

RESUMÉ

Anotace česky

Práce byla vypracována na téma: „Konstrukce upínacích čelistí pro tahové zkoušky vzorků z polymerních materiálů“.

V první části je práce zaměřena na popis trhacích strojů, upínací čelisti, teorii upínání a mechanické zkoušení materiálů. Ve druhé části na návrh upínacích čelistí a redukcí pro zkušební stroj Zwick 145 665. Ve třetí a čtvrté části pak ověření funkčnosti vyrobených redukcí na vzorcích z polymerních materiálů.

V příloze práce jsou přiloženy výrobní výkresy vyrobených redukcí a navržených upínacích čelistí.

Anotace v anglickém jazyce

My work was elaborated on the topic: „Construction of clamping grips for tension tests of samples from polymer materials“.

The first part of my work is intended on the testing machines, the grips, theory of clamping and mechanical tests. The second part is on the proposal of the clamping grips and the reductions for the testing machines ZWICK 145 665. The third and fourth parts are on the functional verification of produced reductions on samples from polymer materials.

In the appendix of my work there are drawings of produced reductions and of proposed clamping grips.

Děkuji mému vedoucímu Ing. Františkovi Rulíkovi, CSc., za odborné vedení a ochotu, kterou mi věnoval při vypracování bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat Ing. Milanovi Žaludkovi, Ph.D. za poskytnuté rady a technickou asistenci.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 03. 06. 2005

.....

podpis

OBSAH

OBSAH	5
ÚVOD	6
1 TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 POPIS TRHACÍCH STROJŮ.....	7
1.1.1 Zkušební stroj Zwick.....	8
1.2 UPÍNACÍ ČELISTI.....	9
1.2.1 Hydraulické čelisti.....	9
1.2.2 Pneumatické čelisti.....	9
1.2.3 Klínovité čelisti	10
1.2.4 Šroubové čelisti	11
1.2.5 Bajonetové čelisti.....	11
1.2.6 Čelisti pro upínání vzorků provlékáním	12
1.3 TEORIE UPÍNÁNÍ	13
1.3.1 Odvození upínací síly šroubu	13
1.3.2 Utahovací moment	14
1.4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ	16
1.4.1 Mechanické vlastnosti polymerů.....	16
1.4.2 Druhy zkoušek mechanických vlastností.....	17
1.4.3 Příprava zkušebních těles	17
1.4.4 Zkouška tahem.....	20
1.5 PŘESNOST MĚŘENÍ A PŘÍČINY CHYB	28
2 PRAKTICKÁ ČÁST	31
2.1 TECHNICKÉ ÚDAJE ZKUŠEBNÍHO STROJE ZWICK	31
2.2 NÁVRH UPÍNACÍCH ČELISTÍ.....	32
2.3 NÁVRH REDUKCÍ PRO UPÍNACÍ ČELISTI.....	34
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	38
3.1 MATERIÁL ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	38
3.2 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI.....	39
3.3 NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY	40
4 DISKUSE VÝSLEDKŮ	41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	44
SEZNAM OBRÁZKŮ	46
SEZNAM TABULEK	47
SEZNAM PŘÍLOH	48

ÚVOD

Materiály jsou při výrobě i při plnění své funkce ve výrobku vystaveny různým druhům elementárních namáhání jako např. tah, tlak, ohyb, krut, a střih. Tato elementární namáhání většinou nepůsobí samostatně, ale v různých kombinacích (materiál je vystavován složenému namáhání). Materiál musí mít určité vlastnosti, aby mohl tomuto namáhání odolávat např. pevnost, tvrdost, houževnatost, pružnost, tvárnost, atd.

Metody zjišťování základních mechanických vlastností jsou založeny na principu působení vnějších mechanických sil na zkušební těleso vyrobené ze zkoušeného materiálu. Cílem je stanovit číselnou hodnotu materiálové charakteristiky.

Zkouška tahem je nejrozšířenější statická zkouška, provádí se téměř u všech technických materiálů. Získáváme základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodných materiálů.

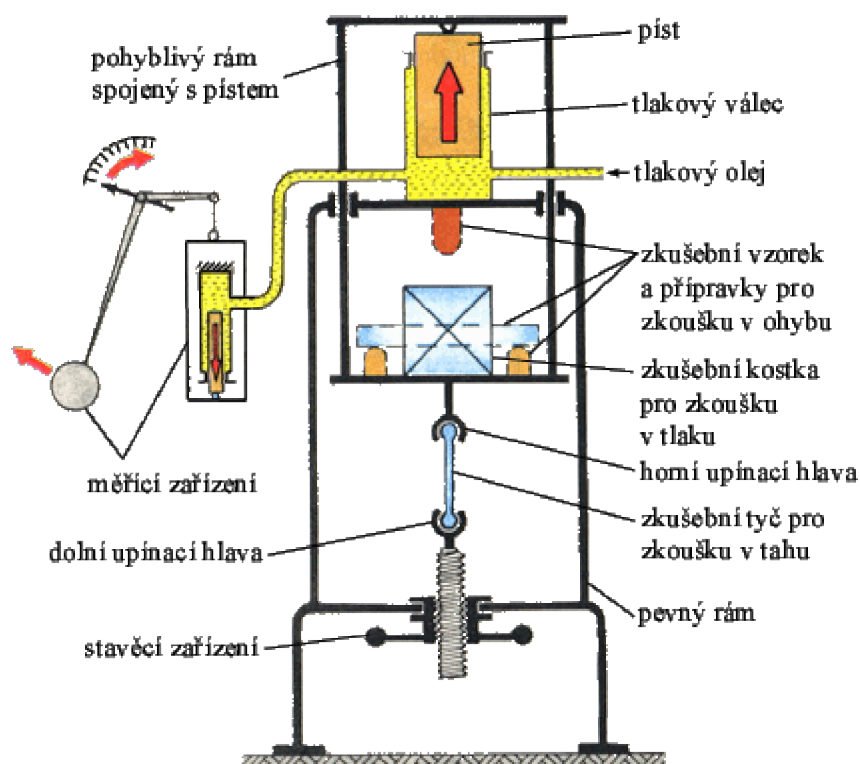
Úkolem bakalářské práce je navržení upínacích čelistí pro tahovou zkoušku na univerzálním zkušebním stroji. Dále pak navržení různých druhů redukcí pro snímač tahové síly. Navrhnout uspořádání těchto čelistí a redukcí, které umožní širší použití univerzálního zkušebního stroje. Zhotovit výrobní výkresovou dokumentaci.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Popis trhacích strojů

Mechanické zkoušky statické patří mezi nejpoužívanější zkoušky a jsou základem pro stanovení pevnostních hodnot materiálu. Materiál zatěžujeme pozvolna bez rázu. Provádí se zkoušky tahem, tlakem, ohybem, krutem a stříhem. Zkoušky se provádí na zkušebních strojích, které jsou buď jednoúčelové (pro jeden druh zkoušek), nebo univerzální (pomocí vhodných přípravků lze provádět různé druhy zkoušek).

Uspořádání trhacích strojů může být různé. Liší se volbou mnoha konstrukčních prvků (např. rozvržením rámu, volbou upínacích ústrojí, volbou pohonu, výběrem záznamového a registračního zařízení atd.)



Obr. 1. Schéma univerzálního zkušebního stroje

Na obr. č.1 je schéma univerzálního zkušebního stroje. Skládá se z rámu, upínacího ústrojí, zatěžovacího ústrojí, z měřicího a registračního zařízení. Do tlakového válce se

přivádí tlakový olej, tím se zvedá pohyblivý (vnitřní) rám stroje. Zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu se upínají do upínacích hlav (tzv. upínacích čelistí).

Zkouška pevnosti v tlaku se koná na zkušební kostce nebo válečku, položeném na desce pohyblivého rámu. Při zkoušce pevnosti v ohybu se pokládá zkušební vzorek na dvě podpěry a namáhání je vyvozeno ohýbacím trnem připevněným na horní desku pevného rámu. Měřicí zařízení (tzv. kyvadlový manometr) je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřicího tlakového válečku je vyvážen kyvadlem se závažím.

Ručička na ramenu páky kyvadla ukazuje na stupnicí měřicího zařízení zatížení v jednotkách síly, tj. v N. Tohle uspořádání je jeden z mnoha příkladů konstrukce univerzálních trhacích strojů. [1]

1.1.1 Zkušební stroj Zwick

Pro naše účely slouží zkušební stroj Zwick 145 665, pro který navrhujeme upínací tahové čelisti a různé druhy redukcí pro snímač tahové síly. Tento stroj je určen pro statické i cyklické zatěžování. Technické parametry jsou uvedeny v praktické části.



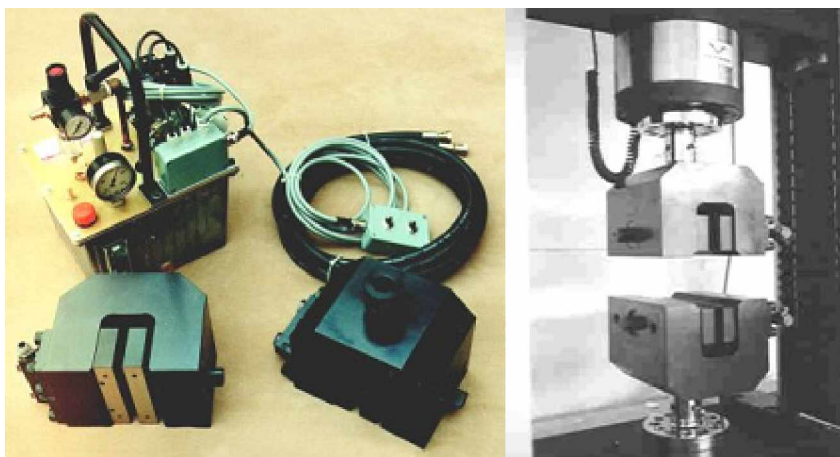
Obr. 2. Zkušební stroj Zwick

1.2 Upínací čelisti

Zkušební vzorky musí být do zkušebního stroje upnuty vhodným způsobem tak, aby zatížení působilo pokud možno v ose zkušebního vzorku a došlo k snadnému a bezpečnému upnutí. Upínacích čelistí je velké množství druhů, které se dělí hlavně do kategorií podle pracovního principu. [2]

1.2.1 Hydraulické čelisti

Hydraulické čelisti jsou používány pro upínání zkušebních vzorků vyrobených z různých kovových i nekovových materiálů, kde potřebujeme docílit vysoké upínací síly.



Obr. 3. Hydraulické čelisti

Výhody: nestlačitelnost oleje zvyšuje bezpečné a silné upnutí, regulátor kontroluje uzavírání a otevírání čelistí odděleně pro horní a dolní čelist.

Nevýhody: větší pořizovací náklady, menší rychlost upínání.

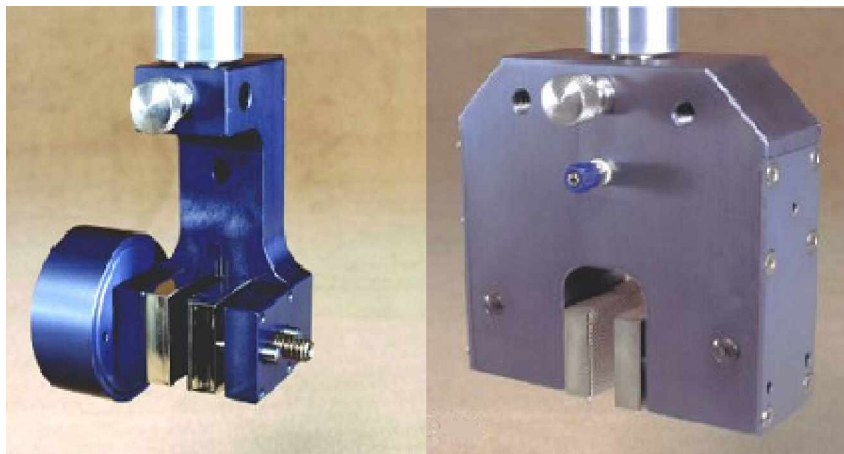
Aplikační meze: materiál vzorku: kovy, slitiny, kompozity, plasty;

 tvar vzorku: kruhové, šestiúhelníkové a ploché vzorky;

 zkušební síly: (50 – 250) kN.

1.2.2 Pneumatické čelisti

Pneumatické čelisti jsou používány pro upínání převážně měkkých materiálů náchylných k deformaci při upínání.



Obr. 4. Pneumatické čelisti

Výhody: snadná regulace upínací síly.

Nevýhody: nižší upínací síly než u hydraulických čelistí.

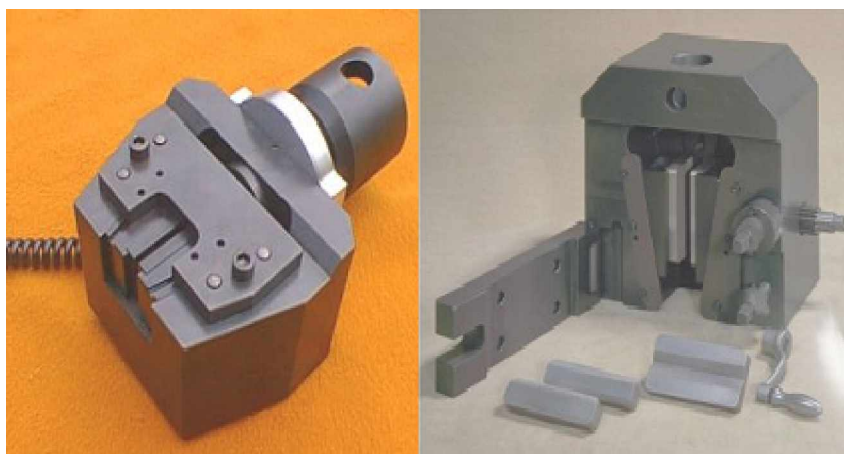
Aplikační meze: materiál vzorku: plasty, papíry, textil, fólie;

 tvar vzorku: kruhové, ploché a tenké obdélníkové vzorky;

 zkušební síly: (0,1 – 50) kN.

1.2.3 Klínovité čelisti

Klínovité čelisti jsou jedny z nejpoužívanějších upínacích čelistí.



Obr. 5. Klínovité čelisti

Výhody: upínací síla se zvyšuje s zvyšujícím se trhacím zatížením.

Nevýhody: deformace vzorku v místech upnutí vlivem narůstající síly (problematické zejména u plastů).

Aplikační meze: materiál vzorku: dráty, plasty, kovy, elastomery;

tvár vzorku: kruhové a obdélníkové vzorky;

zkušební síly: (10 – 100) kN.

1.2.4 Šroubové čelisti

Šroubové čelisti slouží k upínání celé řady materiálů.



Obr. 6. Šroubové čelisti

Výhody: snadné a rychlé upnutí konstantní upínací silou

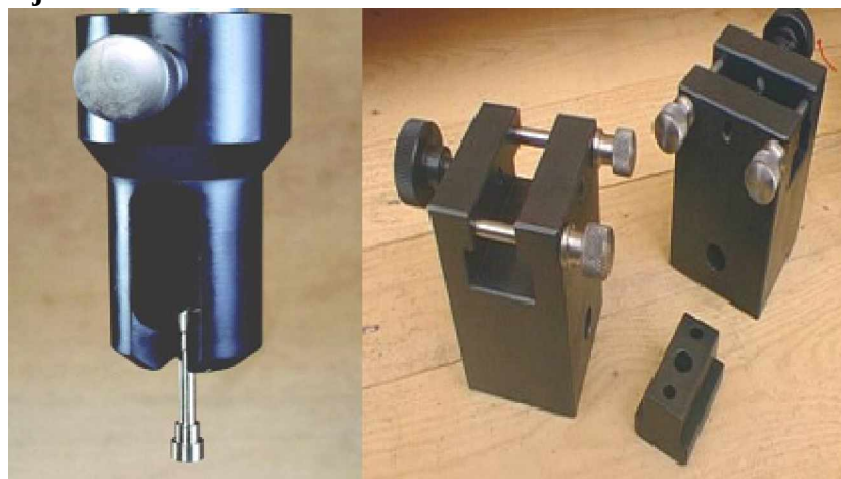
Nevýhody: ne všechny typy šroubových čelistí upínají vzorek do osy stroje.

Aplikační meze: materiál vzorku: kovy, slitiny, plasty, kůže, textil, kompozity;

tvár vzorku: kruhové a obdélníkové vzorky;

zkušební síly: (0,05 - 50) kN.

1.2.5 Bajonetové čelisti



Obr. 7. Bajonetové čelisti

Výhody: vyloučení skluzu vzorku, minimální údržba čelistí.

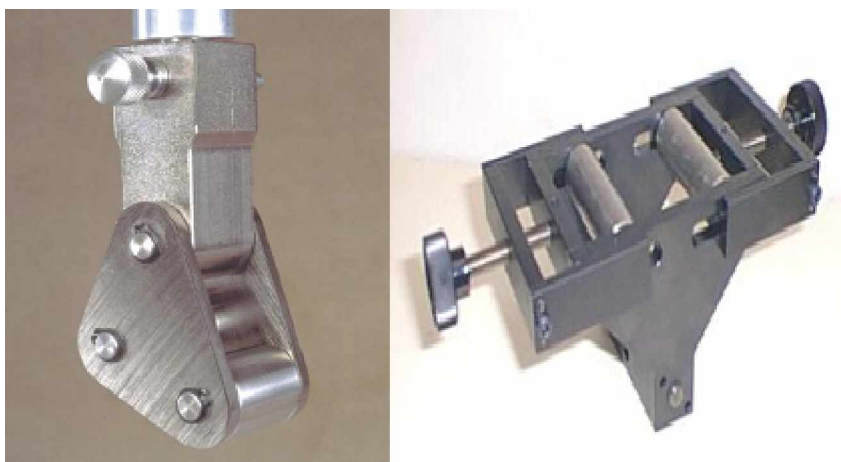
Nevýhody: vzorek musí být předem upraven na požadovaný tvar.

Aplikační meze: materiál vzorku: široká různorodost kovů;

tvar vzorku: zpracované osazené koncové vzorky;

zkušební síly: (50 - 250) kN.

1.2.6 Čelisti pro upínání vzorků provlíkáním



Obr. 8. Čelisti pro upínání vzorků provlíkáním

Výhody: snadné upnutí tenkých flexibilních materiálů.

Nevýhody: použití jen pro malé trhací zatížení.

Aplikační meze: materiál vzorku: tenké plechy, filmy, flexibilní plasty a elastomery;

tvar vzorku: ploché tenké profily;

zkušební síly: (0,1 - 5) kN.

1.3 Teorie upínání

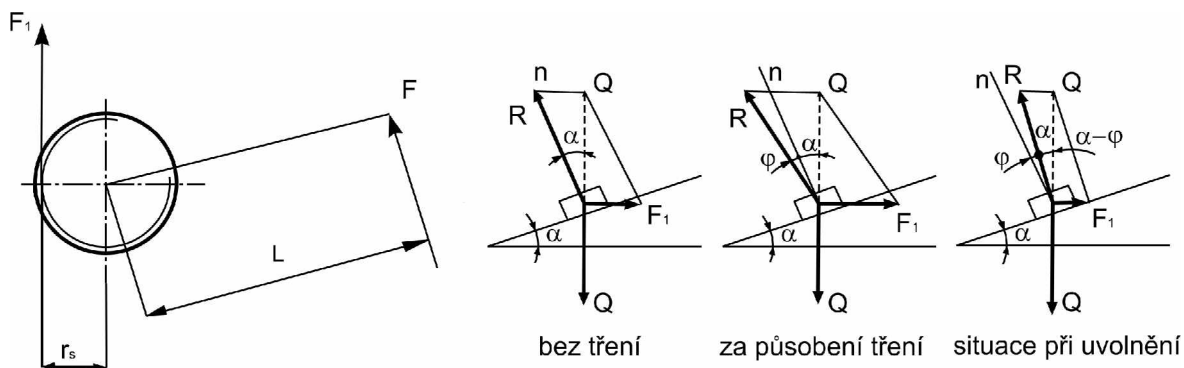
Na základě vyhodnocení vlastností jednotlivých typů upínacích čelistí a zvážení konstrukčních a technologických možností bylo rozhodnuto podrobněji se věnovat šroubovým upínacím čelistem.

Pro upínání vzorků pro tahové zkoušky z polymerních materiálů, je potřeba zajistit jeho snadné, rychlé a spolehlivé upnutí.

1.3.1 Odvození upínací síly šroubu

Šroubové spojení patří mezi velmi často používané upínací prvky. Mezi jejich výhody patří dosažení velké upínací síly pomocí malé ovládací síly (velký převod), jednoduchost, samosvornost, univerzálnost. Nevýhodou je zdlouhavé upínání při velkých upínacích zdvizích.

Protože rozvinutím závitu dostaneme nakloněnou rovinu, řešíme silové poměry jako rovnováhu na nakloněné rovině. [3]



Obr. 9. Silové poměry na šroubu

Vyjdeme z rovnováhy momentů kdy:

$$F \cdot L = F_1 \cdot r_s \Rightarrow F_1 = \frac{F \cdot L}{r_s} \quad [\text{N}] \quad (1)$$

Pokud neuvažujeme tření platí:

$$F_1 = Q \cdot \tan \alpha \quad [\text{N}] \quad (2)$$

Působí-li, tření odklání se reakce od normály o úhel φ a rovnováha má následující tvar:

$$F_1 = Q \cdot \tan(\alpha + \varphi) \quad [\text{N}] \quad (3)$$

$$\frac{F.L}{r_s} = Q.tg(\alpha + \varphi) \Rightarrow Q = \frac{F.L}{r_s.tg(\alpha + \varphi)} \quad [N] \quad (4)$$

Pro uvedené úhly α, φ platí:

$$tg\alpha = \frac{t}{2\pi.r_s} \quad [-] \quad (5)$$

$$tg\varphi = f \quad [-] \quad (6)$$

kde: Q...upínací síla součásti

F...síla na rukojeti páky

L...délka rukojeti

r_s ...střední poloměr závitu

α ...úhel stoupání šroubovice

φ ...třecí úhel

t...rozteč závitu

f...součinitel tření

Pro samosvornost musí být splněna podmínka $\alpha \leq \varphi$

Síla pro uvolnění:

$$F = \frac{r_s.Q.tg(\alpha - \varphi)}{L} \quad [N] \quad (7)$$

1.3.2 Utahovací moment

Při utahování šroubu klíčem je nutno překonat moment tření mezi hlavou šroubu nebo maticí a spojovaným materiálem a třecí moment v závitech.

Utahovací moment tedy musí být větší než součet třecích momentů. Tedy utahovací síla F na ramenu páky L musí být větší než třecí síla F_T na ramenu páky $\frac{1,4d}{2}$ a síla pro

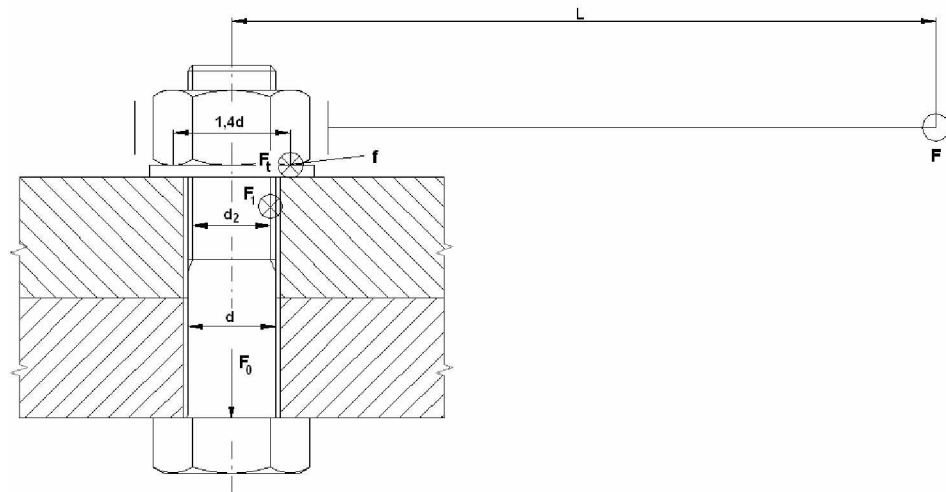
utahování závitu se třením F_1 na ramenu páky $\frac{d_2}{2}$.

$$M_U > \sum_i M_{Ti}$$

$$F.L > F_T \cdot \frac{1,4d}{2} + F_1 \cdot \frac{d_2}{2}$$

$$F \cdot L > F_0 \cdot f \cdot \frac{1,4d}{2} + F_0 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \frac{d_2}{2} \quad (8)$$

Z uvedeného vztahu tedy můžeme například zkontrolovat zda by nedošlo k uvolnění šroubového spojení při určitých utahovacích momentech. Nebo vypočítat osovou sílu ve šroubu pro výpočet namáhání šroubu při určitých utahovacích momentech.



Obr. 10. Uťahovací moment

1.4 Mechanické vlastnosti materiálů a jejich zkoušení

1.4.1 Mechanické vlastnosti polymerů

Tuhost

vyjadřuje sílu, kterou je nutno vynaložit pro deformaci tělesa v pružné oblasti deformací. Mírou této síly je modul pružnosti ve smyku a v tahu.

Pevnost

polymerů se liší v návaznosti na jejich molekulární i nadmolekulární strukturu. Tvary tahových křivek se liší podle toho, zda daný polymer se nachází v oblasti teplot pod či nad teplotou skelného přechodu T_g . U amorfních polymerů pod T_g dochází k přetržení tělesa ihned po překonání pružné deformace. Některé semikrystalické polymery mají schopnost se dále zpevňovat po překonání meze kluzu a napětí na mezi pevnosti pak může být i několikrát větší než napětí na mezi kluzu. Vzhledem k tomu, že v praxi uvažujeme o aplikacích pouze v oblasti pružných deformací, jsou u těchto polymerů pouze hodnoty odpovídající napětí na mezi kluzu.

Tvrdost

je složitou veličinou, která souvisí jak s kvalitou povrchu tak s vnitřními vlastnostmi polymeru. Zejména u elastomerů existují empirické vztahy přepočtu mezi tvrdostí a modulem pružnosti ve smyku. Literatura uvádí tvrdosti, které jsou obvykle používány pro charakterizaci elastomerů, dále tvrdosti HRC pro tvrdé polymerní materiály pod T_g a nejobsáhleji používané tvrdosti vtiskem kuličky.

Houževnatost

je důležitou vlastností materiálu, která vyjadřuje množství práce nutné na vznik nového povrchu. Tuto vlastnost materiálu lze nejlépe vystihnout hodnotou lomové houževnatosti K_c a hnací síly trhliny G . Tyto údaje se naneštěstí v literatuře nevyskytují a jsou předmětem dalších zkoušek. Většinou je nutné se omezit na údaje, které poskytují plastikářské zkušební metody, t.j. rázová houževnatost metodou Charpy a Izod s vrubem a bez vrubu. Vzhledem k tomu, že pro vysoce houževnaté materiály je nutné použít tělesa s jiným tvarem vrubu než u méně houževnatých materiálů, je vzájemné srovnání na základě číselných údajů o vynaložených energiích složité. [4]

1.4.2 Druhy zkoušek mechanických vlastností

Při technickém použití plastů nás obvykle zajímá jejich mechanická pevnost proti různým působením síly. Používané zkušební metody můžeme rozdělit do tří skupin:

Statické zkoušky – při těchto zkouškách je materiál namáhán pomalu se měnícími silami. Síla se zvyšuje rovnoměrně pomalu, obvykle do okamžiku zničení tělíska.

Dynamické zkoušky – působením síly se mění buď rázem, nebo za velmi krátký časový úsek. Někdy se pracuje také tak, že působení síly je dlouhodobé, ale její velikost se mění periodicky v extrémně krátké době.

Únavové zkoušky – Mechanické vlastnosti se zkoušejí dlouhodobě za předepsaných podmínek časově proměnného namáhání, obvykle až do porušení materiálu. Pro jednotlivé druhy plastů tyto zkoušky bývají rozličné.

Mechanické zkoušky většinou neprovádíme na samotné součásti, ale na zkušebních vzorcích předepsaného tvaru a rozměrů. [5]

1.4.3 Příprava zkušebních těles

Výsledky mechanických zkoušek jsou závislé nejen na vlastnostech polymeru, tj. chemické složení, molekulové hmotnosti, krystalinitě, obsahu nečistot apod., ale ve značné míře i na režimu zpracování a způsobu přípravy zkušebních tělísek. Pro přípravu zkušebních tělísek neexistuje jednotný předpis pro všechny polymery, nebo pro všechny zkoušky. Zde je možno vysvětlit jen obecné zásady a v jednotlivých konkrétních případech je nutné se řídit materiálovými nebo zkušebními normami.

V principu se zkušební vzorky připravují buď:

1. *Přímo ze zkoušené suroviny*

Používá se metod vstřikování, lisování, nebo vytvrzování v příslušných formách. Při každém způsobu je nutný určitý dohodnutý systém. Při vstřikování do chladné formy dojde na stěnách k prudkému ochlazení taveniny a tělísko má pak na povrchu převážně amorfni strukturu, do středu přibývá krystalické struktury a zvláště u silnostěnných tělísek jsou vyvinuté i sférolity. Ve výstřiku se pak ještě dlouhou dobu po vytažení z formy vyvíjí krystalická struktura a je proto pro zkoušky nevhodný. Při vstřikování do teplé formy

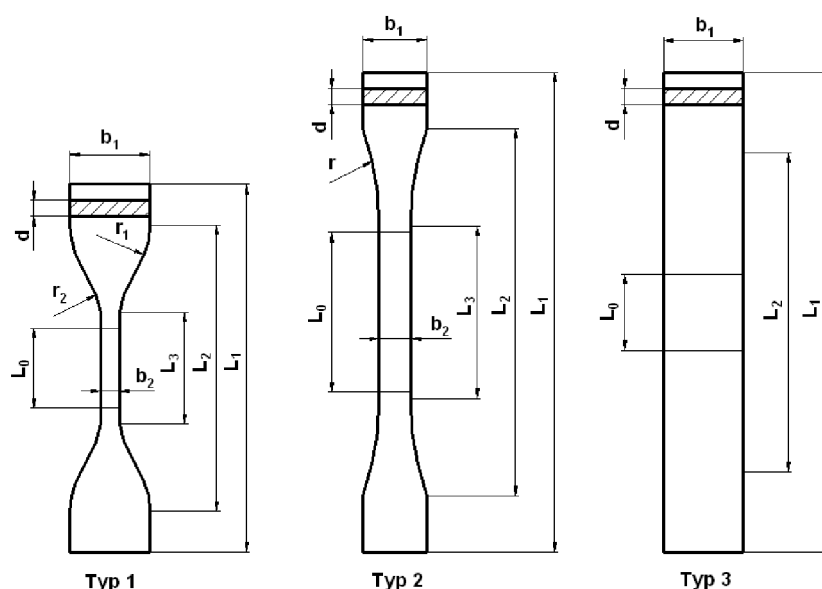
tavenina chladne pomalu a vyvíjí se dobře krystalická struktura. Tělísko je buď již s krystalickou strukturou, nebo se růst krystalinity dokončí při kondicionování.

Jiným způsobem přípravy zkušebních tělísek je vytvrzování v příslušných formách. Provádí se to např. pro epoxidové kompozice. Epoxidová pryskyřice (tekutá) s tvrdidlem se vlije do formy. Vzhledem k tomu, že epoxidové pryskyřice mají vynikající přilnavost ke kovům, vznikají problémy s vyjmutím tělísek. Formy jsou proto poteflonovány nebo se používá silikonových seperátorů.

2. Vyříznutím a strojním opracováním

V některých případech se zkouší jakost výrobků tak, že na předem určených místech se část vyřízne a strojně opracuje. Musí se opět dbát na to, aby při strojním opracování nedošlo k mechanickému porušení, tj. štípání, tavení apod. Zkušební tělíska se pak ještě jemně dobrušují a leští.

Zkušební tělíska ať jsou již připravena jakýmkoliv způsobem, mívají různé tvary buď podle předepsané zkoušky nebo podle druhu materiálu. Bývají to tvary: různé kroužky, tyčinky, destičky, tvary lopatiček, válečky apod. V ČSN 64 0605 [6] jsou normalizována tělíska pro zkoušky tahem. Na *obr. č.11* jsou pro názornost uvedeny tvary, v *tab. č.1* pak příslušné rozměry v mm.



Obr. 11. Tvary zkušebních tělísek pro zkoušky tahem

Tab. 1. Rozměry zkušebních tělísek

Rozměr v mm	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Celková délka L_1	115	150	250
Vzdálenost označující hrany čelistí L_2	80 ± 5	115 ± 5	170 ± 5
Délka pracovní části L_3	33 ± 2	$60 \pm 0,5$	-
Počáteční měřená délka L_0	25 ± 1	$50 \pm 0,5$	50 ± 1
Šířka upínací hlavy b_1	25 ± 1	$20 \pm 0,5$	$25 \pm 0,5$
Šířka pracovní části b_2	$6 \pm 0,4$	$10 \pm 0,5$	-
Velký poloměr zakřivení r_1	25 ± 1	-	-
Malý poloměr zakřivení r_2	$14 \pm 0,5$	-	-
Poloměr zakřivení r	-	60	-
Tloušťka d	dle materiálu 1 až 6		

3. Kondicionování

Při přípravě zkušebních vzorků se tělíska obvykle vystaví podmínkám, které neodpovídají ustálenému stavu. Je to např. otázka krystalinity při vstřikování, dále vznik mechanického napětí při opracování, vysušení apod. Proto se musí tělíska upravit do standardního stavu.

Často je problémem úprava vlhkosti vzorku. Pokud mají polymery nepatrnou nasákavost, postačí obvykle uložení na 24 hodin v klimatizační skříni. Během této doby dojde k vyrovnání vlhkosti, smrštění, částečně i vyrovnání pnutí apod. Složitější situace je u polymerů, které přibírají větší množství vlhkosti. Pozvolné vyrovnání na standardní hladinu v klimatizační skříni by trvalo neúměrně dlouho. Zatím co některým materiálům postačí jen několik minut (tenký papír, textil), některé potřebují týdny (lisovací hmoty), nebo i měsíce (tvrzená guma). Proto se doporučuje některý z těchto způsobů úprav tělísek:

- zkoušení ihned po vstřikování
- úprava 50 hodin klimatizací při 23°C a 60% relativní vlhkosti vzduchu, to je zhruba při standardních laboratorních podmínkách.
- úprava vzorku vařením ve vodě po dobu 5 hodin a pak kondicionováním na vzduchu.

- d) úprava ve vodných roztocích některých solí, např. v koncentrovaném roztoku octanu draselného ve vodě. [5]

1.4.4 Zkouška tahem

Jednou z nejdůležitějších zkoušek materiálu hodnotících jeho pevnost je tahová zkouška. Při zkoušce tahem je materiál namáhán silou tak, že dojde k jeho porušení. Kdyby byl materiál isotropní, bylo by napětí v celém průřezu zkušební tělesa rozloženo rovnoměrně. V praxi se tento ideální stav nevyskytuje, vlastnosti plastů se v různých místech liší a tahové napětí je rozloženo nerovnoměrně. Vznikají tím smyková napětí.

Je nutné si předem uvědomit pochody při namáhání tahem. Jestliže budeme působit na průřez tělesa S silou F , bude osově napětí působící v průřezu zkušební tělesa při tahové zkoušce $\sigma = \frac{F}{S}$. Průřez tělesa se nám při zkoušce však bude měnit až do okamžiku, kdy se dosáhne rovnováhy mezi deformací a napětím. Při dalším zatěžování síly se dostaneme do okamžiku, kdy se těleso přetrhne. Protože průřez tělesa se při zkoušce stále mění, je zjišťování skutečného napětí obtížné. V praxi se obvykle pracuje s tak zvaným **smluvním napětím**, což je síla vztažená na počáteční průřez zkušební tělesa:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (9)$$

Tento způsob vyjadřování je vžitý pro kovy a byl také převzat pro plasty. Tam, kde dochází k malým deformacím jako jsou reaktoplasty, polystyren apod., tento stav ještě vyhovuje. U elastomerů, kde nastává prodloužení o několik desítek procent, je však již potom podstatné zmenšení průřezu tělesa a tím i velký rozdíl mezi napětím na začátku a na konci zkoušky.

S prodlužováním tělesa se mění jeho původní délka l_0 na l a vyjadřujeme ji jako **poměrné nebo relativní prodloužení (deformace v tahu)**:

$$\varepsilon_l = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad [-] \quad (10)$$

A také, s prodlužováním zkušební tělesa nastává i zmenšování průřezu:

$$\varepsilon_s = \frac{S_0 - S}{S_0} = \frac{\Delta S}{S_0} \quad [-] \quad (11)$$

Relativní změna průřezu v závislosti na relativní změně délky se nazývá **Poissonovo číslo**:

$$\mu = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_l} \quad [-] \quad (12)$$

Pro změnu objemu při prodloužení byl odvozen tento vztah:

$$\frac{\Delta V}{V_0} \approx (1 - 2\mu) \cdot \frac{\Delta l}{l_0} \quad [-] \quad (13)$$

Podle tohoto vzorce může Poissonovo číslo dosáhnout maximálně hodnoty 0,5.

Pro zkoušky v tahu v počáteční části křivky platí Hookův zákon, který říká, že deformace je úměrná použité síle:

$$\varepsilon = K \cdot \sigma \quad [-] \quad (14)$$

kde ε - poměrné prodloužení

K - součinitel úměrnosti

σ - napětí v tahu

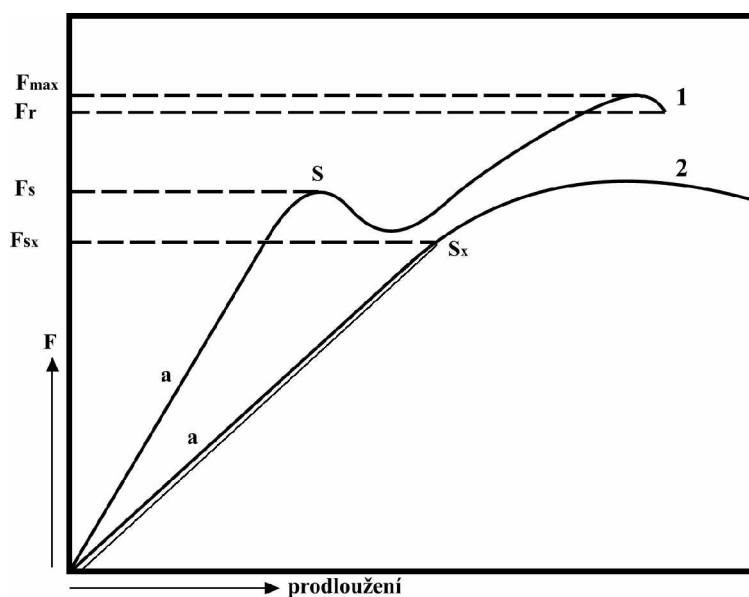
Součinitel úměrnosti K udává poměrnou změnu délky při jednotkovém napětí. Je to cotg úhlu, který svírá tečna křivky v diagramu napětí – poměrné prodloužení s osou ε . Protože takto vycházejí velmi malé hodnoty, používá se v praxi jeho převrácená hodnota

$$\frac{1}{K} = E \quad [\text{MPa}] \quad (15)$$

E je **modul pružnosti**, také nazývaný Youngův modul.

Výše uvedené vztahy platí přibližně, protože přísně lineární závislost prodloužení na napětí není dodržena u žádného materiálu. Proto se v praxi objevují menší nebo větší odchylky od Hookova zákona. Průběh křivek až po mez úměrnosti v tahu je však velmi podobný. Rozlišení nastává až po překročení této meze.

Obecná tahová křivka polymerů je velmi podobná tahovým křivkám kovů. Idealizovaně je nakreslena na *obr. č.12*. V průběhu zkoušky se trvale měří síla a prodloužení zkušebního tělesa. Z křivky „síla – prodloužení“ se vyhodnocují charakteristické veličiny ze zkoušky tahem.



Obr. 12. Obecná křivka „síla – prodloužení“

Křivka 1- materiál vykazuje mez kluzu

Křivka 2 - materiál nevykazuje mez kluzu

a - přímkové části na počátku křivky

S - mez kluzu

x - úsek na ose prodloužení pro stanovení meze kluzu

S_x – smluvní mez kluzu

Při vyhodnocování křivky se používají některé pojmy, v jejichž názvech a symbolech však není ve všech normách jednotnost.

Mez úměrnosti v tahu

Je to mezní napětí, do kterého je deformace úměrná napětí. Až do meze úměrnosti je průběh tahové křivky prakticky přímkový (na obr. č.12. úsek a) a v této oblasti platí Hookův zákon. Ve skutečnosti však již i při poměrně malém napětí zůstává na zkušební tělísku určitá trvalá deformace. Pro dokonale pružný materiál bychom tuto mez zjistili postupným zvyšováním a postupným rušením napětí až do té hodnoty, kdy zůstane určité prodloužení. V praxi se obvykle jako mez úměrnosti v tahu definuje mezní napětí, při kterém po odtížení zkušební tělíska vykazuje trvalý přírůstek měřené délky max. 0,01%.

Horní mez kluzu

Bod na křivce, do kterého se zvyšovalo prodloužení se stoupajícím napětím. Za touto horní mezí se dále zvyšuje deformace, přičemž napětí poklesne. Pokles napětí pokračuje až k dolní mezi kluzu. Deformace přestává být homogenní. V jednom místě tělesa se vytvořilo tenčí místo nazývané krček. Krček má menší průřez nežli původní vzorek a v souvislosti s tím napětím v této oblasti protažení klesá, protože průřez krčku se zmenšuje. Současně však dochází k orientaci molekul v místě krčku a tím se jeho odpor proti deformaci zvětšuje. Postupně dosáhne deformační zpevnění krčku takového stupně, že jeho tuhost je větší než tuhost neprodloužené části tělesa. Proto se průřez krčku již téměř nemění a dochází k prodloužení částí tělesa, při němž se délka krčku zvětšuje.

Dolní mez kluzu

Tento bod udává na křivce kam až pokračuje pokles napětí při dalším prodlužování vzorku. Od tohoto bodu napětí opět stoupá, protože bylo celé těleso zpevněno orientací. Dochází k homogennímu protahování vydložené tělesa.

Smluvní mez kluzu

Stanovuje se v případech, kdy zkoušený materiál nemá mez kluzu. S_x se stanovuje graficky jako průsečík křivky „síla – prodloužení“ s přímkou vedenou rovnoběžně s počáteční přímkovou částí této křivky a vytínající na ose úseček prodloužení odpovídající poměrnému prodloužení, např. 1% (viz obr. č.12, křivka 2).

Mez pevnosti v tahu

Takto je označováno maximální napětí, resp. síla vztažená na plochu počátečního průřezu tělesa S_0 , naměřené v průběhu zkoušky tahem. Do výpočtu se dosazuje vždy maximální hodnota síly, i když k destrukci (vlastnímu přetření) došlo později v okamžiku σ_r za nižšího napětí. Podobně jako u jiných materiálů je skutečná pevnost plastů mnohem menší než pevnost vypočítaná teoreticky na základě mezimolekulárních vazebných sil. Příčina spočívá v přítomnosti defektů ve struktuře, které představují místa s nižší pevností, než má okolní hmota. Při zatěžování mohou v těchto místech vznikat taková napětí, která překračují hodnotu kohezní pevnosti, čímž dochází ke vzniku mikrotrhliny. Ta se šíří dále až dojde k lomu tělesa v makroměřítku.

Mez pevnosti v tahu při přetržení σ_r

Napětí, při kterém se těleso přetrhlo.

Poměrné prodloužení při přetržení ε_r

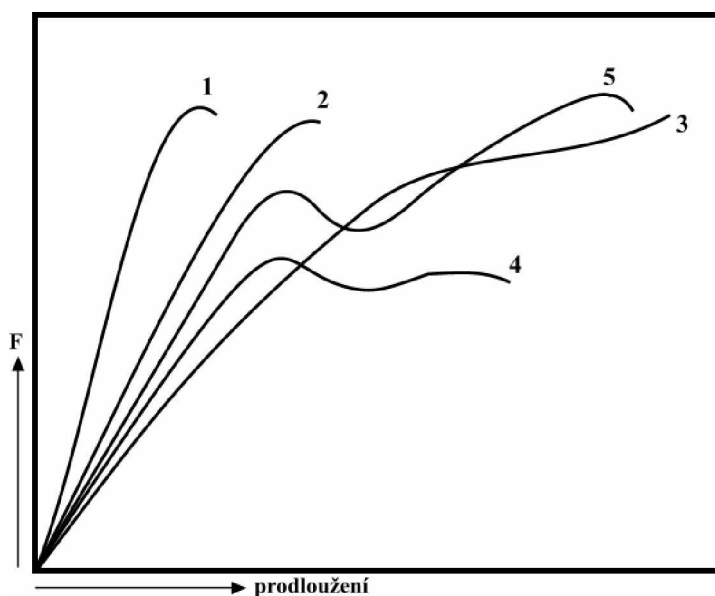
Je to poměrná změna délky při zkoušce tahem v okamžiku přetržení. Vyjadřuje se v procentech měřené délky:

$$\varepsilon_r = \frac{(l - l_0) \cdot 100}{l_0} = \frac{\Delta l \cdot 100}{l_0} \quad [\%] \quad (16)$$

Poměrné prodloužení při největší síle ε_z

Změna délky Δl v okamžiku dosažení největší síly $F_{\max}$ vztažená na počáteční měřenou délku l_0 zkušebního tělesa.

Různé materiály mají své charakteristické tahové křivky, které odpovídají mechanickým vlastnostem. Na obr. č.13 křivka 1 odpovídá materiálu s malou průtažností (reaktoplasty, jako epoxidové pryskyřice, bakelit), křivka 2 odpovídá houževnatějšímu materiálu (např. neměkčený PVC), křivka 3 odpovídá materiálu s velkou průtažností. Křivka nemá mez kluzu, sem patří měkčený PVC. Křivka 4 má dolní a horní mez kluzu, typický je polyethylen a polypropylen. Křivka 5 odpovídá polyamidu, u kterého se prodloužením mechanické vlastnosti zlepšují. [5]

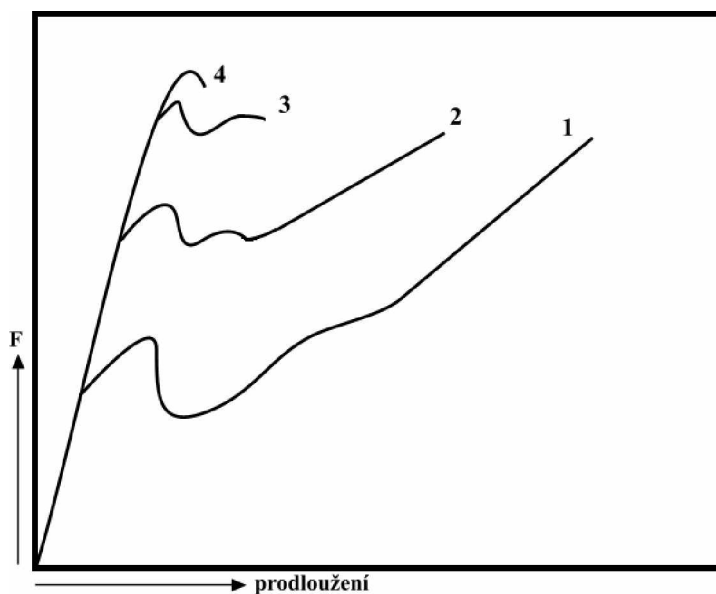


Obr. 13. Charakteristické křivky různých materiálů

- 1 - materiál s malou průtažností (epoxidové pryskyřice, bakelit)
- 2 - houževnatý materiál (PVC)
- 3 - materiál s velkou průtažností
- 4 - materiál s dolní a horní mezí kluzu (PE, PP)
- 5 - materiál zlepšující mechanické vlastnosti prodloužením (polyamid)

Obr. č.14 znázorňuje, jak průběh tahové křivky může být ovlivněn způsobem provedení. Z podmínek při provádění je nejdůležitější teplota a rychlost deformace. Proto pokud není pro daný materiál určena rychlost deformace, je nutné ji volit co nejmenší, aby se projevily charakteristické vlastnosti polymeru.

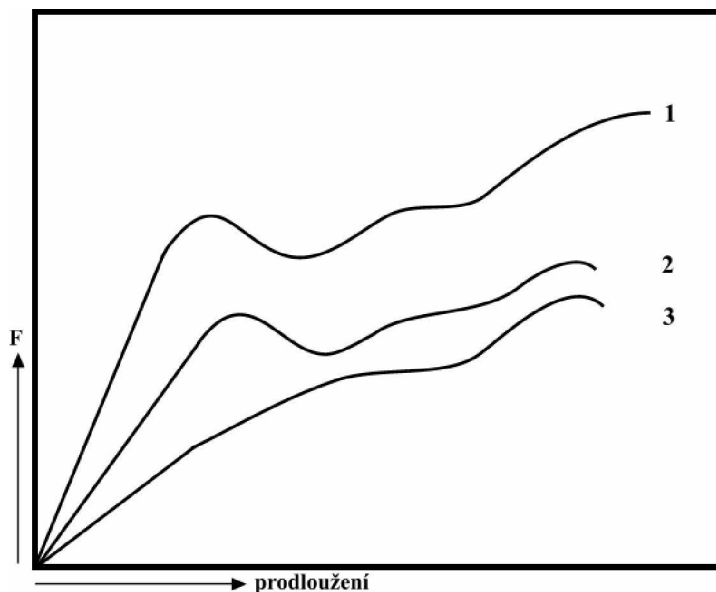
Voda působí v polyamidu jako změkčovadlo nebo mazivo makromolekul, které se pak po sobě snadněji posouvají. Vytvoření krčku je doprovázeno zvýšením teploty v zúženém místě, což je jednou z příčin poklesu napětí za mezí kluzu. [5]



Obr. 14. Závislost síly na rychlosti deformace u polypropylenu

- 1 - 2,6 mm/min
- 2 - 15 mm/min
- 3 - 52mm/min
- 4 – 300mm/min

Vymizení meze kluzu vlivem vlhkosti u PA 6 je dokumentováno na obr. č.15. [5]



Obr. 15. Tahové křivky polyamidu s různou vlhkostí

1 - do 2% vlhkosti

2 - do 3% vlhkosti

3 – do 5% vlhkosti

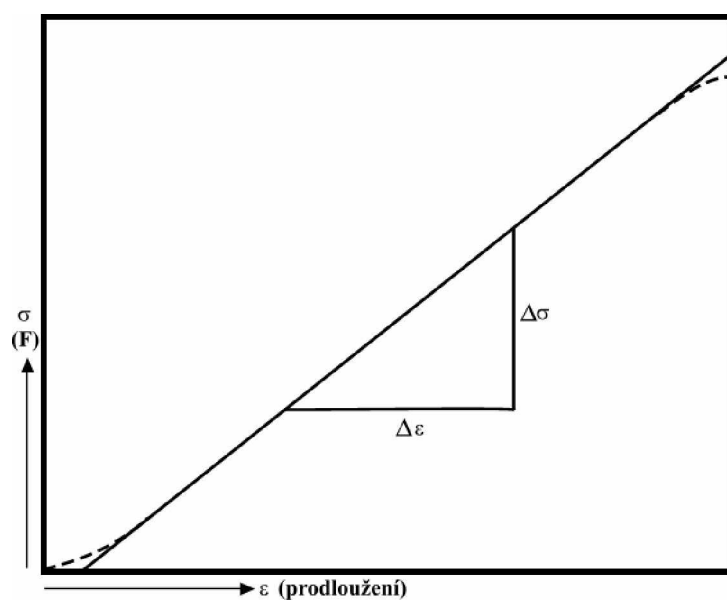
Modul pružnosti v tahu E

Je podíl napětí v tahu σ_t a poměrného prodloužení ε_t v oblasti, ve které existuje lineární závislost mezi napětím a prodloužením.

$$E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} \quad [\text{MPa}] \quad (17)$$

Jako počátek pro stanovení poměrného prodloužení k vyjádření modulu pružnosti je možno brát průsečík prodloužení počáteční přímkové části závislosti „síla – prodloužení“ s osou prodloužení, obr. č.16. Experimentální chyby a nevyhnutelné nedokonalosti zkušebního zařízení jsou příčinou toho, že přímka proložená počáteční oblastí hodnot neprochází počátkem.

Při použití zkušebního zařízení s automatickým zápisem je možno přímo použít záznam zapisovače k proložení přímky grafickou cestou. Jestliže není k dispozici grafický záznam, doporučuje se vypočítat předem parametry přímky alespoň z 10 dvojic naměřených hodnot regresní metodou. [5]



Obr. 16. Závislost „napětí – poměrné prodloužení“ „počáteční oblast

1.5 Přesnost měření a příčiny chyb

Přesnost měření je těsnost shody mezi výsledkem měření a pravou (konvenčně pravou) hodnotou měřené veličiny.

Chyby měření

Měřením nemůžeme nikdy zjistit pravou hodnotu x_p měřené veličiny. To je způsobeno nedokonalostí metod měření, měřících přístrojů, lidských smyslů i proměnných podmínek při měření. Výsledkem měření je hodnota x_m , která se od pravé hodnoty x_p liší a jejich rozdíl je chyba měření Δ :

$$\Delta = x_m - x_p \quad (18)$$

kterou nemůžeme nikdy přesně určit (vzhledem k neznalosti hodnoty x_p), pouze odhadnout. Chyba charakterizuje odchylku naměřené hodnoty veličiny od pravé hodnoty, a proto se nazývá absolutní chyba a je vyjádřena v jednotkách měřené veličiny. Přesnost naměřené hodnoty někdy však názorněji vyjadřuje relativní chyba definována vztahem a je možno ji vyjádřit v procentech.

$$\Delta_r = \frac{x_m - x_p}{x_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (19)$$

Vzhledem k tomu, že pravá hodnota měřené veličiny je experimentálně nedosažitelná, je nutné provádět potřebné výpočty a odhady pomocí konvenčně pravé hodnoty, což je hodnota, která je velice blízká pravé hodnotě a jejíž přesnost určení je vyhovující pro daný účel. Při odhadu relativní chyby podle (19) lze jako hodnotu x_p , použít právě měřenou hodnotou x_m .

Aritmetický průměr $\bar{x}$ je ukazatel polohy, který označuje těžiště všech naměřených hodnot.

Směrodatná odchylka je číslo, které udává, nakolik se naměřené hodnoty odchylují v průměru od $\bar{x}$.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_j - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (20)$$

Chyby systematické (soustavné)

Systematické chyby podléhají určité zákonitosti. Jejich působení se projevuje neobvyklými odchylkami v jakosti. Systematické chyby jsou hospodárně zjištěitelné a vyplatí se je odstranit nebo zmenšit. Systematické chyby tedy dělíme na:

- Systematické chyby použité metody

Vznikají nedokonalostí použitého způsobu měření, zjednodušujícími podmínkami měřicí metody, nevhodností použitého způsobu měření.

- Systematické chyby pozorovatele

Tyto chyby vyplývají z nedokonalých pozorovacích možností člověka, vznikají špatnou smyslovou koordinací provozovatele, např. reakční dobou při měření časových údajů, omezenou rozlišovací schopností oka, úkosem při čtení na stupnici, nepřesným odhadem částí dílků stupnice, atd. Tyto chyby lze vyloučit tím, že subjektivní měření nahradíme objektivním pomocí přesného čidla spojeného s měřícím přístrojem.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty maximálních chyb pro nejčastěji používaná měřidla délkových rozměrů.

Tab. 2. Hodnoty maximálních chyb pro často používaná měřidla

Měřidlo	Maximální chyba
Měřítka pásové	(0,5 - 2) mm
Měřítka posuvné	(0,05 - 0,1) mm
Mikrometrické měřítka	(0,005 - 0,01) mm

Chyby náhodné (nahodilé)

Předpokládejme, že vliv systematických chyb byl korigován. Budeme-li provádět opakovaná měření téže veličiny za stejných podmínek, zjistíme, že výsledky jednotlivých měření se poněkud liší. Jsou to stálé změny veličin, které měření provázejí jako je tlak, teplota, vlhkost, magnetické pole nebo např. malé změny mechanických částí experimentálního zařízení (např. tření), apod. Náhodnou chybu si můžeme obecně představit složenou z velkého počtu velmi malých, ojediněle nepozorovatelných, elementárních chyb. Zdroje těchto elementárních chyb nejsou pod naší kontrolou (vlivy nekontrolovatelné) a mají za následek vznik chyb, které sice nelze vyloučit, ale při velkém počtu opakovaných

měření vykazují statistické zákonitosti a tyto zákonitosti můžeme použít k odhadu vlivu náhodných chyb na přesnost měření.

Výrobní chyby

Odchylky od jmenovitého rozměru a tvaru součástí jsou ve výrobě způsobeny chybami obráběcích strojů, nástrojů a tuhostí soustavy stroj – nástroj – součást a v neposlední řadě také chybami měřicích pomůcek. Také zde můžeme dělit výrobní chyby na chyby soustavné a nahodilé. Výrobní chyby bývají zaviněny:

1. *Výrobním strojem:*

- a) nepřesnou montáží nového stroje nebo stroje po generální opravě
- b) nesprávnou rovnoběžností, přímostí a kolmostí vedení lože, suportu, stolu, apod.
- c) nepřesným lícováním vřetena a ložisek
- d) nedodržením souměrnosti os různých konstrukčních celků
- e) opotřebením kluzných ploch
- f) deformací stroje jako následku nesprávně ustaveného stroje.

2. *Výrobní chyby zaviněné nástrojem:*

- a) nesprávným seřízením
- b) nesprávným naostřením.

3. *Výrobní přípravek*

Způsobuje soustavné chyby svou nepřesností, špatným ustavením a upnutím na stroji nebo dokonce nesprávnou konstrukcí celého přípravku.

4. *Nepřesně zhotovené měřicí pomůcky*

Způsobují také soustavné chyby.

5. *Neshodný rozměr nebo materiál polotovaru*

Způsobuje neshodné výrobní podmínky a může vést k chybám soustavným i nahodilým. Ve srovnání chyb výrobních s chybami měření se nutnost, aby nejen přesnost měřicích přístrojů, ale také přesnost veškerého měření, byla o řád větší než přesnost výrobní. [7]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Technické údaje zkušebního stroje Zwick

Zkušební stroj Zwick 145 665 slouží k praktickému zkoušení vzorků. Provádí se na něm testování tahem, tlakem a ohybem za použití mnoha materiálových vzorků (plastů, kompozitů, laminátů, textilií, pěnových materiálů, lepenek, papírů aj.)

Univerzální program (testXpert) je dodán spolu se zkušebním strojem a nainstalován na osobním počítači, který vyhodnocuje průběh zkoušky a měřené veličiny.

Technická data

Maximální zkušební síla : 20 kN

Celková výška : 2012 mm

Celková šířka : 630 mm

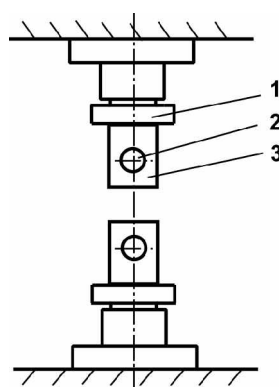
Strojová výška : 1284 mm

Pracovní šířka : 420 mm

Rozpětí čelistí : 15 mm

Hmotnost : 150 kg

Upínací zařízení stroje



Obr. 17. Schéma upínacího zařízení stroje

1. Utahovací matice
2. Otvor pro pojistný kolík
3. Spojovací čep

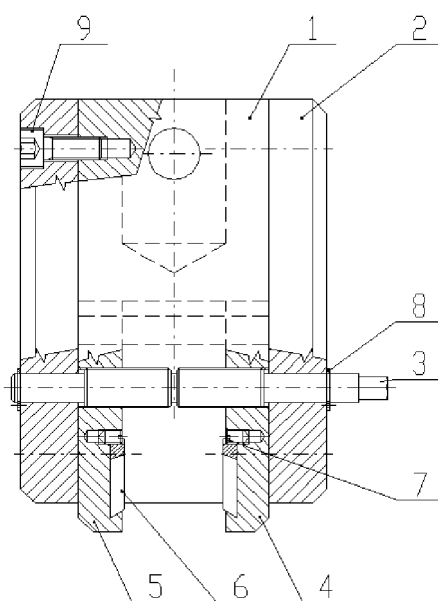
2.2 Návrh upínacích čelistí

Principiální řešení

Po vyhodnocení výhod a nevýhod různých druhů upínacích čelistí byly pro konstrukční návrh vybrány šroubové upínací čelisti. Důvodem je jejich jednodušší konstrukční a technologické řešení než u jiných typů. Použitím pohybového šroubu s pravým a levým závitem (viz *obr. 18*) zároveň odstraňujeme jednu z nevýhod některých typů šroubových čelistí, které neupínají vzorek do osy stroje. Za velice výhodné, při upínání vzorků z polymerních materiálů, lze považovat konstantní upínací sílu.

Konstrukční řešení

Pravá (4) a levá (5) čelist je uložena ve vedení základní desky (1), která je upnuta na spojovací čep zkušebního stroje (*obr. 18*). K sevření a otevření čelistí nám slouží pohybový šroub (3) uložený v bočních deskách (2), které jsou přišroubovány imbusovými šrouby (9) k desce základní. K vymezení uložení pohybového šroubu nám slouží pojistné kroužky (8). Pohybový šroub má dva závity (pravý a levý) a tím dochází k současnému pohybu upínacích čelistí. Šroub je zakončen šestihranem pro utahování klíčem (nejlépe momentovým klíčem k dosažení požadované upínací síly). Pravá i levá čelist má vedení a pojistný závrtný šroub (7) pro použití vyměnitelných tvarových vložek (6).



Obr. 18. Schéma konstrukčního řešení upínacích čelistí

1. Základní deska
2. Boční desky
3. Pohybový šroub
4. Pravá čelist
5. Levá čelist
6. Vyměnitelné tvarové vložky
7. Závrtné šrouby
8. Pojistné kroužky
9. Spojovací imbusové šrouby

Výrobní výkresy sestavy i jednotlivých detailů jsou v příloze bakalářské práce. Protože horní i dolní upínací čelisti jsou identické, je pro jejich zobrazení zhotovena jen jedna sestava. Počet kusů odpovídá oběma upínacím čelistem.

2.3 Návrh redukcí pro upínací čelisti

V průběhu konstrukčního řešení upínacích čelistí byl vysloven požadavek na rozšíření univerzality o možnost provádět měření při různých rozsazích zatěžující síly. Z uvedeného důvodu byly navrženy redukce umožňující zapojení snímače tahové síly.

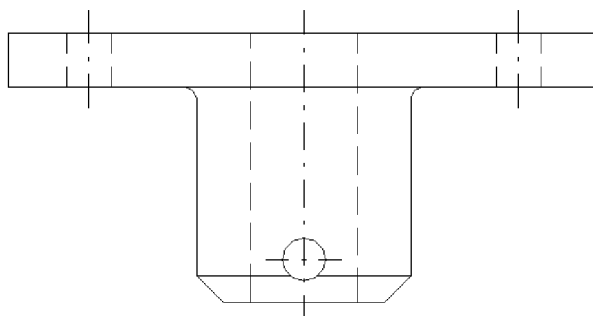
1. Redukce

Principiální řešení

Slouží ke spojení snímače tahové síly a čelistí pro zkoušku ohybem. Redukci přišroubujeme k čelisti a příruba se nasadí na spojovací čep snímače a zajistí se kolíkem.

Konstrukční řešení

Schéma redukce viz *obr. 19* a zhotovený výrobek viz *obr. 20*. Výrobní výkres 1. redukce se nachází v příloze bakalářské práce.



Obr. 19. Schéma 1. redukce



Obr. 20. Navržená 1. redukce

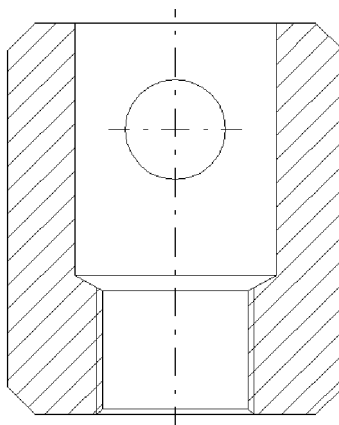
2. Redukce

Principiální řešení

Slouží ke spojení snímače tahové síly k upínacímu zařízení stroje. K redukci přišroubujeme snímač tahové síly a nasadíme na spojovací čep upínacího zařízení stroje a zajistíme kolíkem.

Konstrukční řešení

Schéma redukce viz obr. 21 a zhotovený výrobek viz obr. 22. Výrobní výkres 2. redukce se nachází v příloze bakalářské práce.



Obr. 21. Schéma 2. redukce



Obr. 22. Navržená 2. redukce

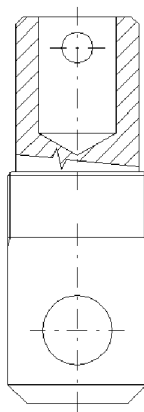
3. Redukce

Principiální řešení

Slouží ke spojení snímače tahové síly a upínacích čelistí. Redukci nasadíme na spojovací čep snímače tahové síly a zajistíme kolíkem. Na redukci pak nasadíme upínací čelisti a také zajistíme kolíkem. Pro dotažení nám slouží matice.

Konstrukční řešení

Schéma redukce viz *obr. 23* a zhotovený výrobek viz *obr. 24*. Výrobní výkres 3. redukce se nachází v příloze bakalářské práce.



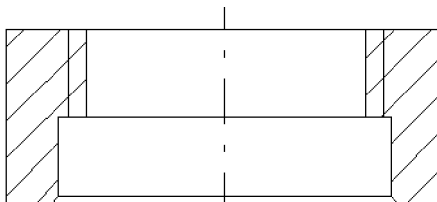
Obr. 23. Schéma 3. redukce



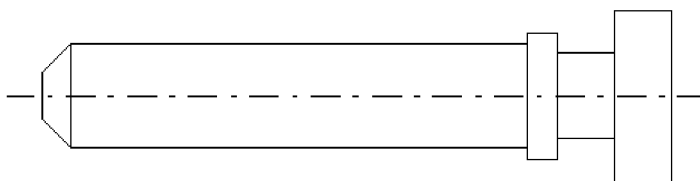
Obr. 24. Navržená 3. redukce

Matice a spojovací kolík

Schémata viz obr. 25, 26 a navržené výrobky viz obr. 27, 28. Výrobní výkres matice a spojovacího kolíku se nachází v příloze bakalářské práce.



Obr. 25. Schéma matice



Obr. 26. Schéma spojovacího kolíku



Obr. 27. Navržená matice



Obr. 28. Navržený spojovací kolík

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Materiál zkušebních vzorků

Pro ověření funkčnosti redukcí byly použity vzorky houževnatého polystyrenu vyřezané z odpadového materiálu od firmy BALLPROPAG Vršava, Zlín.

Tabulka 3 uvádí rozsahy, ve kterých se pohybují u běžných typů houževnatého polystyrenu hodnoty některých důležitých vlastností. [8]

Tab. 3. Vlastnosti houževnatého polystyrenu

Vlastnost	Rozsah hodnot pro běžné typy
Hustota [kg/m^3]	1030 – 1040
Index toku taveniny [g/10min]	3 – 20
Pevnost v tahu při přetržení [MPa]	15 – 45
Mez kluzu v tahu [MPa]	20 – 45
Tažnost [%]	15 – 45
Mez pevnosti v ohybu [MPa]	30 – 85
Modul pružnosti [GPa]	1,3 – 2,8
Tvrdost podle Brinella [MPa]	105 – 140
Vrubová houževnatost (Charpy) [kJ/m^2]	4 – 10
Torzní tuhost [MPa]	175 – 780
Navlhavost [%]	0,2
Střední koeficient délkové teplotní roztažnosti [K^{-1}]	$8 \cdot 10^{-5}$ – $10 \cdot 10^{-5}$
Měrná tepelná vodivost [W/m.K]	0,16 – 0,18

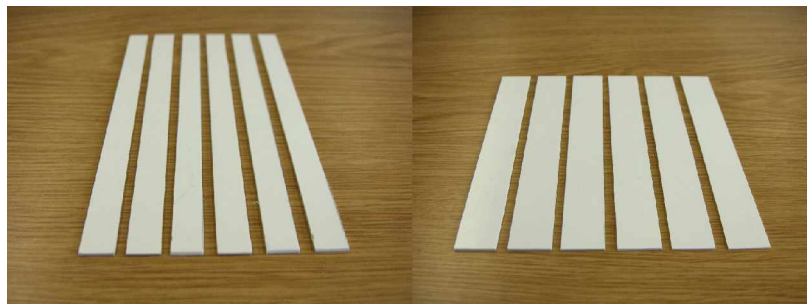
3.2 Ověření funkčnosti

Upínací čelisti

Vzhledem k tomu, že navržené upínací čelisti nebyly zatím vyrobeny, nemohla být jejich funkčnost při experimentálních měřeních ověřena. Výkresová dokumentace se nachází v příloze bakalářské práce.

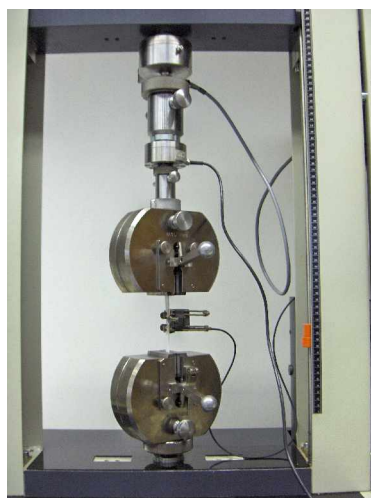
Redukce upínacích čelistí

Navržené redukce, matice a spojovací kolík byly vyrobeny dle zpracované výrobní dokumentace (viz příloha) ve firmě 5M s.r.o. Boršice. Následně byly namontovány na zkušební stroj a ověřena jejich funkčnost provedením sérií experimentálních měření. Byla provedena tahová zkouška na vzorcích z houževnatého polystyrenu různých šířek a tloušťek.



Obr. 29. Zkušební vzorky

Celkové uspořádání po sestavení redukcí je uvedeno na obr. č.:30.



Obr. 30. Zapojení redukcí

3.3 Naměřené a vypočtené hodnoty

Měření za účelem ověření funkčnosti navržených a vyrobených konstrukčních celků byla provedena za těchto podmínek:

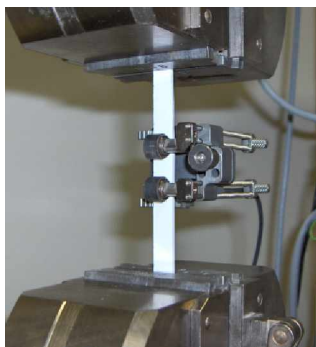
Skupina vzorků: (tloušťka, šířka, délka)

A: 5 vzorků 1x10x150 mm, B: 5 vzorků 2x10x150 mm, C: 5 vzorků 3x10x150 mm,

D: 5 vzorků 2x20x150 mm, E: 5 vzorků 3x20x150 mm

Snímač tahové síly pro zatížení do 2,5 kN.

Použití digitálního extensometru pro přesnější určení deformace. (viz obr. 31)



Obr. 31. Upnutí vzorku s extensometrem

Měřením byly zjištěny hodnoty, které jsou pro jednotlivé skupiny vzorků uvedeny v souhrnné tabulce v příloze č.1. Současně byly pro jednotlivé vzorky zjištěny závislosti napětí na poměrném prodloužení, které jsou v příloze č.2.

Pro jednotlivé skupiny byly vypočteny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky nejdůležitějších parametrů (viz tabulka 4).

Tab. 4. Průměrné naměřené hodnoty a jejich směrodatné odchylky

Skupina	Tloušťka t [mm]	Šířka š [mm]	Mez pevnosti v tahu R _m [N/mm ²]	Modul pružnosti v tahu E [N/mm ²]	Zatěžující síla F [N]
A	1	9,87 ± 0,38	36,31 ± 0,33	2285,91 ± 38,54	358,57 ± 15,42
B	2	10,01 ± 0,09	26,77 ± 0,53	1861,52 ± 52,15	535,74 ± 10,85
C	3	9,94 ± 0,24	21,46 ± 0,32	1433,99 ± 26,94	640,07 ± 23,68
D	2	19,92 ± 0,20	13,65 ± 0,08	1073,16 ± 20,95	543,65 ± 6,77
E	3	19,97 ± 0,16	21,75 ± 0,23	1482,47 ± 91,16	1303,03 ± 19,90

4 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Funkčnost redukcí

Na základě provedených zkoušek lze konstatovat, že navržené a následně vyrobené konstrukční celky (redukce, matice, kolík) se plně osvědčily. Jejich používání rozšíří možnosti měření při různých rozsazích zatěžujících sil.

Naměřené hodnoty

Z vyhodnocení naměřených hodnot (viz příloha č. 1,2 a tabulka 4) vyplývá, že naměřené hodnoty vykazují značný rozptyl. Nejvýrazněji se rozdíl naměřených hodnot projevuje u modulu pružnosti v tahu. Tuto skutečnost si lze vysvětlit tím, že použité vzorky byly získány z odpadového materiálu, u kterého nebylo známo chemické ani tepelné zpracování.

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se věnoval konstrukčnímu návrhu upínacích čelistí a redukcí pro rozšíření univerzálnosti zkušebního stroje ZWICK 145 665. Zaměřil jsem se na teorii upínacích čelistí a tahových mechanických zkoušek a vyšetřil výhody a nevýhody různých druhů upínacích čelistí. Pro konstrukční řešení jsem vybral šroubové upínací čelisti.

Pro ověření funkčnosti vyrobených redukcí jsem provedl zkoušku tahem na několika vzorcích z polymerních materiálů. Výsledky zkoušek jsem vyhodnotil a jsou uvedeny v experimentální části a příloze bakalářské práce.

Výkresovou dokumentaci upínacích čelistí a redukcí jsem zpracoval v programu AUTOCAD 2002 a je přiložena v příloze bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HLUCHÝ, Miroslav a kolektiv. *Nauka o materiálu*. SNTL Praha, 1978.
- [2] *General Purpose Static Tensile Grips* [online]. [cit. 2005-01-15]. Dostupný z WWW:
[<http://www.instron.com/>](http://www.instron.com/).
- [3] NEDBAL, Radomír. *Strojírenská technologie*. Pracovní sešit, 1998.
- [4] *Mechanické vlastnosti polymerů* [online]. [cit. 2005-01-15]. Dostupný z WWW:
[<http://www.beltplast.cz/>](http://www.beltplast.cz/).
- [5] JARUŠEK, Jaroslav. *Metody zkoumání polymerů*. VŠCHT Pardubice, 1984.
- [6] Technická norma: ČSN EN 64 0605
- [7] *Jakost a metrologie* [online]. [cit. 2005-01-15]. Dostupný z WWW:
[<http://www.ft.utb.cz/czech/uvi/czech/staff/shejbalova/JM](http://www.ft.utb.cz/czech/uvi/czech/staff/shejbalova/JM)
- [8] ŠVEC, Petr. *Polystyren a jeho modifikace* SNTL Praha, 1985.
- [9] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. VUT Brno, 1992.
- [10] LEINVEBER, Jan. ŘASA, Jaroslav. VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Scientia s.r.o. Praha, 1999.
- [11] *Zwick Information* [online]. [cit. 2005-01-15]. Dostupný z WWW:
[<http://www.zwick.com/>](http://www.zwick.com/).
- [12] ŠVERCL, Josef. *Technické kreslení a deskriptivní geometrie*. Scientia s.r.o. Praha, 2003.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F	síla na rukojeti páky	[N]
L	délka rukojeti	[mm]
F_1	síla pro utahování závitu se třením	[N]
r_s	střední poloměr závitu	[mm]
Q	upínací síla součásti	[N]
α	úhel stoupání šroubovice	[°]
φ	třecí úhel	[°]
t	rozteč závitu	[mm]
f	součinitel tření	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
F_T	třecí síla	[N]
d	průměr šroubu	[mm]
d_2	střední průměr závitu	[mm]
M_U	utahovací moment	[N.mm]
M_T	třecí moment	[N.mm]
F_0	síla v ose šroubu	[N]
T_g	teplota skelného přechodu	[°C]
σ	napětí	[N/mm ²]
F	zatěžující síla	[N]
S	průřez zkušebního vzorku	[mm ²]
S_0	původní průřez zkušebního vzorku	[mm ²]
ΔS	skutečné zvětšení průřezu	[mm ²]
ε	poměrné prodloužení	[-]
Δl	skutečné prodloužení	[mm]

l_0	původní délka vzorku	[mm]
l	délka vzorku	[mm]
μ	Poissonovo číslo	[-]
K	součinitel úměrnosti	[1/N/mm ²]
E	modul pružnosti v tahu	[N/mm ²]
S_x	smluvní mez kluzu	[N/mm ²]
S	mez kluzu	[N/mm ²]
F_s	síla odpovídající mezi kluzu	[N]
F_{sx}	síla odpovídající smluvní mezi kluzu	[N]
F_{max}	maximální zatěžující síla	[N]
F_r	síla kdy dojde k přetržení vzorku	[N]
ϵ_r	poměrné prodloužení při přetržení	[%]
Δ_r	relativní chyba měření	[%]
Δ	chyba měření	
x_p	pravá hodnota veličiny	
x_m	naměřená hodnota veličiny	
$\bar{x}$	aritmetický průměr	
s	směrodatná odchylka	
x_j	individuální hodnota	
n	počet jednotek ve skupině	
ČSN	česká technická norma	
PVC	polyvinylchlorid	
PP	polypropylen	
PE	polyetylen	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schéma univerzálního zkušebního stroje.....	7
Obr. 2. Zkušební stroj Zwick	8
Obr. 3. Hydraulické čelisti.....	9
Obr. 4. Pneumatické čelisti.....	10
Obr. 5. Klínovité čelisti	10
Obr. 6. Šroubové čelisti	11
Obr. 7. Bajonetové čelisti.....	11
Obr. 8. Čelisti pro upínání vzorků provlékáním.....	12
Obr. 9. Silové poměry na šroubu.....	13
Obr. 10. Utahovací moment	15
Obr. 11. Tvary zkušebních tělísek pro zkoušky tahem	18
Obr. 12. Obecná křivka „síla – prodloužení“	22
Obr. 13. Charakteristické křivky různých materiálů	24
Obr. 14. Závislost síly na rychlosti deformace u polypropylenu.....	25
Obr. 15. Tahové křivky polyamidu s různou vlhkostí.....	26
Obr. 16. Závislost „napětí – poměrné prodloužení“ ,počáteční oblast.....	27
Obr. 17. Schéma upínacího zařízení stroje	31
Obr. 18. Schéma konstrukčního řešení upínacích čelistí.....	32
Obr. 19. Schéma 1. redukce.....	34
Obr. 20. Navržená 1. redukce	34
Obr. 21. Schéma 2. redukce.....	35
Obr. 22. Navržená 2. redukce	35
Obr. 23. Schéma 3. redukce.....	36
Obr. 24. Navržená 3. redukce	36
Obr. 25. Schéma matice	37
Obr. 26. Schéma spojovacího kolíku	37
Obr. 27. Navržená matice	37
Obr. 28. Navržený spojovací kolík	37
Obr. 29. Zkušební vzorky	39
Obr. 30. Zapojení redukcí	39
Obr. 31. Upnutí vzorku s extensometrem.....	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Rozměry zkušebních tělísek	19
Tab. 2. Hodnoty maximálních chyb pro často používaná měřidla	29
Tab. 3. Vlastnosti houževnatého polystyrenu	38
Tab. 4. Průměrné naměřené hodnoty a jejich směrodatné odchylky.....	40

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Příloha č.1 Naměřené hodnoty
- P II Příloha č.2 Grafický záznam
- P III Výrobní výkres redukce – příruba 20 č.v.: ÚVI – 04 – 01 – Lu
- P IV Výrobní výkres redukce – M28/φ36 č.v.: ÚVI – 04 – 02 – Lu
- P V Výrobní výkres redukce – φ20/čep36 č.v.: ÚVI – 04 – 03 – Lu
- P VI Výrobní výkres matice č.v.: ÚVI – 04 – 04 – Lu
- P VII Výrobní výkres čepu č.v.: ÚVI – 04 – 05 – Lu
- P VIII Sestava upínacích čelistí č.v.: ÚVI – 04 – 06 – Lu
- P IX Výrobní výkres základní desky č.v.: ÚVI – 04 – 07 – Lu
- P X Výrobní výkres boční desky č.v.: ÚVI – 04 – 08 – Lu
- P XI Výrobní výkres pravé čelisti č.v.: ÚVI – 04 – 09 – Lu
- P XII Výrobní výkres levé čelisti č.v.: ÚVI – 04 – 10 – Lu
- P XIII Výrobní výkres pohybového šroubu č.v.: ÚVI – 04 – 11 – Lu
- P XIV Výrobní výkres čepu 100 č.v.: ÚVI – 04 – 12 – Lu