačovaných fólií.....	29
obr. 18. Cyklus vstřikování.....	29
obr. 19. Princip lisování.....	31
obr. 20. Univerzální zkušební stroj Zwick.....	36
obr. 21. Schéma speciálního upínacího přípravku.....	38
obr. 22. Schéma zatížení vzorku ve speciálním přípravku.....	39
obr. 23. Rovnováha tří sil.....	39
obr. 24. Použitý vulkanizační lis.....	42
obr. 25. PES před vulkanizací    obr. 26. PES po vulkanizaci.....	43
obr. 27. a) Vzorek s vlákny ve směru zatěžování.....	43
obr. 28. Zkušební samosvorné čelisti pro běžnou zkoušku tahem.....	44
obr. 29. Charakteristické roztržení PK s nylonem ve směru A.....	46
obr. 30. Charakteristické roztržení PK s rayonem ve směru A.....	49
obr. 31. Charakteristické přetržení PK s vlákny polyesteru ve směru A.....	51
obr. 32. Speciální upínací přípravek.....	53

---

obr. 33. Charakteristické roztržení PK s nylonem ve směru A.....	54
obr. 34. Charakteristické roztržení PK s rayonem ve směru A.....	57
obr. 35. Charakteristické roztržení PK s polyesterem ve směru A .....	59

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. Naměřené hodnoty PK s nylonovými vlákny ve směru A.....	45
Tabulka 2. Naměřené hodnoty PK s vlákny nylonu ve směru B .....	46
Tabulka 3. Naměřené hodnoty PK s rayonem ve směru A.....	47
Tabulka 4. Naměřené hodnoty PK s vlákny rayonu ve směru B .....	49
Tabulka 5. Naměřené hodnoty PK s polyesterem ve směru A.....	50
Tabulka 6. Naměřené hodnoty PK s vlákny polyesteru ve směru B.....	51
Tabulka 7. Odečtené hodnoty zatěžujících sil pro PK s nylonem ve směru A.....	53
Tabulka 8. Odečtené hodnoty zatěžujících sil pro PK s nylonem ve směru B .....	54
Tabulka 9. Odečtené hodnoty zatěžujících sil pro PK s rayonem ve směru A.....	55
Tabulka 10. Odečtené hodnoty zatěžujících sil pro PK s rayonem ve směru B .....	57
Tabulka 11. Odečtené hodnoty zatěžujících sil pro PK s polyesterem ve směru A.....	58
Tabulka 12. Odečtené hodnoty zatěžujících sil pro PK s polyesterem ve směru B.....	59
Tabulka 13. Hodnoty veličin mezi polohami $h_1$ a $h_3$ .....	59
Tabulka 14. Hodnoty veličin mezi polohami $h_2$ a $h_3$ .....	60
Tabulka 15. Hodnoty veličin mezi polohami $h_1$ a $h_2$ .....	60
Tabulka 16. Srovnání naměřených a vypočtených hodnot.....	60

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1. Tahový diagram PK s nylonem ve směru A (vzorek č.6).....	44
Graf 2. Tahový diagram PK s nylonem ve směru B (vzorek č.3).....	46
Graf 3. Tahový diagram PK s rayonem ve směru A (vzorek č.3).....	47
Graf 4. Tahový diagram PK s rayonem ve směru B (vzorek č.2).....	48
Graf 5. Tahový diagram PK s vlákny polyesteru ve směru A (vzorek č.1) .....	49
Graf 6. Tahový diagram PK s vlákny polyesteru ve směru B (vzorek č.2).....	51
Graf 7. Diagram vzorku s nylonovými vlákny ve směru A (vzorek č.2).....	53
Graf 8. Diagram vzorku s nylonovými vlákny ve směru B (vzorek č.2) .....	54
Graf 9. Diagram vzorku s vlákny rayonu ve směru A (vzorek č.2) .....	55
Graf 10. Diagram vzorku s vlákny rayonu ve směru B (vzorek č.5) .....	56
Graf 11. Diagram vzorku s vlákny polyesteru ve směru A (vzorek č.5).....	57
Graf 12. Diagram vzorku s vlákny polyesteru ve směru B (vzorek č.4).....	58



**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I Tahové diagramy vzorků zkoušených v běžně používaných čelistech
- P II Tahové diagramy vzorků zkoušených ve speciálním přípravku
- P III Program pro výpočet modulu pružnosti
- P IV Naměřené hodnoty v běžných čelistech
- P V Naměřené hodnoty ve speciálním přípravku