

Návrh zařízení pro měření teplotní roztažnosti

Martin Halaška

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin HALAŠKA**
Osobní číslo: **T09413**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Návrh zařízení pro měření teplotní roztažnosti**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte rešerši na dané téma
Navrhněte konstrukční řešení přístroje
Sestavte a ověřte funkci přístroje

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 10. února 2012

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: HALAŠKA MARTIN

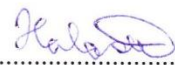
Obor: TZ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 14.5.2012


.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem zařízení pro měření teplotní roztažnosti polymerů. Byla navržena konstrukce zařízení, vypracována výkresová dokumentace, vyrobeny a smontovány jednotlivé části zařízení. Byla ověřena funkce a zjištěné výsledky byly porovnány s tabulkovými hodnotami.

Klíčová slova: polymery, teplotní roztažnost, zkoušky, návrh zařízení

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with a design of equipment for measurement of linear expansion of polymers. The design of the equipment has been made and the parts of equipment manufactured. The function of the equipment has been evaluated and results from measurement were compared with the data from literature.

Keywords: polymers, thermal expansion, testing, equipment design

Děkuji doc. Ing. Miroslavu Maňasovi CSc. za jeho, podněty a rady, které mi poskytl při zpracování bakalářské práce a za čas, který mi během zpracování věnoval.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 CHARAKTERISTIKA POLYMERŮ	12
1.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	12
1.1.1 Podle původu.....	12
1.1.2 Podle struktury molekul	15
1.1.3 Podle fyzikálně - chemických vlastností.....	16
1.1.4 Podle nadmolekulární struktury	17
1.2 POUŽITÍ POLYMERŮ	18
1.3 HLAVNÍ ZÁSADY PŘI NAVRHOVÁNÍ VÝROBKŮ Z PLASTŮ	19
2 VLASTNOSTI POLYMERŮ	20
2.1 FÁZOVÝ STAV – TERMODYNAMICKÉ VLASTNOSTI	20
2.2 DEFORMACE POLYMERŮ.....	22
2.3 VLIV STRUKTURY NA DEFORMACI	24
2.4 ODOLNOST PROTI STÁRNUTÍ.....	25
2.5 OPTICKÉ VLASTNOSTI.....	26
2.6 ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI.....	26
2.7 BIOLOGICKÉ VLASTNOSTI.....	27
2.8 TEPelnÉ VLASTNOSTI	28
2.8.1 Měrné teplo	28
2.8.2 Teplotní roztažnost polymerů	28
2.8.3 Vedení tepla v polymerech.....	30
2.9 HOŘLAVOST POLYMERŮ	31
3 LIKVIDACE A ZPRACOVÁNÍ ODPADU	33
3.1 RECYKLACE ODPADNÍCH POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ A REGENERACE	33
3.2 ZPRACOVÁNÍ ODPADNÍCH PLASTŮ	33
4 VYBRANÉ POLYMERY	35
4.1 POLYETYLEN S ULTRA VYSOKOU MOLÁRNÍ HMOTNOSTÍ (PE-UHMW).....	35
4.2 POLYOXYMETHYLEN (POM)	35
4.3 POLYKARBONÁT (PC)	36
4.4 POLYAMID 6 (PA6)	37
5 DÉLKOVÁ TEPLTNÍ ROZTAŽNOST V PRAXI	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
6 ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ DÉLKOVÉ TEPLTNÍ ROZTAŽNOSTI	42
6.1 ROZBOR A ČÁSTI KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ.....	42
6.1.1 Lázňový termostat Huber	42
6.1.2 Digitální úchylkoměr Mitutoyo.....	43
6.1.3 Vnější a vnitřní skleněná trubice.....	43
6.1.4 Systém uchycení.....	44

6.2	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	47
6.3	OVĚŘENÍ FUNKCE PŘÍSTROJE.....	48
7	PROTOKOL O ZKOUŠCE	50
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59

ÚVOD

Podívá-li se člověk kolem sebe, vidí v současnosti velkou škálu nejrůznějších materiálů, které svými vlastnostmi plní požadovanou funkci. V historii danou dobu charakterizoval materiál, který se v tu chvíli nejvíce používal – doba kamenná, železná a bronzová. Aniž si to většina z nás uvědomí, žijeme v době polymerní. Polymery nás obklopují v nejrůznějších podobách, ať už jako plasty, guma, vlákna, nebo různé lepidla a laky. Historie přírodních polymerů se váže na rok 1868 kdy John Wesley Hyatt objevil nitrát celulózy, známý pod obchodním názvem celulooid. Syntetické polymery jsou relativně nové materiály, které ještě před 90 lety v podstatě neexistovaly. Velký rozmach výroby polymerů souvisí i s velkým rozvojem zpracovatelských technologií. Plasty se v dnešní době používají jako alternativa kovu, kamene, dřeva, skla a keramiky. Bez těchto materiálů se současná civilizace neobejde.

V teoretické části se zabývám definicí polymerů, jejich rozdělením a vlastnostmi. Dále se zaměřuji na vlastnosti konkrétně vybraných syntetických polymerů, s kterými se denně setkává každý z nás. Znat dobře vlastnosti těchto látek je důležité jak pro zpracování, tak i pro konkrétní aplikaci na danou součást. Výrobek musí splňovat požadovanou rozměrovou přesnost a musí mít potřebnou pevnost, aby plnil svou funkci. Závěr teoretické části se věnuje teplotní roztažnosti v praxi.

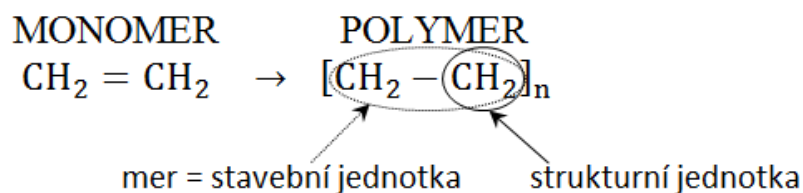
V praktické části jsem navrhl jednotlivé součásti přístroje pro měření teplotní roztažnosti polymerů a sestavil v jeden celek, tak aby bylo možné provádět měření. Po-té se zabývám výrobou zkušebních vzorků. Nakonec provádím samotné měření, abych zjistil jak velký vliv má teplota a teplotní roztažnost na různé druhy polymerů.

Teplotní roztažnost polymerů a nejen polymerů je důležitá vlastnost, kterou musíme brát v úvahu při navrhování a konstrukci výrobků. Vlivem nedostatku informací a neznalostí, jak se různé druhy materiálů chovají za různých podmínek, může dojít ke špatné volbě materiálu a následně k nežádoucí deformaci a poškození hotového výrobku. Testováním materiálů, zjišťujeme požadované údaje, za pomoci kterých účinně předcházíme poškození navrženého výrobku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA POLYMERŮ

Polymer je makromolekulární látka. Makromolekula je tvořená molekulami, které nejčastěji obsahují atomy uhlíku, vodíku, dusíku, kyslíku, chloru a jiných prvků. Jak již název makromolekulární naznačuje, jedná se o velkou molekulu, kterou tvoří základní stavební jednotky - mery. Mery jsou spojeny chemickými vazbami a tvoří dlouhé řetězce. Vlastnosti polymerů ovlivňuje právě jejich molekulární struktura. Vlastnosti polymeru také výrazně ovlivňují konečné přísady, jako jsou katalyzátory, stabilizátory, pigmenty a plniva. Právě řetězcová struktura molekul polymerů, dává těmto látkám souhrn specifických vlastností, které stěží najdeme u jiných používaných materiálů.



Obr. 1. - Polymer

1.1 Rozdělení polymerů

Polymery můžeme klasifikovat z několika různých hledisek:

1.1.1 Podle původu

Podle toho jak polymer vznikal, je dělíme na přírodní a syntetické.

Přírodní polymery

Přírodní polymery vznikají složitými biochemickými pochody v rostlinách nebo živočišných organismech. Zdroje některých z nich (přírodní kaučuk, celulóza) mohou být při správném hospodaření s porosty stromů nevyčerpatelné, což je jejich velkou předností oproti polymerům syntetickým. Významnými zástupci jsou:

Celulóza: je snadno přístupný polysacharid obsažený v bavlně a dřevu. Bavlna obsahuje až 95% celulózy, dřevo 50% celulózy. Vzhledem k tomu, že bavlna se uplatňuje hlavně v textilním průmyslu, je hlavním zdrojem celulózy dřevo. Makromolekuly jsou lineární, a proto je celulóza vláknitá. Tvoří základní stavební jednotku vyšších rostlin. Nevýhodou celulózy je, že není termoplastická. Je netavitelná a nerozpustná. Celulózové vlákno se používá především v papírenském průmyslu.

Přírodní kaučuk: je důležitá makromolekulární látka, která se získává z mlékovité šťávy zvané latex. Latex nebo také kaučukové mléko je obsaženo ve stromě *Hevea brasiliensis* (kaučukovník brazilský), pěstovaný na plantážích. Latex je obsažen v kůře stromu a správným nařezáním se tzv. čepuje do nádob. Latex je koloidní roztok tvořený disperzí jemných kaučukových částic ve vodě. Většina latexu se zpracovává na plantážích na různé druhy přírodního kaučuku. Makromolekuly kaučuku jsou dlouhé, pokroucené a hustě propletené. Kaučuk lze snadno deformovat protažením. Po vulkanizaci kaučuku ho lze protáhnout o 900 až 1000%. Při deformaci tahem se makromolekulární klubka rozplétají a orientují jedním směrem. Vznikají tak uspořádaná místa, kaučuk je místy krystalický. Tato krystalizace má velký vliv na vlastnosti kaučuku, ale i jiných polymerů.

Přírodní oleje: patří sem především oleje lněné, slunečnicové, konopné. Využívají se v průmyslu nátěrových hmot. Za pomoci dalších látek modifikují vlastnosti nátěrové hmoty jako je rychlost usychání a přilnavost k povrchu. Nátěry ze samotných vysychavých olejů schnou pomalu, ale vytvářejí pevný a pružný film. Z vysychavých olejů se také vyrábějí přírodní fermeže. Na bázi přírodních olejů je vyrobena i podlahová krytina linoleum.

Pryskyřice: se používá především pro výrobu nátěrových hmot. Získává se z různých stromů. Výjimkou je šelak, což je výměšek samičky červce lakového a vzniká při látkové výměně v jejím těle.

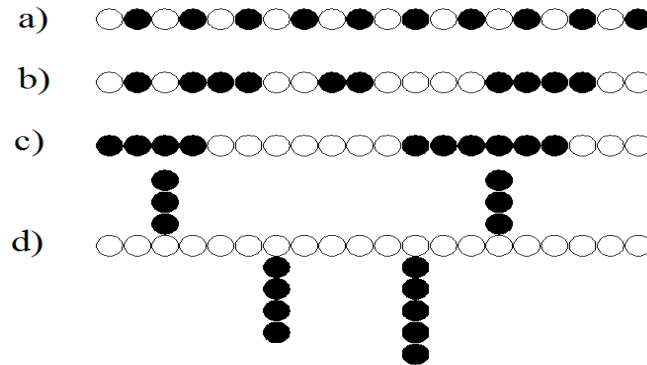
Asfalty: přírodní asfalty jsou produkty samovolné oxidace ropy. Využívají se jako izolační materiál ve stavebnictví a na povrchy vozovek. Z velmi čistých asfaltů se vyrábí asfaltové laky. Umělé asfalty se jim kvalitou nevyrovnají.

Syntetické polymery

Syntetické polymery se připravují různě složitými syntézami z jednoduchých sloučenin, získaných z různých surovin. Tyto polymery v přírodě nenajdeme. Proces kdy člověk uměle vytváří polymer, se nazývá polyreakce. Různé typy polymerů vznikají také různým druhem použité polyreakce:

- a) Polymerace – chemická reakce, při které se molekuly základní látky (monomeru) slučují v makromolekuly (polymer). V molekule nevzniká žádná vedlejší sloučenina. Polymerací vznikají látky s lineární i síťovanou strukturou. Takto se vyrábí např. PE, PS, PVAC. Polymeraci rozeznáváme radikálovou a iontovou, kterou dále dělíme na kationtovou a aniontovou.

Pokud polymerují dva nebo více druhů monomerů, jedná se o kopolymeraci a výsledný produkt je kopolymer. Kopolymerace umožňuje měnit v širokém rozmezí vlastnosti polymerů. Při kopolymeraci může být uspořádání základních molekul různé.

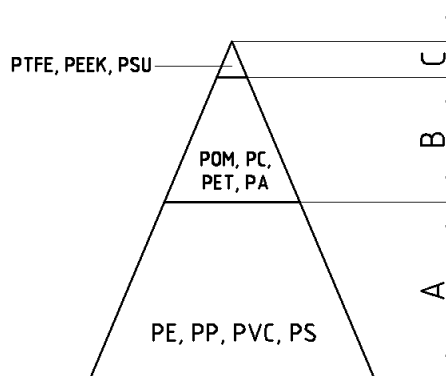


Obr. 2. – Různé možnosti kopolymerace:

a) *alternující kopolymer*, b) *statistický kopolymer*,
c) *blokový kopolymer*, d) *roubovaný kopolymer*

- b) Polykondenzace – chemická reakce, při které se tvoří makromolekuly z jednodušších molekul a současně vzniká vedlejší produkt, kterým je nízkomolekulární látka (např. voda). Výsledný polymer může mít buď lineární, nebo síťovanou strukturu. Takto vznikají například fenoplasty, aminoplasty, polyamidy, polykarbonáty.
- c) Polyadice – základní molekuly alespoň se dvěma funkčními skupinami, neuvolňuje se vedlejší sloučenina. Polyadicí vznikají většinou polymery s lineární strukturou. Příkladem materiálů vzniklé touto reakcí jsou lineární polyuretany.

Na Obr. 3. je znázorněno rozdělení syntetických polymerů, podle technických vlastností, objemu výroby a ceny. Všechny tyto odvětví spolu souvisí a vždy se snažíme nalézt nejefektivnější a nejekonomičtější materiál pro konkrétní výrobek.



Obr. 3. – Syntetické polymery

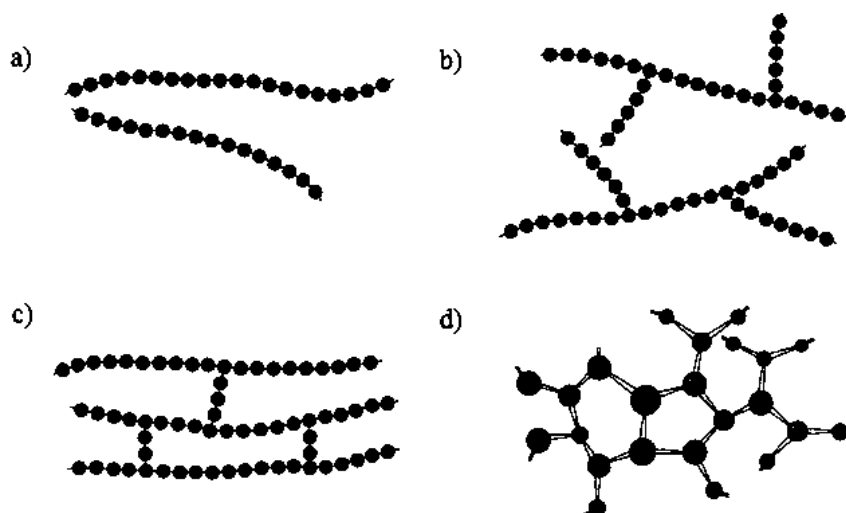
Skupina A: největší podíl tvoří *komoditní plasty* (cca 80%). Jsou to plasty vyráběné ve velkých objemech, které se používají především jako obalová technika v potravinářství.

Skupina B: tuto skupinu zaujímají *konstrukční plasty*, což jsou materiály schopné vydržet zatížení v konstrukčních aplikacích. Zaujímají cca 18% a vyšší požadavky na pevnost je spojena s vyšší cenou.

Skupina C: nejmenší skupinou jsou *speciální plasty* (cca 2%). Tyto materiály mají vysokou odolnost vůči teplotě a opotřebení třením. Vzhledem k tomu, že teplota tavení je vysoká, tak i zpracování je náročnější než u předchozích dvou skupin. Většinou se jedná o lisování tohoto materiálu ve formě prášku a následného spékání.

1.1.2 Podle struktury molekul

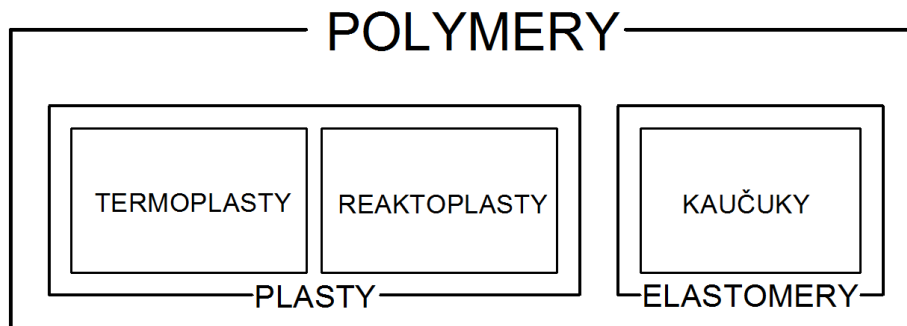
Molekuly jednoduchých sloučenin se při vzniku velkých molekul (makromolekul) různě spojují a vznikají tak makromolekuly různé velikosti i tvaru. Tím je určena struktura makromolekulární látky, která může být buď lineární (nerozvětvená, rozvětvená), nebo síťovaná (rovinná nebo prostorová). Tvar a uspořádání makromolekul má vliv na vlastnosti polymerů. Látky, které mají kratší řetězce molekul, jsou snadněji rozpustné a tavitelné než látky, které mají dlouhé řetězce, nebo které obsahují navíc ještě příčné vazby. Polymery s hustými příčnými vazbami jsou nerozpustné a netavitelné.



Obr. 4. – Struktura molekul polymeru: a) lineární, b) rozvětvená, c) plošně síťovaná, d) prostorově síťovaná

1.1.3 Podle fyzikálně - chemických vlastností

Rozdělení podle fyzikálně – chemických vlastností je důležité zejména pro zpracování polymeru, protože nám charakterizuje, jak daný materiál reaguje na zvýšenou teplotu.



Obr. 5. – Klasifikace polymerů podle vlastností

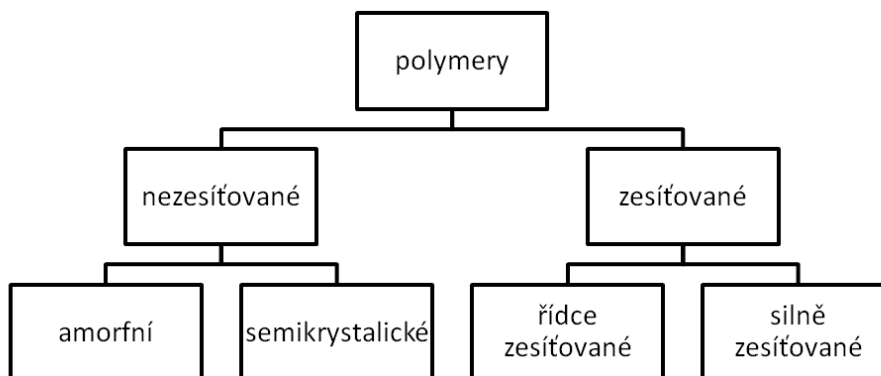
Termoplasty za normální teploty jsou tuhé, při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních ne-newtonovských kapalin, kde je lze snadno zpracovávat různými technologiemi. Při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury a tak je proces možno opakovat (vlastnosti polymeru se však při opakovaném tavení zhoršují). Po ochlazení je polymer opět v tuhém stavu. Jedná se pouze o fyzikální proces. Termoplasty se zpracovávají v široké míře a jsou také snadno recyklovatelné, což je jejich velká výhoda. Při pokojové teplotě jsou houževnaté, nebo křehké. Jsou rozpustné v rozpouštědlech. Patří sem polyetylen, polypropylen, polyvinylchlorid, polystyren aj.

Reaktoplasty dříve nazývané termosety, které v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci, struktura je chemicky zesíťovaná (dojde k tzv. vytvrzování). Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (dochází k degradaci až zuhelnatění). Při pokojové teplotě je reaktoplast tvrdý a křehký, je nerozpustný a neobtnající. Patří sem fenoplasty, polyestery, polyuretany, aminoplasty aj.

Elastomery jsou polymery, které jsou kaučukovitě pružné v dosti velkém teplotním rozsahu. V první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému síťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace, po které má elastomer až tisíckrát větší vratnou deformaci. K těmto makromolekulárním látkám patří především přírodní a syntetické kaučuky a pryže.

1.1.4 Podle nadmolekulární struktury

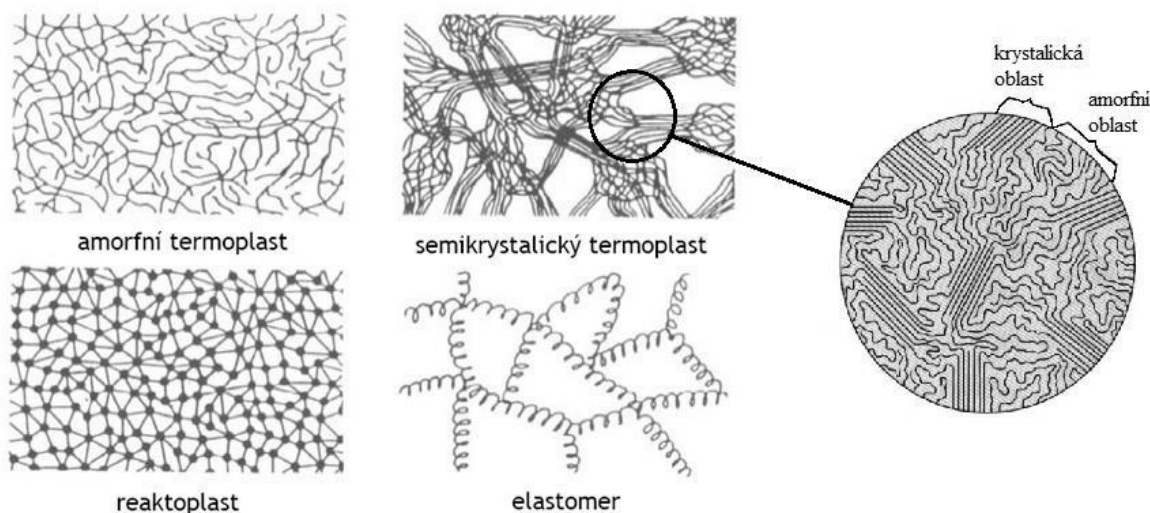
Podle stupně uspořádanosti molekul polymeru je rozdělujeme na amorfní a krystalické. Mezi amorfním a krystalickým stavem polymerů nelze vést ostrou hranici a ve většině případů se jedná o jejich kombinaci – polymer je semikrystalický. Poměr krystalických a amorfních oblastí výrazně ovlivňuje fyzikálně mechanické vlastnosti polymerů. Je proto velmi důležité znát velikost krystalického a amorfního podílu v polymeru.



Obr. 6. – Rozdělení podle nadmolekulární struktury

Amorfní polymer – mají neuspořádanou strukturu, makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici.

Krystalické – semikrystalické – řetězce makromolekul jsou pravidelně uspořádány. Vlastnost vytvářet pravidelně naskládané molekulární útvary souvisí s pravidelností geometrické stavby polymerních řetězců. Ve skutečnosti nedochází k úplné krystalizaci, existují vedle sebe oblasti krystalické i amorfní. Míru uspořádanosti nazýváme stupněm krystalinity.



Obr. 7. Nadmolekulární struktura

1.2 Použití polymerů

Polymery jsou neobyčejně významné materiály, aplikované téměř ve všech odvětvích lidské činnosti. Z celkového objemu výroby plastů se v různých průmyslově vyspělých státech spotřebuje pro obalovou techniku 25 až 37 %, pro stavebnictví 15 až 30 %, pro strojírenství včetně dopravy 10 až 22 %, elektrotechniku a elektroniku 5 až 15 %, nábytkářství 3 až 7 %, zemědělství 2 až 5 %. Světová produkce plastů co do hmotnosti ještě nepřesáhla úroveň výroby oceli, ale již převýšila o polovinu úroveň světové výroby barevných kovů – mědi, olova, zinku, cínu a hliníku. [3,6]

Plasty ve srovnání s ostatními tradičními materiály dovolují zavádět vysoce produktivní technologie a umožňují dosáhnout vysokého stupně využití materiálu (90 až 95 %; u kovů je pouze 60 až 80 %). Pro jednoduché možnosti tváření plastů činí náklady na zpracování plastů jen asi 15 až 40 % nákladů na zpracovávání kovů. Plastikářský průmysl je proto jedním z nejefektivnějších odvětví národního hospodářství nejen rentabilitou a dosažitelnými zisky, ale i tím, že použití jeho výrobků v ostatních odvětvích hospodářské činnosti zabezpečuje snížení společenských nákladů a růst produktivity práce. Výroba plastů je ve srovnání s výrobou kovů a keramických materiálů velmi zajímavá také nízkou specifickou spotřebou energií (při výrobě plastů je podíl nákladů na energii 2%, u mědi 3%, u oceli 4%, u lahvového skla 5% a u hliníku 23%). Ještě výraznějších úspor energií se dosahuje ve zpracovatelském procesu (např. výroba lahví z plastů má spotřebu energie 20krát až 30krát nižší než výroba obdobných skleněných lahví). Dosud otevřeným problémem je však regenerace a zpracováním použitých plastů. [3,6]

Z hlediska struktury sortimentu plastů představují ve světě asi 80% celkové výroby termoplasty a rychlost rozvoje jejich výroby je vyšší než u reaktoplastů. Na objemu produkce termoplastů mají největší podíl tři základní skupiny – polyolefiny, polyvinylchloridové plasty a polystyrenové plasty. I když je rozvoj reaktoplastů značně pomalejší než rozvoj výroby termoplastů, neznamená to, že by reaktoplasty ztrácely na významu. Reaktoplastům jsou zpravidla vyhrazeny zpracovatelské oblasti s vyššími nároky na tvarovou stálost za tepla, tvrdost a odolnost proti rozpouštědlům a s požadavky na menší investiční náročnost při zpracování. [3,6]

1.3 Hlavní zásady při navrhování výrobků z plastů

Máme-li konstruovat výrobek z plastu, musíme vycházet především z toho, jaké užité vlastnosti od výrobku požadují. Dalším hlediskem je (hlavně u výrobků denní potřeby) estetický vzhled a tvar, a konečně výrobní způsob, jehož bude použito při zpracování plastu.

Užité hledisko při navrhování a konstrukci výrobků z plastů můžeme uplatnit jen tehdy, když víme, v jakém prostředí bude výrobek používán a jak bude namáhán tepelně, mechanicky, světelně nebo elektricky. Podle způsobu namáhání se pak volí takový materiál, aby výrobek funkčně vyhověl za všech stanovených podmínek.

Estetický tvar je třeba řešit tak, aby výrobek zlepšoval prostředí, ve kterém bude použit. Plasty mohou splnit tuto podmínku při vhodném zpracování. Jde-li o výrobek složitějšího tvaru, je výhodné zhotovit nejprve model ze dřeva a teprve po schválení navrženého tvaru výrobku spotřebitelem, popř. výtvarníkem přikročit ke konstrukci výrobního nástroje. Tvar výrobku má být co nejjednodušší, aby výrobní nástroj byl co nejlevnější.

Výrobní způsob patří mezi hlavní hlediska zpracovatele plastů. Je ovlivněn volbou plastu, ze kterého má být výrobek zhotoven. Zvolený plast také ovlivní materiálové náklady. Výrobní způsob se řídí velikostí série výrobků. Při velkosériové výrobě se vyplatí nákladnější vícemístný nástroj zajišťující větší produktivitu výroby.

Konstruktér výrobků z plastů má znát způsoby zpracování a vlastnosti plastů, jejich výhody i nevýhody. Od konstruktéra výrobků z plastů se požaduje, aby měl dokonalou představu o výrobku, který navrhuje. Dále musí znát a dodržovat pravidla navrhování v daném oboru, aby pro nevhodnou konstrukci nedocházelo ke vzniku zmetků borcením, praskáním, nebo nedolisováním. Hmotnost výrobku musí být při zachování požadované pevnosti co nejmenší. Je také třeba účelně volit úkosy a vyztužení, omezit nebo vyloučit potřebu dokončovacích prací na výrobku a správně stanovit rozměrové tolerance podle velikosti smrštění materiálu. [8]

2 VLASTNOSTI POLYMERŮ

Vlastnosti polymerů jsou určovány třemi důležitými faktory: chemickou strukturou, molekulovou hmotou a fázovou strukturou. Hlavní společnou charakteristikou těchto látek je, že se teplem stávají plastické a lze je různými způsoby tvářet. Další společnou vlastností této skupiny materiálů je jejich malá vodivost tepla. Jsou to lépe řečeno izolátory tepla. Proto se používají např. jako držadla hrnců. Tlumí také dobře kmity a otřesy. Stroje u kterých jsou kluzná ložiska nebo ozubení vyrobena z fenoplastů, běží tiše a klidně. Za běžných podmínek jsou polymery stálé a nekoroďují. Některé druhy, jako například polyamidy, vynikají houževnatostí a malým opotřebením. Jiné hmoty, jako například akryláty, vynikají optickými vlastnostmi. Předností dílců z plastických hmot také je, že nevyžadují žádné povrchové úpravy jako například kovy nebo jiné technické materiály. Samostatným velmi širokým oborem jsou umělá vlákna, jejich výroba a spotřeba stále stoupá. [3,6]

V dnešní době se polymery uplatňují v tak velké míře díky následujícím vlastnostem:

- a) Polymery jednak mohou nahrazovat klasické materiály (kovy, keramiku, sklo, dřevo aj.), jednak mohou mít vlastnosti zcela odlišné od těchto klasických surovin, takže umožňují zcela nové aplikace a nová řešení materiálových problémů.
- b) Řada polymerů se vyrábí z relativně levných a dostupných surovin, a může tedy nahradit nedostatkové a drahé materiály.
- c) Polymery lze velmi snadno zpracovávat tvářením z taveniny nebo roztoku, a proto umožňují rychlou a levnou výrobu předmětů hromadné spotřeby.
- d) Polymery mají nízkou hustotu, často dobré elektroizolační vlastnosti a relativně vysokou odolnost proti korozi.

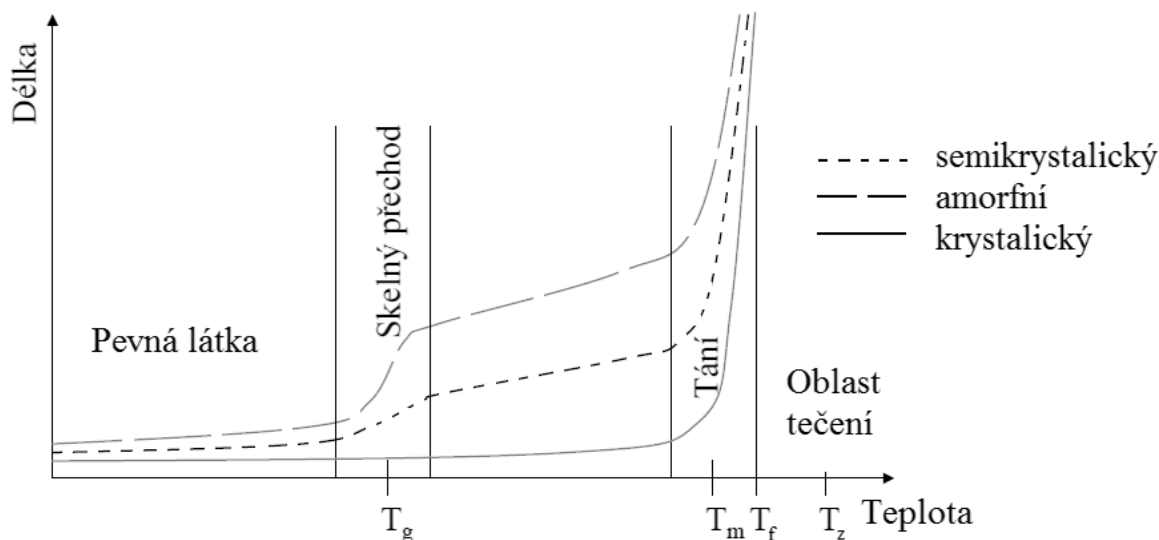
Vedle výhod polymerů existují i jejich nedostatky:

- a) Použitelnost je omezena teplotou a tvarovou defomovatelností
- b) Vznikají potíže s recyklací odpadu
- c) Polymery mají sklon k elektrostatickému nabíjení
- d) Eventuální oprava výrobku je obtížná
- e) Polymery mají zpravidla nízkou tuhost

2.1 Fázový stav – termodynamické vlastnosti

Obdobně jako u jiných materiálů jsou vlastnosti polymerů závislé především na teplotě. Tvar makromolekuly zásadním způsobem ovlivňuje chování polymeru při zvýšené teplotě.

V určité oblasti teplot probíhají tyto změny rychleji anebo se mění skokově. Takové oblasti jsou nazývány přechodové a v těchto oblastech existují přechodové teploty: T_g - teplota zesklenní nebo teplota skelného přechodu, T_f - teplota viskózního toku (pro amorfni plasty), T_m - teplota tání (pro semikrystalické plasty).



Obr. 8. – Vliv struktury na průběh deformace

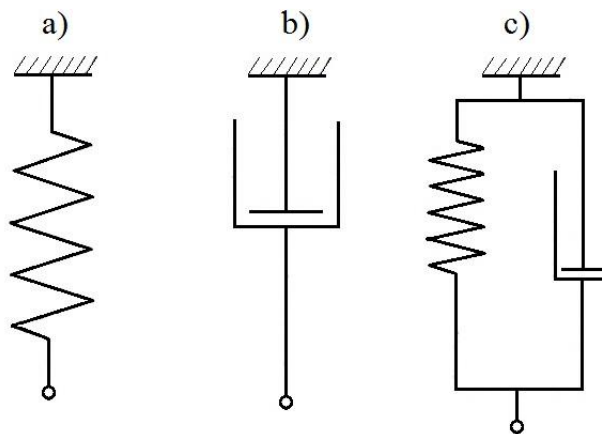
U amorfniích plastů se hodnota meze pevnosti v tahu (a také modulu pružnosti) v přechodové oblasti v okolí teploty zesklenní T_g mění skokově, modul pružnosti se mění asi o tři řády, koeficient teplotní roztažnosti o 100%. Konkrétní hodnota je závislá na velikosti mezimolekulárních sil a ohebnosti řetězců. Teplotu zesklenní je možno ovlivnit např. přidávkem změkčovadel, které sníží mezimolekulární soudržnost a tím i T_g . Je tedy patrné, že nejnižší hodnotu teploty zesklenní vykazují kaučuky, neboť mají malé mezimolekulární síly a značně ohebné řetězce (-100 – 120 °C) a semikrystalické plasty (např. PE – 120 °C). Amorfni termoplasty mají hodnotu teploty zesklenní výrazně nad teplotou okolí (např. PS 85 až 100 °C). Při teplotě viskózního toku T_f narůstá intenzita změn vlastností polymeru. Při této teplotě ztrácí hmota své kaučukovité vlastnosti a mění se ve vysoce viskózní kapalinu. Nad touto teplotou leží oblast zpracovatelnosti materiálu. Zvýšením teploty klesají mezimolekulární síly a tím se snižuje i viskozita taveniny. Při dalším zvyšování teploty začne probíhat tepelná degradace polymeru (teplota T_z). Zesíťované amorfni polymery se ve srovnání s lineárními chovají odlišně. Tuhá síť chemických vazeb vylučuje přesuny makromolekul jako celku a proto lze u těchto materiálů nalézt při vysokých teplotách jen určitou kaučukovitou oblast s relativně vysokým modulem pružnosti, jehož hodnota pak zůstává konstantní až do teploty rozkladu. [9]

U semikrystalických polymerů dochází k nejrychlejším změnám vlastností v oblasti teplot, kterou charakterizuje teplota tání T_m . Při teplotě tání dochází k rozpadu a tání krystalitů, což je provázeno změnou fáze hmoty, která přechází ze stavu tuhého do stavu kapalného. Je zřejmé, že tání se děje v určitém teplotním intervalu a teplota T_m představuje pouze střední hodnotu této oblasti, podobně jako teplota T_g . Konkrétní hodnota závisí na velikosti mezimolekulárních sil a na velikosti makromolekul. Zvětšení obou veličin má za následek zvýšení teploty tání. Protože i semikrystalické polymeru obsahují určité množství amorfních podílů, lze u nich stanovit teplotu zesklenní, která charakterizuje výrazné změny vlastnosti polymeru. Tyto změny se ovšem dotýkají pouze amorfní složky hmoty, takže čím bude polymer vykazovat vyšší stupeň krystalinity, tím jsou změny při T_g méně patrné. [9]

2.2 Deformace polymerů

V ideálním případě může nastat dvojitá mezní deformace:

Ideálně elastická, kdy se látka beze zbytku vrací do původního stavu, přestanou-li působit vnější síly, a *ideálně plastická*, kdy si látka úplně podrží danou deformaci.



Obr. 9. – Modely mechanické deformace

a) *ideálně elastická*, b) *ideálně plastická*, c) *jednoduchý spojený model*

První případ se znázorňuje tzv. Hookovým modelem, ideálně elastickou pružinou (obr.9a). Jsou-li tuhá tělesa, např. krystalické látky, vystavena působení vnější síly, je jejich deformace téměř okamžitá, závisí na velikosti této síly a nezávisí na čase. Síla vztažená na jednotkovou plochu se nazývá napětí. U všech tuhých látek jsou malým napětím vyvolávány pružné deformace, vztah mezi napětím a deformací je v souladu s Hookovým zákonem

lineární. Ideálně elastické deformace je charakterizována malou, vratnou a časově nezávislou deformací, která rovněž jen málo závisí na teplotě. U krystalů se vysvětluje tím, že částice hmoty v krystalové mřížce jsou poutány navzájem velkými silami. Působením vnější síly se jenom nepatrně vychylují z rovnovážné polohy, a jakmile síla přestane působit, okamžitě se do této polohy vracejí. Deformace mohou být malé, jen několik desetin. Při deformaci se nemění ani struktura, ani vzájemná poloha molekul, deformují se pouze valenční úhly. [2]

Ke znázornění ideálně plastické deformace se používá Newtonův model, válec naplněný kapalinou se vsunutým netěsným pístem (Obr.9b). Částice mění při ideálně plastické deformaci svou polohu a podržují si ji i nadále. Dochází k toku hmoty, která není schopna vracet energii vynaloženou na tyto přesuny. Všechna dodaná energie se přeměňuje na teplo.

Kombinací obou těchto modelů lze demonstrovat a vystihnou mechanické chování látek obecněji (Obr. 9c).

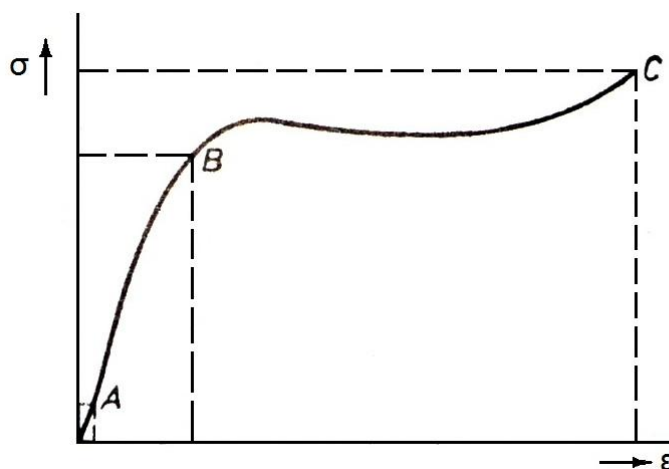
Při deformaci velmi viskózních kapalin nebo těstovitých látek se deformace podobá ideálně plastické deformaci, ale část dodané energie se ukládá do deformovaných molekul. Po odlehčení nezmizí napětí okamžitě, uvolňuje se postupně a někdy velmi dlouho. Tomuto jevu se říká relaxace.

Deformují-li se látky s dlouhými, hustě propletenými molekulami, tedy polymery, nemůže nastat tok, protože molekuly se od sebe nemohou oddělit, a nemohou měnit vzájemnou polohu. Mohou se však narovnávat a protahovat, i když se stoupajícím napětím jsou tyto změny stále obtížnější. Přestane-li napětí působit, mají molekuly snahu přesunout se zpět do původní polohy. Ani tento přesun však už není úplný, část vynaložené energie se přeměnila v teplo a tu již hmota vrátit nemůže. Tato deformace se označuje jako viskoelastická.

Některé polymery, které jsou delší dobu deformované, si podržují zbytky této deformace ve své struktuře velmi dlouho. S tím se musí počítat při zpracování, zvláště když se látka dostane do prostředí, v němž byla deformována. Jestli-že se např. viskózní vlákna orientují dloužením za vlhka, dochází k jejich smršťování. Někdy se této vlastnosti záměrně využívá, např. při výrobě přiléhavých uzávěrů na láhve a u obalových smršťovacích fólií.

Sledujeme-li závislost velikosti deformace polymeru na působícím napětí (za předpokladu, že je rychlost deformace konstantní), zjistíme nelineární závislost. Pro mnoho makromole-

kulárních látek má křivka závislosti deformace na napětí v tahu tvar znázorněný na Obr. 10. [2]



Obr. 10. – Závislost deformace na napětí,

A – hookovská deformace, *B* – mez pružnosti,

C – maximální deformace, σ – napětí, ε - deformace

2.3 Vliv struktury na deformaci

Chování makromolekulárních látek při deformaci do značné míry závisí na jejich struktuře, na tom, z jakých atomů se skládají, jak jsou tyto atomy seřazeny a jaký charakter mají vazby mezi nimi. Deformaci tedy ovlivňuje tvar, geometrická pravidelnost a délka makromolekulárních řetězců.

Dlouhé makromolekuly jsou v nedeformovaném stavu hustě propletené. Působením vnější síly se deformují, ale když tato síla přestane působit, mají snahu se vrátit do původní polohy. Je-li struktura tvořena hustou spleť vazeb, jako tomu je u makromolekulárních látek prostorově zesíťovaných, je deformace velmi nesnadná, popř. k ní vůbec nemůže dojít.

Rotace kolem jednoduchých vazeb je dána tepelným pohybem. Tento pohyb, odehrávající se uvnitř molekul, se nazývá *mikro-Brownův pohyb*. Vysvětluje také, proč se vnější silou deformovaná makromolekula snaží po uvolnění vrátit do původní polohy, do nejvýhodnějšího, nejuvolněnějšího tvaru (tzv. *konformace*). Jestliže makromolekul ztratí (např. vlivem značného ochlazení) schopnost měnit tvar, stává se makromolekulární látka tvrdou, křehkou, sklovitou.

Na deformaci makromolekulárních látek mají velký vliv také mezimolekulové síly, nazývané někdy *sekundární vazby* nebo síly *van der Waalsovy*. Jejich velikost závisí na tom,

jaké skupiny jsou v řetězcích makromolekul přítomny, na pravidelnosti řetězců a také na teplotě. Posunu molekul při deformacích brání silně polární skupiny, např. C=O, C=N, C=Cl. Jejich vliv ještě vzroste, když k nim přistoupí vazby vodíkovými můstky. Tvoří je nejčastěji skupiny – OH nebo =NH, a to buď mezi sousedními molekulami, nebo i mezi atomy téže molekuly. Z vodíkového atomu a z atomu, s nímž je vázán kovalentní vazbou, vzniká dipól, který působí na sousední molekulu dostatečně velkou přitažlivou silou, takže obě molekuly jsou navzájem pevně poutány. Tato přitažlivá síla působí zároveň proti tepelnému pohybu. Vodíkové můstky jsou známy např. u polyamidů a jsou příčinou velké pevnosti v tahu a rázové houževnatosti těchto makromolekulárních látek. [2]

Tab. 1. Přehled významných vlastností některých plastů [6]

Polymer	Hustota [g/cm ³]	Pevnost v tahu [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti v tahu [MPa]	Tvrdość kuřličkou 10s [MPa]
LDPE	0,914 až 0,928	8 až 10	300 až 1000	150 až 500	13 až 20
HDPE	0,94 až 0,96	15 až 25	100 až 1000	600 až 1400	40 až 65
PP	0,90 až 0,907	30 až 38	300 až 800	1100 až 1600	36 až 70
PS	1,05	32 až 65	3 až 4	3200 až 3500	120 až 130
ABS	1,03 až 1,06	32 až 50	15 až 30	1900 až 2800	80 až 120
PVC	1,38 až 1,55	45 až 75	20 až 50	2900 až 3500	75 až 155
PTFE	2,15 až 2,20	25 až 36	350 až 550	410	27 až 35
PMMA	1,17 až 1,20	60 až 80	5 až 6	3000 až 3300	180 až 200
POM	1,41 až 1,42	62 až 70	10 až 25	2800 až 3500	150 až 170
PC	1,2	55 až 67	100 až 130	2100 až 2400	110
PA 6	1,13	40 až 50	200 až 300	900 až 1400	75

2.4 Odolnost proti stárnutí

Změny vyvolané dlouhodobým působením vnějšího prostředí během služby polymeru se označují jako stárnutí. Mezi základní vlivy prostředí, které mají velký význam v procesu stárnutí, patří světlo, teplota a její změny, opakovaná sorpce a absorpce vody, složení atmosféry, prach, vítr apod. Jako ostatní tuhé látky absorbují polymery energii elektromagnetického vlnění. Energie vlnění o větších vlnových délkách vyvolává kmitání nebo rotaci molekul nebo jejich částí. Vlnění o kratších vlnových délkách je absorbováno elektronovými obaly molekul. V prvním případě dojde k ohřátí polymeru, které může být tak velké, že způsobí změny struktury nebo i tepelný rozklad. V druhém případě dochází k fotochemickému jevu (fotolýze), aniž se přitom polymer významně zahřeje. Při zkouškách stárnu-

tí, ať už v přirozených nebo umělých podmínkách, se sleduje hlavně vliv světelného záření, jehož spektrum leží v blízké ultrafialové oblasti, v oblasti viditelného a infračerveného záření. K fotolýze může dojít jedině tehdy, jestliže energie absorbovaného záření je nejméně tak velká jako energie chemické vazby. Vazebné energie vyskytující se v makromolekulách plastických hmot leží mezi 70 až 100 kcal/mol, což odpovídá energii záření o vlnové délce 300 až 400 nm. Zemská atmosféra propouští záření až po vlnovou délku 290 nm, takže zmíněná fotolýza vlivem slunečního záření je možná. Účinek světla ovlivňují látky, které se do polymeru buď záměrně přidávají (prostředky proti stárnutí, plniva, změkčovadla, maziva, pigmenty, barviva aj.), nebo se do polymeru dostanou jako nečistoty (soli, mědi, železa). Např. soli železa a mědi mají zhoubný vliv na světelnou odolnost polyvinylchloridu. [7]

2.5 Optické vlastnosti

Zjišťování optických vlastností slouží jednak k hodnocení kvality, jednak k výzkumu jiných vlastností nebo procesů, které je možno optickými metodami nepřímo sledovat. Např. stanovením index lomu se sleduje složení materiálu nebo jeho čistota. Použitelnost polymerů jako obalových materiálů, hodnotí měřením propustnosti světla.

Z optických vlastností polymerů jsou důležité *transmitance* a *index lomu*. Zjišťují se především u organických skel a u polymerů používaných na laky a nátěrové hmoty.

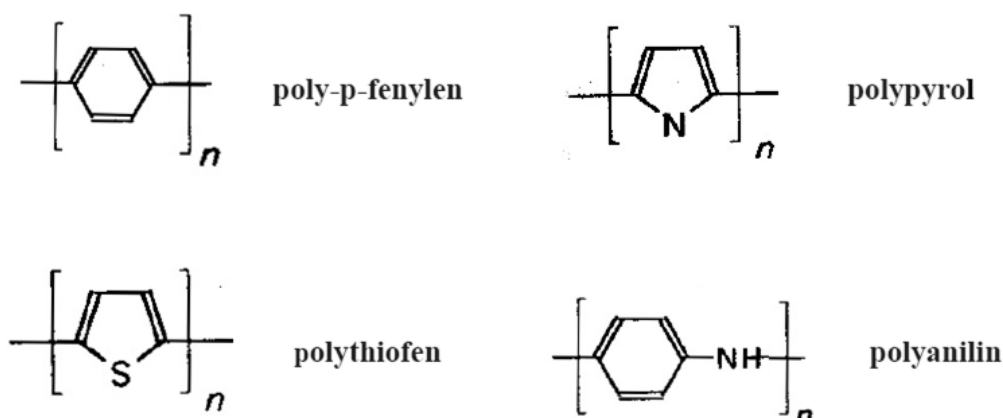
Transmitance udává poměr světelného toku látkou propuštěného k světelnému toku dopadajícímu na látku.

Index lomu je poměr rychlosti světla ve vakuu a rychlosti světla v dané hmotě. Měří se refraktomertry. U polymerů je tento index důležitý pro volbu pigmentů pro vybarvování. [2,7]

2.6 Elektrické vlastnosti

Polymery jsou většinou látky s velmi nízkou elektrickou vodivostí, vykazují vlastnosti dielektrik. Elektrickou vodivost polymerů lze pro některé aplikace (např. elektronika, mikroelektronika) výrazným způsobem zvýšit až na hodnoty srovnatelné s vodivostí dotovaných polovodičových nebo kovových materiálů. Nejjednodušší způsob zvýšení vodivosti je homogenní dotace polymerů vodivými aditivami (kovové prášky, vodivé saze), kdy po překročení určité koncentrace vodivého aditiva (perkolační mez) v polymeru dochází k prudkému nárůstu vodivosti polymerního filmu. Základem elektrické vodivosti u nedotovaného polymeru je přítomnost konju-

govaných dvojných vazeb v polymerním řetězci. Tyto konjugace v makromolekule lze připravit dvěma způsoby. Polymer je možno modifikovat (degradovat) za zvýšené teploty bez přístupu vzduchu nebo ozařovat vysokoenergetickými svazky (např. elektrony, ionty, plazmou, laserem, UV-světlem), tím dochází k degradaci řetězců spojené s tvorbou konjugovaných dvojných vazeb. Další možností je syntéza polymerů s vysokou vodivostí, které v makromolekule obsahují konjugace dvojných vazeb, a proto jsou nazývány „vodivými“ polymery. Strukturní vzorce některých vodivých polymerů jsou uvedeny na Obr. 11. Tyto polymery nacházejí v současnosti velké uplatnění v elektronice a mikroelektronice. [3,5,6]



Obr. 11. – Strukturní vzorce některých „vodivých“ polymerů

Zvláště dobrými izolátory jsou hmoty, které nepřijímají vlhkost. Zkouškami elektrických vlastností se proto může vymezip jejich správná aplikace v elektroinstalačních prvcích. Elektrických vlastností se rovněž využívá ke sledování změn při degradačních pochodech vyvolaných tepelným, světelným, nebo jiným druhem stárnutí. Pomocí elektrických vlastností lze sledovat průběh degradace polymerů a průběh tvrzení reaktoplastů. [7]

2.7 Biologické vlastnosti

Polymery našly uplatnění i v medicíně. Mezi polymery nejčastěji využívanými k biomedicínským účelům patří nedegradabilní PE, PP, PS, PTFE a silikony, nebo biodegradabilní polyaktátů a polyglykoly. K jejich výhodám patří cenová dostupnost, snadná opracovatelnost a dobré mechanické vlastnosti. Vysoká elasticita a nízká specifická hmotnost z polymerů činí atraktivní materiály např. pro transplantace měkkých tkání. V současnosti se polymery v medicínské praxi používají např. pro náhrady cév, srdečních chlopní, panchytických orgánů nebo jako kulturační nosiče (substrát) kožního krytu. Po vyztužení kovovými nebo keramickými vlákny mohou být použity při konstrukci umělých kloubů a kostí. Velmi perspektivní uplatnění biodegradabilních polymerů bude jejich aplikace při transportu léčiv v organismu k místu působení jako

cytostatika, antibiotika, hormony, růstové faktory a další léčiva. Pro některé aplikace polymerů je nutné zvýšit jejich biologické vlastnosti, čímž se myslí např. zvýšení adheze, růstu a homogenity buněk, které ulpívají na povrchu polymeru. Toho lze dosáhnout fyzikální nebo chemickou modifikací povrchu polymeru. [3,5,6]

2.8 Tepelné vlastnosti

Tepelné vlastnosti polymerů jsou určeny ve značné míře tím, že tyto látky jsou tvořeny polymerními molekulami. Velikost vazebných sil, tvar jednotlivých molekul a jejich uspořádání ovlivňují rozhodujícím způsobem *tepelnou roztažnost, měrné teplo a tepelnou vodivost* těchto látek.

2.8.1 Měrné teplo

Měrné teplo látky je množství tepla Q potřebného k zahřátí 1 kg této látky při určitém tlaku a teplotě 1 °C. Znalost měrného tepla je potřeba pro výpočet rychlosti ohřevu nebo ochlazení nejrůznějších materiálů, je častým požadavkem při návrhu na konstrukci zařízení. Jiným příkladem potřeby znalosti měrného tepla je výpočet ohřátí na určitou teplotu při průběžné vulkanizaci, při zkratování zatíženého izolovaného vodiče apod. S teplotou se měrné teplo mění např. vždy v bodě tání, při teplotě skelného přechodu a v oblasti změn krystalické a amorfni fáze, což je běžné u polymerů jakou jsou polyolefiny.

Měrné teplo plastů je proti kovům asi pětikrát větší. Zvyšováním teploty měrné teplo roste, a to rychleji nežli u kovů. K výrazným změnám dochází zejména v oblasti přechodových teplot. Měrné teplo krystalických polymerů vykazuje v oblasti teploty tání maximum. V roztaveném stavu vykazují plasty větší měrné teplo než v tuhém stavu.

2.8.2 Teplotní roztažnost polymerů

Měření teplotní roztažnosti polymerů slouží:

- a) K poskytnutí informace o koeficientech teplotní roztažnosti pro technické použití látky
- b) Umožňuje získat znalosti o důležitých přeměnách stavu polymerů (např. teplota skelného přechodu je definována jako taková teplota, při níž nastává náhlá změna koeficientu teplotní roztažnosti).

Projeví se zřetelně, vynášíme-li měrný objem v závislosti na teplotě. Podle obvyklých představ je to taková teplota, při níž se začíná uplatňovat mikrobrownovský pohyb, tedy pohyby částí molekul (molekulárních segmentů).

Měřením měrného objemu získáme dále informaci o rozsahu síťovacích a vulkanizačních procesů, o vlivech vnitřních a vnějších změkčovadel a o působení předchozích mechanických namáhání. Měření teplotní závislosti měrného objemu rovněž poskytuje informace o výskytu krystalických oblastí, o tom, jaký je jejich podíl v látce, a o jejich vzniku a tání.

Z metod používaných k měření teplotní roztažnosti se hodí pro zkoumání polymerů zejména dilatometrie. Dilatometry jsou pyknometry, v nichž se odečítá v kalibrované kapiláře změna výšky hladiny kapaliny, v níž je umístěn zkoumaný vzorek. Dilatometry na měření lineární teplotní roztažnosti mechanicky přenáší změnu délky zkušební vzorku na zobrazovací zařízení, z kterého přímo vyčteme hodnotu. [4]

Předpokládejme, že určité těleso má při teplotě t_0 délku l_0 a při teplotě t délku l . Velikost délkové změny označíme $\Delta l = l - l_0$ a velikost změny teploty $\Delta t = t - t_0$. Pro malé teplotní rozdíly lze vztah mezi změnou délky a změnou teploty zapsat ve tvaru:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta t \quad (1)$$

Kde l_0 je délka tělesa při pevně zvolené teplotě t_0 (obvykle 23 °C).

Konstanta úměrnosti α se nazývá *součinitel (koeficient) délkové teplotní roztažnosti* a platí:

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{dl}{dt} [K^{-1}] \quad (2)$$

Hodnota teplotního součinitele délkové roztažnosti závisí nejen na druhu látky, ale také na teplotě. Pro většinu pevných látek je $\alpha > 0$, tzn., že délka tělesa se při vzrůstající teplotě zvětšuje. Obecně je α tím menší, čím je stupeň krystalinity větší. Nejmenší α mají reaktoplasty.

Obdobně platí pro *koeficient objemové teplotní roztažnosti* β :

$$\beta = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{dt} [K^{-1}] \quad (3)$$

Pro materiály platí, že je hodnota koeficientu α rovna přibližně třetině koeficientu teplotní objemové roztažnosti β .

$$3\alpha \sim \beta \quad (4)$$

2.8.3 Vedení tepla v polymerech

Znalost *tepelná vodivosti* polymerů je významná ze dvou hledisek. Především nás zajímá tato hodnota v souvislosti s praktickým použitím polymerů. Také při samotné přípravě polymerů, tedy při polymeraci, popř. polykondenzaci a zejména pro technologii tváření za tepla je znalost tepelné vodivosti důležitá. Z chování tepelné vodivosti lze dále činit důležité závěry a chování řetězců molekul a o struktuře zkoumané látky. Tepelná vodivost určuje součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] a ke zjištění se většinou užívá zkušebních tělísek ve tvaru destiček. Tato tělíška jsou umístěna mezi dvěma deskami o konstantních teplotách, z nichž jedna je zahřívána a druhá chlazená, vzniká tedy určitý teplotní spád. U polymerů je tepelná vodivost malá – 100x menší než u oceli. Špatná tepelná vodivost způsobuje problémy při zpracování materiálu – dlouhá doba ohřevu a ochlazování.

Tab. 2. Přehled tepelných vlastností některých plastů [6]

Polymer	Teplota použití [°C]			Koeficient lineární roztažnosti [$K^{-1} \cdot 10^6$]	Tepelná vodivost [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
	Maximální krátkodobě	Maximální dlouhodobě	Minimální dlouhodobě		
LDPE	80 až 90	60 až 75	-50	240	0,32 až 0,40
HDPE	90 až 120	70 až 80	-50	140 až 200	0,38 až 0,51
PP	140	100	0/-30	150 až 180	0,17 až 0,22
PS	60 až 80	50 až 70	-10	60 až 80	0,14 až 0,18
ABS	85 až 100	75 až 85	-40	50 až 110	0,16 až 0,19
PVC	75 až 100	65 až 85	-5	70 až 80	0,14 až 0,17
PTFE	300	250	-200	100	0,25
PMMA	85 až 100	65 až 90	-40	70	0,18
POM	110 až 140	90 až 110	-60	90 až 140	0,25 až 0,30
PC	160	135	-100	60 až 70	0,21
PA 6	140 až 180	80 až 100	-30	70 až 120	0,21 až 0,29

2.9 Hořlavost polymerů

Hořlavost polymerů je mnohdy omezujícím faktorem při jejich aplikaci. Téměř všechny organické polymery jsou za určitých podmínek hořlavé. Dokonalé odstranění hořlavosti polymerů je dosud nereálné, stupeň hořlavosti lze však různými způsoby snížit.

Hoření tuhých polymerů je složitý proces, který probíhá v několika stupních. Primárně se polymer v žáru pyrolyticky rozkládá. Rozkládané produkty jsou po vzplanutí spáleny, přičemž vzniká teplo, které je opět zčásti využito k další pyrolýze.

Hořlavost polymerů souvisí se strukturou stavební jednotky vytvářející polymer, s povahou atomů, z nichž je polymer sestaven, i se strukturou polymeru jako celku. Hoření nejlépe odolávají polymery, které spotřebují na vznik plynných produktů pyrolýzy nejvíce tepla a při jejichž oxidaci se naopak uvolní nejméně tepla. Odolnost polymeru proti hoření stoupá se stoupajícím molárním poměrem uhlíku k vodíku polymeru. Tak bylo zjištěno, že polymery s aromatickými řetězci jsou v tomto směru odolnější než polymery s alifatickými řetězci. Významnou roli má rozsah větvení a síťování, typ vazebných skupin, sklon k dehydrataci a ke tvorbě karbonizačního zbytku. Také povaha přítomných prvků má vztah k hořlavosti. Nižší hořlavost mají polymery obsahující prvky, jimž je přisuzován inhibiční účinek na hoření, především halogeny a fosfor. Vyšší odolnost proti hoření mají polymery, které se při vysokých teplotách endotermicky rozkládají za odštěpení vody.

Pro hodnocení hořlavosti polymerů byla vypracována řada metod. Velmi rozšířené a všeobecně přijímané je stanovení hořlavosti polymerů metodou kyslíkového čísla. Podstatou této metody je stanovení limitní koncentrace kyslíku ve směsi s dusíkem, při které ještě dochází k zapálení vzorku za standardních podmínek. Čím nižší je KČ, tím je materiál hořlavější. Materiál se označuje jako zapalitelný, je-li jeho KČ nižší než 26.

Polymery lze upravit zásahem do struktury a složení, avšak pro obtížnost takové úpravy se hojně používá i přidavek přísad, tzv. *retardérů hoření*. Retardéry hoření lze definovat jako látky, které mění způsob pyrolýzy nebo modifikují oxidační reakce tak, že vedou ke snížení rychlosti hoření až k zastavení hoření. Retardéry mohou:

- a) Zmenšovat styčnou plochu při hoření např. tím, že samy tají nebo produkují nehořlavé plyny izolující povrch hořící látky

- b) Ovlivňovat pyrolýzu tak, že vzniká maximální množství koksovitého zbytku a minimální množství hořlavých plynů
- c) Inhibovat řetězové reakce při hoření

Pyrolýzu ovlivňují sloučeniny fosforu, mechanismus hoření pak ovlivňují halogeny. [6]

Tab. 3. Hořlavost různých materiálů vyjádřených kyslíkovým číslem [6]

Materiál	Kyslíkové číslo
Polyoxymethylen	14 až 15
Polyuretan	20,2
Polymethylmethakrylát	17,3
Polystyren	18
Dřevo (bříza)	20,5
Polyethylentereftalát	22,7
Polyamid 6, polyamid 66	24
Polykarbonát	27
Polyvinylchlorid	45 až 47
Polytetrafluoretylen	95

3 LIKVIDACE A ZPRACOVÁNÍ ODPADU

Prudký rozvoj výroby a použití polymerních materiálů má i své negativní vlivy. Jedním z nich je prudce se zvyšující množství polymerního odpadu. Odpad vzniká již při výrobě, tj. *odpad vratný*, nebo až po upotřebení výrobku, tzv. *odpad sběrový*.

Nejjednodušší a nejméně nákladný způsob odstraňování odpadů včetně odpadů polymerních je jejich vyvážení na skládky. Tímto způsobem se likviduje přibližně polovina odpadů. Polymery, obdobně jako sklo a porcelán, nepodléhají významných chemickým změnám tak rychle, jako např. materiály kovové. Polymery proto narušují proces přirozené homogenizace skládkového terénu, neboť potřebná doba expozice na degradaci polymerů je příliš dlouhá. Proto se zatím považuje za praktičtější provádět likvidaci polymerních odpadů průmyslovými způsoby. Nejpokročilejším způsobem likvidace polymerních odpadů je jejich tepelná degradace, která poskytuje použitelné produkty (paliva, rozpouštědla). Byla vyzkoušena pro odpadní plasty a pryže. Odpad lze degradovat redukční pyrolýzou, kdy na polymer působí za zvýšené teploty oxid uhelnatý a voda, čímž se odpadní polymer transformuje na výhřevná paliva.

Spalování je radikální způsob likvidace polymerních odpadů, je snadno proveditelný především proto, že všechny polymery jsou snadno spalitelné při teplotách okolo 900°C. Je opodstatněný i ekonomicky, neboť odpadní teplo se využívá pro výrobu páry nebo elektrické energie. Nevýhodou je, že část exhalací může být velmi agresivní (např. spalováním PVC vzniká chlorovodík, spalováním fluorovaných polymerů fluorovodík) a je nutné tyto produkty degradace poměrně nákladně odstraňovat. [3]

3.1 Recyklace odpadních polymerních materiálů a regenerace

Skupinu odpadních polymerních materiálů lze recyklovat hydrolytickou degradací (tzn. chemickou recyklací). Při této reakci se sebrané polymerní materiály zpracovávají za přítomnosti kyselých nebo bazických katalyzátorů a hydrolýzou nebo alkoholýzou lze např. z polyamidů získat znovu polymerizovatelný monomer, z karbonátů bisfenol, z PET kyselinu tereftalovou a ethylenglykol, atd. Z těchto monomerů lze posléze znovu polymerovat makromolekulární látky. [3]

3.2 Zpracování odpadních plastů

Zpracování vratného odpadu je většinou jen záležitostí výrobních nebo zpracovatelských závodů. Odpad se třídí již během výroby a potom následuje jeho drcení a zpracování za tepla obdobně jako u původního materiálu.

Zpracování sběrného odpadu je komplikovanější, neboť bývá různě znečištěn a záleží proto na organizaci sběru a třídění materiálu. Vzhledem k ekonomice výroby je nutné vždy zvážit, zda se vyplatí vysoká mechanizace zpracování odpadu na druhotnou surovinu. Např. obaly na balenou vodu se mechanicky lisují do bloků, které jsou určeny k dalšímu použití. [3]

4 VYBRANÉ POLYMERY

4.1 Polyetylen s ultra vysokou molární hmotností (PE-UHMW)

Polyetylen je tuhá látka, v tenkých vrstvách nebo filmech ohebná, elastická, téměř průhledná, popř. s mléčným zákalem. Na omak má voskovitý charakter. Všechny typy PE mají vysokou krystalinitu. Teplota tání se pohybuje mezi 105 až 136 °C. PE má vysokou houževnatost a tažnost, je velmi stálý proti chemickým činidlům. Omezená je jeho stálost proti oxidačním činidlům. Za normální teploty se nerozpouští v žádném rozpouštědle. PE nepropouští vodní páru a je mrazuvzdorný. Absorbuje tuky, uhlovodíky, aminy, ethery, ketony i jiné kapalné organické sloučeniny, které jím zvolna difundují. Podléhá Studenému toku a má sklon k praskání pod napětím. Nestabilizovaný PE patří mezi plasty s nízkou odolností proti povětrnosti, zejména proti slunečnímu záření. Rychlost fotooxidačního odbourávání stoupá s koncentrací terciálních uhlíků v řetězcích a klesá se zvyšující se krystalinitou, neboť k fotooxidaci dochází hlavně v amorfních oblastech polymeru. Antioxidanty v PE mají vysokou stabilizační účinnost proti tepelné oxidaci, ale jsou málo účinné proti fotooxidaci. 1% vhodného absorbéru UV-záření zvýší u fólií tloušťky 0,4 mm životnost z 1 roku na 10 let. Nejúčinnějším stabilizátorem PE jsou saze.

Způsob přípravy ovlivňuje strukturu, molekulovou hmotnost a vlastnosti PE. Zásadní rozdíl mezi jednotlivými druhy spočívá ve stupni větvení, který ovlivňuje rozsah krystalinity a hustotu.

PE-UHMW má výrazně vyšší molární hmotnost, což vede k odlišným vlastnostem. Polymer je lineární, krystalizuje a tvoří sférolity. Teplota tání 125 až 135 °C. Houževnatý v teplotním intervalu -30 až +100 °C. Má velmi vysokou odolnost proti oděru a chemikáliím. Má mimořádnou tvarovou stálost i při nízkých teplotách. Další nezaměnitelnou výhodou je velmi nízká absorpce vlhkosti, velmi dobré elektrické izolační vlastnosti a zdravotní nezávadnost. Nelze zpracovávat obvyklými technologiemi. Zpracovává se proto lisováním, spékáním, obráběním. Používá se na kluzná kloubová ložiska, části strojů, zdravotnictví (kloubní náhrady), technické aplikace. [6]

4.2 Polyoxymetylen (POM)

Polyoxymetylen se vyznačuje vysokou tvrdostí, pevností a rázovou houževnatostí až do mínus 40 °C, a jsou proto vhodné pro výrobu předmětů, které musí odolávat náhlým nárazům (např. ozubená kola aj.). Mají malý součinitel tření a hodí se pro výrobu ložisek s ma-

lým mazáním nebo bez mazání. Spolu s polyamidami mají ze všech termoplastů nejvyšší odolnost proti oděru. Mají dobré elektroizolační vlastnosti. POM nebodná v organických rozpouštědlech, čehož se využívá např. pro zhotovování uzávěrů aerosolových nádobek. Výtečná odolnost POM vůči téměř všem organickým rozpouštědlům je spojována s vysokým stupněm krystalinity polymeru. Polymer se zpracovává vstřikováním (90 %), vytlačováním i vyfukováním při 200 až 210 °C.

Největší množství POM slouží k výrobě součástí strojů, ozubených kol, ventilů, čerpadel, kloubových čepů aj. [6]

4.3 Polykarbonát (PC)

Polykarbonáty jsou transparentní, s propustností světla 85 % a mají mimořádně vysoký index lomu. Pro vstřikování se používají typy s nižší molekulární hmotností. Typy s vyšší molekulovou hmotností nejsou vzhledem k vysoké viskozitě taveniny vhodné pro zpracování z taveniny a zpracovávají se v roztoku (zejména pro lití fólií). Polykarbonáty vynikají vysokou rázovou houževnatostí i za velmi nízkých teplot, dobrou rozměrovou stabilitou až do 140 °C, dobrými elektroizolačními vlastnostmi, vysokou mechanickou pevností (zvláště v tahu), nízkou absorpcí vody, odolností proti UV-záření, značnou stálostí proti oxidaci až do 120 °C i dobrou odolností proti hydrolýze. Nedostatečná je jejich odolnost vůči dlouhodobému působení vroucí vody a páry, amoniaku a aminům.

Polykarbonáty lze zpracovávat běžnými technikami používanými i u jiných termoplastů. Formovat z taveniny se dají v rozmezí teplot 220 až 320 °C. Předsušení PC má rozhodující význam, poněvadž polykarbonáty reagují v tavenině již se stopami vody za snížení molekulové hmotnosti.

Největší podíl polykarbonátů se zpracovává vstřikováním při teplotách 280 až 310 °C. Formu je třeba vyhřívat na 80 až 120 °C. Vstřikováním se vyrábějí hlavně technické dílce určené pro použití za vyššího mechanického a tepelného namáhání. Trubky, tyče, profily a tlusté fólie se zhotovují vytlačováním na jedno-šnekových strojích.

Polykarbonáty se dají dobře třískově zpracovávat, svařovat horkým vzduchem a lepit roztokem PC v methylenchloridu. Zajímavou možností použití PC je výroba kompaktních disků. Polykarbonáty lze v tavenině místí s termoplasty (legovat). Zvláště významné jsou slitiny z PC a ABS, které představují zajímavou kombinaci vlastností obou polymerů (tvarové stálosti za tepla, vrubové houževnatosti a odolnosti proti UV-záření). Prosazují se

jako vnitřní součásti automobilů (65 % spotřeby), v elektrotechnice (15 %) a u kancelářských strojů (10 %). [6]

4.4 Polyamid 6 (PA6)

Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny – CONH –. K jednoduchému označování polyamidů byl zaveden systém, který udává počet uhlíkových atomů ve stavebních jednotkách.

Polyamidy jsou v tuhém stavu z 30 až 50 % krystalické a neprůhledné. Řetězové molekuly jsou propojovány vodíkovými můstky mezi amidovými skupinami. Jejich množství ovlivňuje krystalickou strukturu, bod tání, T_g a většinu dalších vlastností. Vysoká houževnatost, tvrdost, odolnost proti oděru a dobré elektroizolační charakteristiky jsou vlastnosti, na nichž spočívá použití polyamidů jako plastů i vláken. Nasákavost je dána koncentrací amidových skupin. Čím je jich více, tím větší je nasákavost a změkčující účinek vody. Polyamidy mají relativně nízkou tavnou viskozitu ve srovnání s ostatními termoplasty.

Polyamidy lze zpracovat všemi postupy obvyklými pro termoplasty a zvláknovat z taveniny. Lze je vstříkovat, vytlačovat na fólie, dále potom svařovat, lepit, potiskovat a pokovovat.

Polyamid 6 je tvrdá, světle žlutá hmota rohovitého vzhledu tající při 215 až 220 °C na nízkoviskózní kapalinu. PA6 má dobré mechanické vlastnosti, nízký koeficient tření, mimořádnou odolnost proti otěru, dobrou rázovou houževnatost, dobré elektroizolační vlastnosti, ovšem dosti značnou navlhavost. Neodolává anorganickým kyselinám a oxidačním činidlům. Používá se pro výrobu textilních vláken a významné je i jeho použití jako konstrukčního materiálu pro výrobu ložisek, ozubených kol, vaček, cívek, ovládacích elementů aj.

Polyamid 6 se zvláknuje protlačováním taveniny tryskami. Vytvořené vlákno se pak dluží a praním se zbavuje monomeru. Z PA6 se vyrábějí hedvábná vlákna, kordy do pneumatik, kobercová vlákna, monofily na štětiny, žíně, vlasce, síta aj. Vlákna mají značnou pevnost v tahu, výbornou odolnost proti otěru (mnohem lepší než ostatní přírodní i syntetická vlákna). Jejich barvení je snadné, jsou však málo odolná na povětrnosti. Dobře odolávají mikroorganismům a potu, špatně odolávají teplu (žehlení). [6]

5 DÉLKOVÁ TEPLOTNÍ ROZTAŽNOST V PRAXI

Z praxe známe mnoho případů, kdy při změně teploty dochází ke změnám rozměrů těles – v průběhu roku se mění délka drátů elektrického vedení, špatné chlazení motorů může vést k zahřátí pístu, zvětšení jeho objemu a následnému zadření pístu, parovody a koleje mohou vlivem špatné konstrukce popraskat ... Ve všech těchto případech se jedná o teplotní roztažnost pevných látek, tj. fyzikální jev spočívající ve změně rozměrů tělesa při změně jejich teploty.

Při dlouhém elektrickém vedení (Obr. 12.) je velké i prodloužení vedení způsobené změnou teploty. Proto se musí poměr vzdálenosti mezi dvěma sloupy elektrického vedení a délky vedení mezi těmito sloupy pečlivě volit. Nesmí se stát, že v zimě, kdy se vedení zkracuje, bude hrozit buď zřícení sloupů, nebo přetržení drátů vlivem sil pružnosti, které ve vedení vzniknou. Na druhou stranu se nesmí vedení v létě „prověsit“ tak, aby bránilo běžné dopravě, migraci zvěře ... [10]



Obr. 12. Dráty elektrického vedení

U elektrického vedení podél železniční tratě (Obr. 13. a)) se musí jeho délka pečlivě monitorovat. Délka vedení totiž musí být jak v zimě, tak v létě konstantní. Jinak by vlaky nemohly pomoci pantografů z vedení odebírat elektrický proud. Pro dosažení konstantní délky elektrického vedení bez ohledu na změnu teploty se používá systém kladek a závaží. Tak se vedení napíná silou, která udržuje vzdálenost mezi dvěma sousedními sloupy konstantní. Na obrázku 13. b) je znázorněn detail napínací kladky. [10]



a)



b)

Obr. 13. Elektrické vedení podél železniční tratě

Vliv teplotní délkové roztažnosti se musí rovněž vyrovnávat u železobetonových staveb a ocelových mostů. Pro zpevnění betonových konstrukcí se používají ocelové pruty. Vzájemná kombinace těchto dvou materiálů není náhodná: je nutné zajisti, aby při změnách teploty dané konstrukce se tato konstrukce nezřítla. Proto musí mít oba materiály stejný, nebo alespoň velmi podobný součinitel délkové teplotní roztažnosti.

Na Obr. 14. je konec mostní konstrukce – jedna strana mostu uložena volně pohyblivě na válčích. Tento způsob ukotvení mostu má zajistit volný pohyb konce mostu při změnách teploty. Pokud by byl most ukotvený na obou stranách pevně, při změnách teploty konstrukce by hrozilo zřícení mostu. [10]



Obr. 14. Volné uložení mostní konstrukce na válčích

Dalším příkladem jsou koleje. Aby se předešlo deformaci kolejí, nechává se mezi každou kolejnicí 8 m dlouhou mezera 6 mm. Dilatační spára se nemusí nechávat mezi kolejnicemi tramvají, protože ty jsou pokládány do země, kde nejsou teplotní výkyvy tak veliké.

Snýtováním pásků různých kovů s různou teplotní délkovou roztažností získáme dvojkov čili bimetal. Setkáváme se s ním v regulátorech teploty, např. žehličce. Zvýšení teploty se bimetal zkroutí a sepne, popř. rozepne kontakty.



Obr. 15. Bimetalový pásek

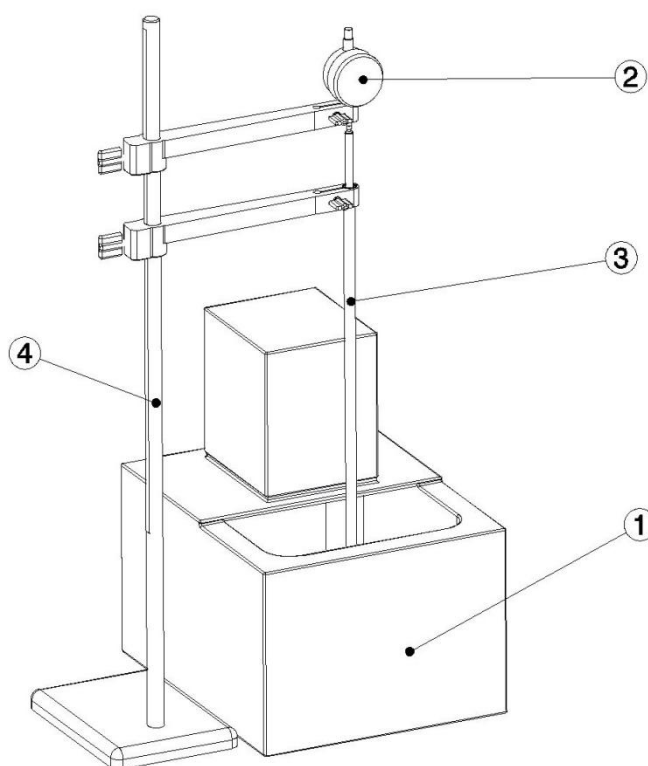
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ DÉLKOVÉ TEPLOTNÍ ROZTAŽNOSTI

Tato část se zabývá návrhem zařízení pro měření délkové teplotní roztažnosti. Celá sestava se skládá z jednotlivých přístrojů, z nichž každý musí plnit bez chyby svůj úkol, tak aby nevznikaly odchylky během měření a byly dodrženy podmínky dle ČSN 64 0528.

6.1 Rozbor a části konstrukčního řešení

Na Obr. 16. jsou znázorněny jednotlivé části celého zařízení: termostat (1), digitální úchylkoměr (2), vnější a vnitřní skleněná trubka (3), systém uchycení (4).



Obr. 16. Návrh sestavy zařízení pro měření délkové teplotní roztažnosti

6.1.1 Lázňový termostat Huber

Termostat se skládá ze samotného závěsného termostatu a z nerezové vany. Termostat zajišťuje teplotu zkušebnímu tělesu po celé jeho délce. Pomocí LED-displeje se nastavují a odečítají teplotní hodnoty. Díky čerpadlu dochází k rovnoměrné teplotě lázně a tak i ponořené zkušební těleso je rovnoměrně zahříváno. Jako temperační médium je použita voda.



Obr. 17. Lázněový termostat Huber MPC 208B

6.1.2 Digitální úchylkoměr Mitutoyo

Digitální úchylkoměr umožňuje sledování délky zkušební tělesa při změně rozměrů v závislosti na teplotě s přesností na $\pm 0,01$ mm. Mechanické zatížení k přenosu změny délky nesmí na zkušební těleso působit příliš velkou silou.



Obr. 18. Digitální úchylkoměr Mitutoyo

6.1.3 Vnější a vnitřní skleněná trubice

Trubice jsou vyrobeny z křemenného skla, což je materiál, který má velmi malý koeficient délkové teplotní roztažnosti ($\bar{\alpha}(0^{\circ}\text{C}, 100^{\circ}\text{C}) \approx 3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$). Trubice jsou dlouhé 53cm

a na jednom konci uzavřené. Vnitřní průměr vnější trubky je 9,5mm, je to průměr kam se umísťuje zkušební vzorek. Ukončení vnitřní trubky je vypouklé, tak aby docházelo k bodovému dotyku se zkoušeným materiálem. Na otevřený konec vnitřní trubky byla vyrobena malá zátka z polymeru (Obr. 20.), tak aby byl konec uzavřen a vznikla rovná a kolmá plocha k měřicímu hrotu digitálního úchylkoměru.



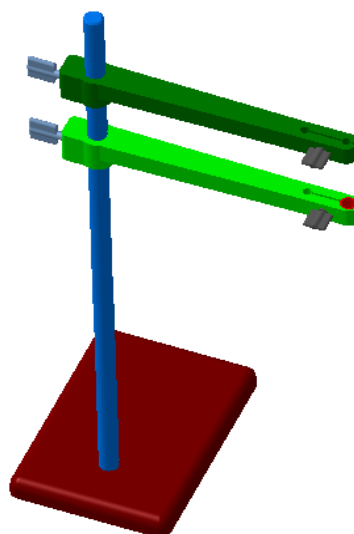
Obr. 19. Vnější a vnitřní trubice z křemenného skla



Obr. 20. Detail uzavření vnitřní trubky

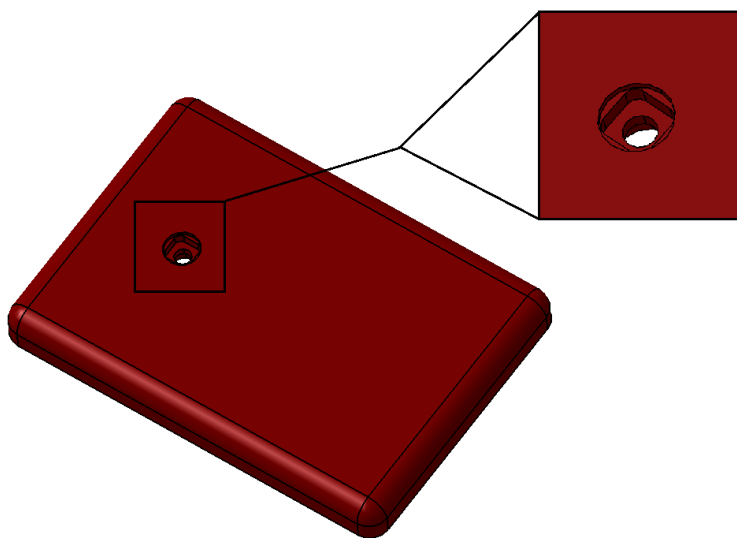
6.1.4 Systém uchycení

Jedním z hlavních úkolů této práce bylo navrhnout a zhotovit systém uchycení částí dilatometru. Pomocí CAD softwaru byly vymodelovány jednotlivé části, tak aby byly dodrženy některé základní rozměry, jako jsou výškový rozsah a délka držáků vůči temperační lázni. Výkresová dokumentace sestavy je v příloze P I. Výroba součástí probíhala převážně na CNC stroji.



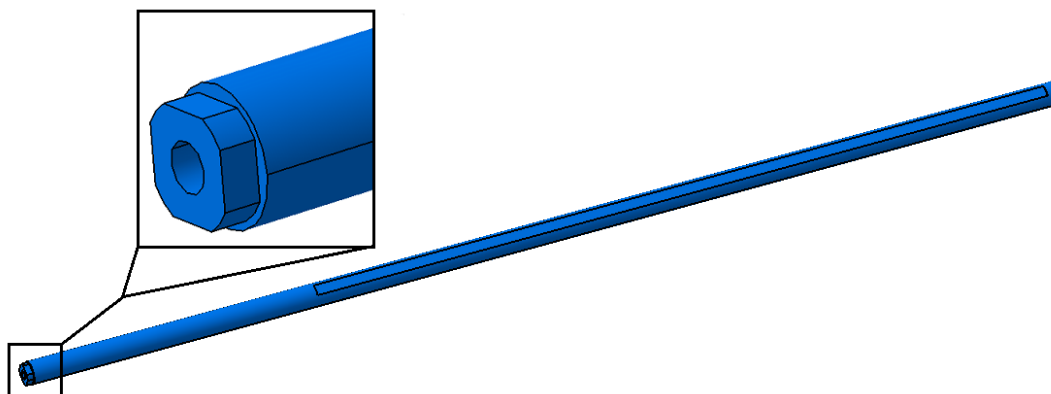
Obr. 21. Návrh systému uchycení

Na Obr. 22. je podstava vyrobená z oceli třídy 11. Rozměry jsou voleny tak, aby měla podstava větší hmotnost a celá sestava potom dobrou stabilitu. Ze spodní strany je otvor pro šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem, kterým se k podstavě přišroubuje vodící tyč (Obr. 23). Z horní strany podstavy je otvor 18H7, do kterého se zašroubuje vodící tyč tak, aby byla zajištěna kolmost.



Obr. 22. Podstava

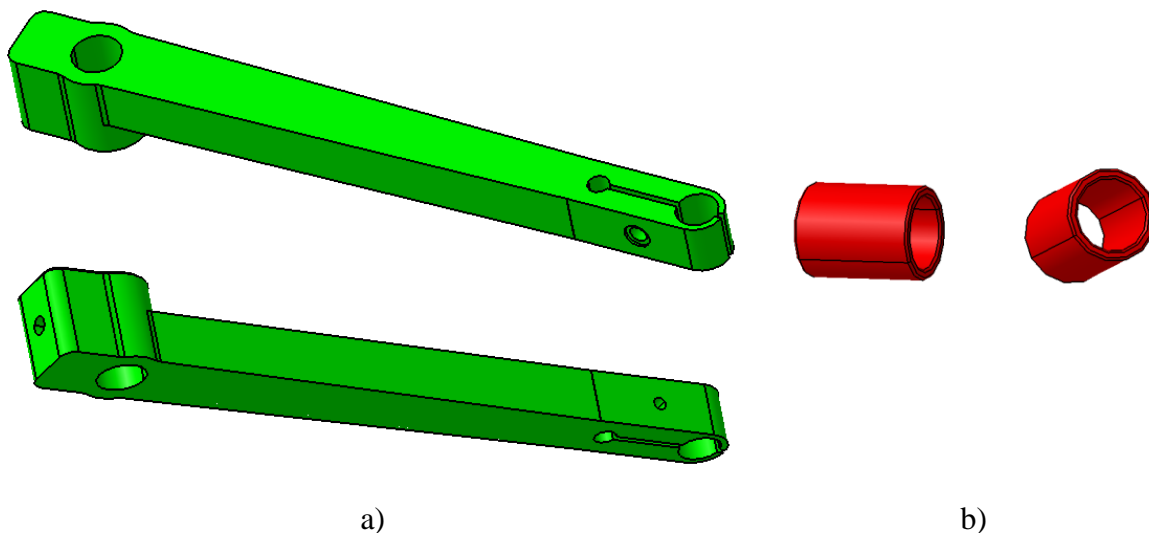
Na Obr. 23. je vodící tyč, vyrobená stejně jako podstava z oceli třídy 11. Polotovarem je válcová tyč o průměru 18h9. Na jednom konci je otvor pro šroub M8. Na průměru tyče je vyfrézovaná ploška, která slouží jako dosedací plocha pro aretační šrouby držáků. Stejně jako v podstavě je i na tyči vyfrézovaný čtyřhran, kterým se v případě potřeby může zajistit poloha plošky tyče vůči podstavě po 90°.



Obr. 23. Vodící tyč

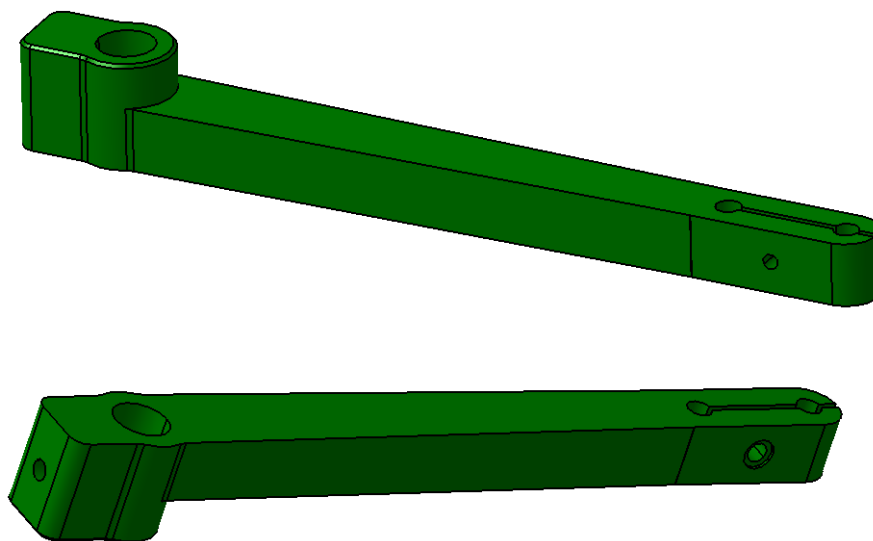
Držák skleněné trubky (Obr. 24. a)) je vyroben z duralu a tak díky nižší hmotnosti se s ním dobře manipuluje. Otvorem 18H7 je nasazen na vodící tyč a s malou vůlí se po tyči může

pohybovat. Na tento otvor je kolmo vyvrtán otvor se závitem M8, který slouží pro aretační šroub (Obr. 26. a)), kterým se držák jednak zajistí v potřebné výšce a jednak se zajistí jeho přesná poloha. Na konci držáku je otvor pro pružnou vložku (Obr. 24. b)), vyrobenou z pryže, která má za úkol vymezovat napětí při utahování skleněné trubky v držáku. Nařezáním otvoru úzkou drážkou je možné jeho stahování pomocí šroubu na Obr. 26. b).



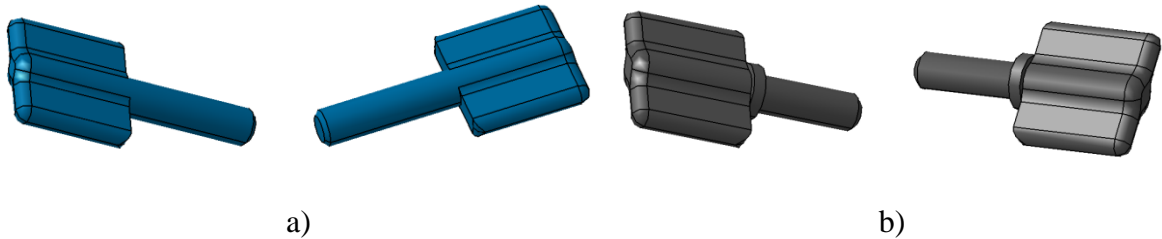
Obr. 24. a) Držák trubky, b) Pružná vložka

Držák úchylkoměru má stejné rozměry jako držák trubky s tím rozdílem, že namísto otvoru pro uchycení trubky, je otvor 8H7 - pro dílek digitálního úchylkoměru. Při dotahování je potřeba dbát na to, aby utahovací síla nebyla příliš velká, jinak by mohlo dojít k zablokování vřetene úchylkoměru. Držák je konstruován tak aby byl stabilní a byla zajištěna kolmost měřicího hrotu úchylkoměru na měřenou plochu.



Obr. 25. Držák úchylkoměru

Aretovacím šroubem se zajistí poloha držáku. Přitahovací šroub je vzhledově podobný, jen má navíc osazení, kterým stahuje otvor na konci příslušného držáku. Šrouby jsou vyrobeny z duralu a jsou konstruovány tak, aby je bylo možné utahovat nebo povolovat rukou.



Obr. 26. a) Aretovací šroub, b) Přitahovací šroub

6.2 Příprava zkušebních těles

Je dovoleno použít zkušební těleso kruhového nebo pravoúhlého průřezu. Zkušební tělesa se mohou připravovat buď:

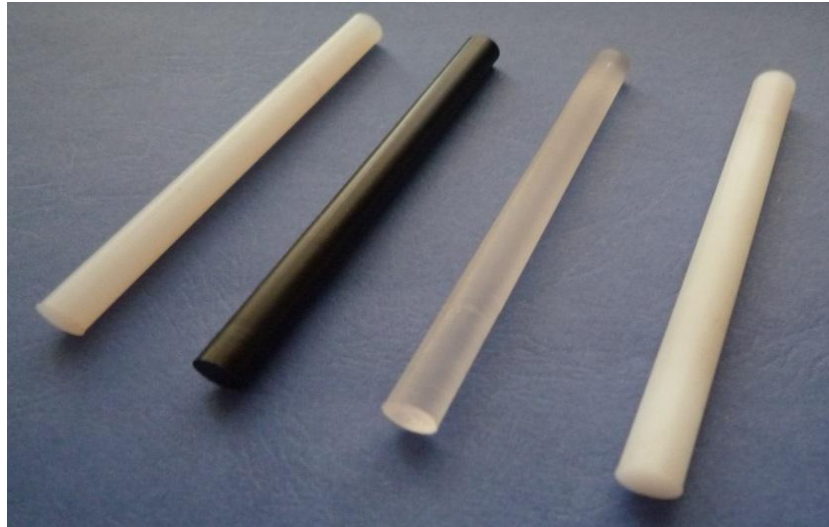
1. přímo ze zkoušených materiálů válcováním, vytlačováním nebo vstřikováním.
2. z hotových výrobků nebo polotovarů obráběním.

Často se srovnávají vlastnosti zkušebních těles připravených oběma způsoby, aby byly získány korelace mezi podmínkami, za kterých jsou polymery zpracovávány v laboratoři a ve výrobě. V laboratoři jsou podmínky modelovány hlavně z hlediska reprodukovatelnosti, za zcela jiných tepelných a tlakových podmínek ve výrobě.

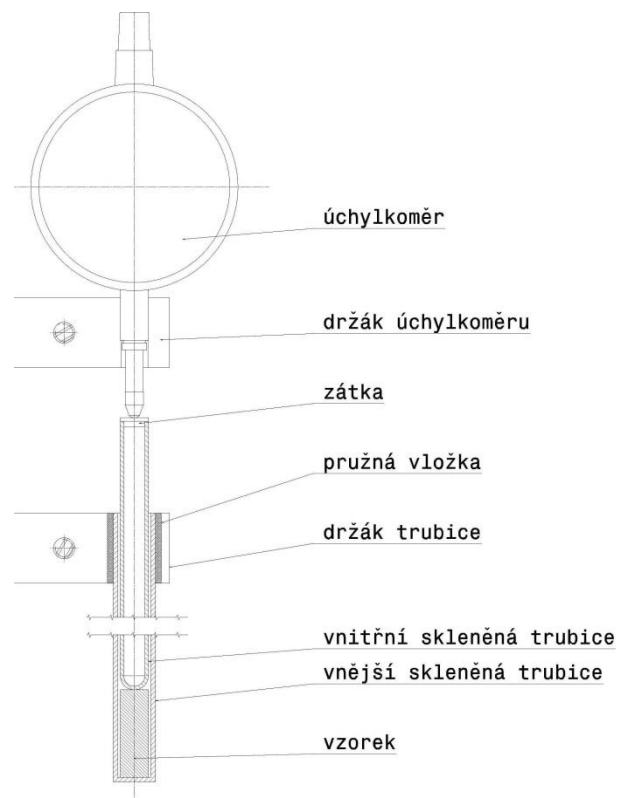
Čelní stěny zkušebních vzorků musí být kolmé k jeho podélné ose a hladké. Důležitým předpokladem určování průměrného délkového koeficientu je izotropní chování, což znamená, že zkoumaný polymerní vzorek má stejné vlastnosti v celém objemu. Je-li vzorek anizotropní, roztažnost polymeru v daném rozměru v závislosti na teplotě je složitější a závisí na změnách ve struktuře materiálu při ohřevu vzorku.

Na Obr. 27. jsou čtyři různé polymerní vzorky kruhového průřezu, které byly použity k měření teplotní roztažnosti. Vzorky byly připraveny soustružením z polotovarů. Jednotlivé materiály zkušebních vzorků a jejich vlastnosti jsou popsány v teoretické části.

Princip umístění a měření lineární roztažnosti polymerního vzorku je znázorněn na Obr. 28. Při zahřívání se vzorek roztahuje a přes vnitřní trubici, která slouží jako táhlo, se přenáší změna délky na úchylkoměr, ze kterého při dané teplotě odečtu velikost protažení vzorku.



Obr. 27. Zkušební vzorky (zleva PE UHMW, POM, PC, PA6)



Obr. 28. Princip měření teplotní roztažnosti vzorku

6.3 Ověření funkce přístroje

Po kompletním sestavení zařízení pro měření teplotní roztažnosti a zajištění zkušebních vzorků bylo zařízení umístěno do laboratoře, kde měření probíhalo při teplotě 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %. Zkušební vzorky byly umístěny v tomto prostředí po dobu 16 hodin a před začátkem zkoušky se změřila počáteční délka l_0 .

Zkušební vzorek o délce l_0 se vloží do vnější trubice, do které se zasune vnitřní trubice. Dilatometr se uchyťí do držáku, spojí s indikátorem prodloužení a vloží do temperační lázně, jejíž teplota je stejná jako teplota, při které byla určována výchozí délka zkušebního tělesa.

Po kalibraci indikátoru se systém zahřívá takovým způsobem, že se jeho teplota zvýší o 10°C a počká se na dosažení rovnovážného stavu, ve kterém se odečítá prodloužení zkušebního tělesa. Tento postup opakují až do teploty 90°C . Pro ustálení teploty je potřeba vyčkat alespoň 10 minut.



Obr. 29. Kompletní zařízení pro měření teplotní roztažnosti

7 PROTOKOL O ZKOUŠCE

1. ZADÁNÍ ZKOUŠKY

Úkolem zkoušky bylo na sestrojeném dilatometru změřit lineární délkovou roztažnost vybraných polymerních vzorků, zjistit koeficient délkové teplotní roztažnosti α a následně ho porovnat s tabulkovými hodnotami. Zkouška byla provedena dle ČSN 64 0528 „Stanovení koeficientu délkové teplotní roztažnosti“. Při zkoušce se předpokládá lineární závislost změny délky zkušební tělesa na teplotě v daném teplotním rozmezí.

2. POPIS ZKOUŠENÉHO MATERIÁLU

K měření byly použity polymerní vzorky o průměru 8 mm a délce 100 mm. Zkoumaly se čtyři různé druhy polymerů: PE UHMW, POM, PA6 a PC.

Vzorky byly vysoustruženy z polotovarů. Bylo dbáno na hladké opracování a kolmost čelních stěn k podélné ose. Vzorky jsou izotropního charakteru.

3. POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ PŘEDPISY A ZKUŠEBNÍ TECHNIKA

- Předpisy: - ČSN 64 0528
- Zkušební technika: - Lázňový termostat Huber MPC
- Digitální úchylkoměr Mitutoyo
- Dilatometr

4. VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Průměrná teplota vzduchu v laboratoři při měření: 23 °C

Průměrná relativní vlhkost vzduchu v laboratoři: 50%

Tabulky naměřených hodnot

Tab. 4. Naměřené a vypočtené hodnoty pro materiál: POM

t (°C)	l_0 (mm)	t_0 (°C)	Δl (mm)	α (K ⁻¹ · 10 ⁻⁶)
23	100	23	0	/
30			0,054	77
40			0,158	93
50			0,273	101
60			0,394	106
70			0,520	111
80			0,650	114
90			0,783	117

Tab. 5. Naměřené a vypočtené hodnoty pro materiál: PE UHMW

t (°C)	l ₀ (mm)	t ₀ (°C)	Δl (mm)	α (K ⁻¹ · 10 ⁻⁶)
23	100	23	0	/
30			0,073	104
40			0,231	136
50			0,405	150
60			0,590	159
70			0,795	169
80			1,009	177
90			1,219	182

Tab. 6. Naměřené a vypočtené hodnoty pro materiál: PC

t (°C)	l ₀ (mm)	t ₀ (°C)	Δl (mm)	α (K ⁻¹ · 10 ⁻⁶)
23	100	23	0	/
30			0,040	57
40			0,101	59
50			0,164	61
60			0,228	62
70			0,293	62
80			0,360	63
90			0,427	64

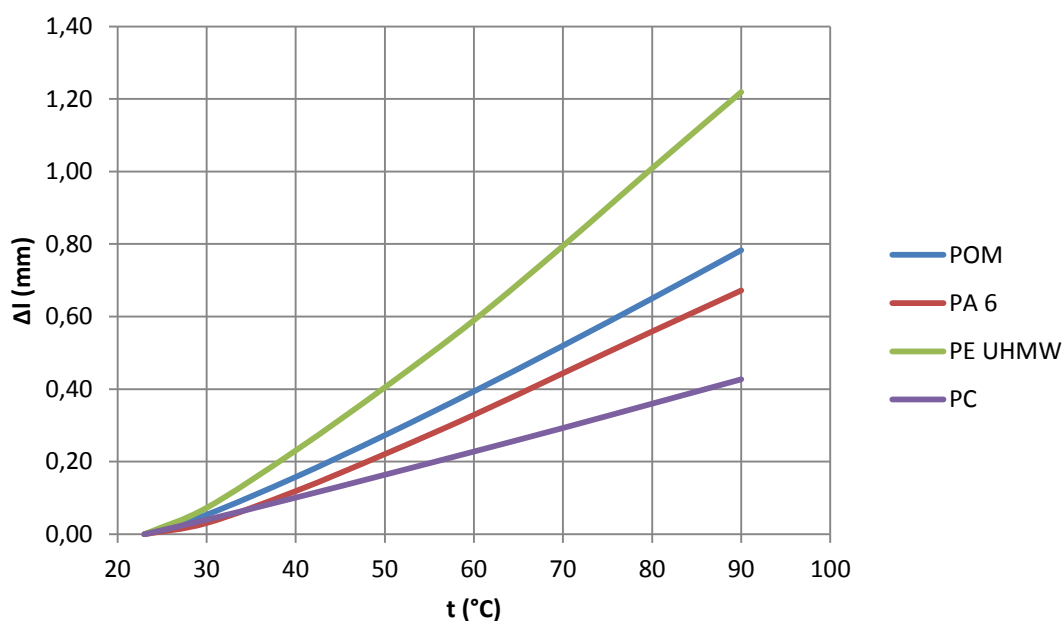
Tab. 7. Naměřené a vypočtené hodnoty pro materiál: PA 6

t (°C)	l ₀ (mm)	t ₀ (°C)	Δl (mm)	α (K ⁻¹ · 10 ⁻⁶)
23	100	23	0	/
30			0,031	44
40			0,119	70
50			0,221	82
60			0,329	89
70			0,444	94
80			0,559	98
90			0,672	100

Ukázka výpočtu koeficientu α polyoxymetyleny při teplotě 90 °C:

$$\alpha_{90^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{1}{0,1} \cdot \frac{0,783 \cdot 10^{-3}}{((273,15 + 90) - (273,15 + 23))} = 117[\text{K}^{-1} \cdot 10^{-6}]$$

Grafické vyjádření naměřených hodnot



Obr. 30. Grafické znázornění protažení jednotlivých zkušebních vzorků

5. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

U jednotlivých materiálů bylo měřeno lineární protažení v závislosti na teplotě. Z grafu na Obr. 30. je zřejmé, že nejvíce se protáhl PE UHMW a naopak nejméně PC.

Materiály POM, PA 6 a PE UHMW jsou semikrystalické, jediný PC je amorfní a z grafu vidíme, že součinitel teplotní roztažnosti α je u amorfních polymerů menší než u semikrystalických polymerů.

V Tab. 8. je srovnání vypočtených a tabulkových hodnot koeficientu lineární délkové roztažnosti. Vidíme, že vypočtená hodnota se pohybuje v rozsahu uvedeného v odborné literatuře.

Tab. 8. Porovnání tabulkových a vypočtených hodnot koeficientu α

Součinitel lineární teplotní roztažnosti α [$\text{K}^{-1} \cdot 10^{-6}$]	POM	PA 6	PE UHMW	PC
Z knihy uvedené v seznamu použité literatury pod č. [6]	90-140	70-120	200	60-70
Vypočtený při 90 °C	117	100	182	64

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá lineární teplotní roztažností polymerů a tím jak se tato vlastnost experimentálně zjišťuje.

V praktické části jsou popsány části dilatometru a zařízení, které bylo navrženo pomocí CAD softwaru a vyrobeno na CNC stroji. Zařízení bylo po té smontováno a byla zkontrolována jeho funkčnost. Po zajištění zkušebních těles bylo provedeno měření v laboratoři. Zjištěné výsledky byly porovnány s hodnotami tabulkovými z odborné literatury.

Výsledky měření podle předpokladu potvrzují, že se stoupající teplotou se zkušební vzorky polymerů prodlužují. Je proto důležité správně stanovit koeficient délkové teplotní roztažnosti pevných látek, tak aby při jejich aplikaci nedocházelo k nepříjemným nehodám. Známe-li tento koeficient a tak i jak se daný materiál chová, můžeme účinně předcházet těmto nehodám.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BLABOLIL, František. *Přehled výroby, zpracování a použití plastických hmot*. 1. vyd. Praha: Práce, 1956, 661s.
- [2] ČERNÝ, František. *Chemická technologie polymerů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982, 302s.
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 1995, 354s.
- [4] HOLZMULLER, Werner a Kurt ALTENBURG. *Fyzika polymerů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 625s.
- [5] MEISSNER, Bohumil a Václav ZILVAR. *Fyzika polymerů: Struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987, 306s.
- [6] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Praha: Sobotáles, 1993, 525s.
- [7] RYBNÍKÁŘ, František. *Analýza a zkoušení plastických hmot*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 418s.
- [8] TUREK, Emil a Karel KLEDROVEC. *Konstrukce výrobků*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1977, 218s.

ONLINE LITERATURA:

- [9] *Zpracování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec, [cit. 2012-01-06]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [10] *Encyklopedie fyziky* [online]. Fyzika pro gymnázia Praha, [cit. 2012-01-06]. Dostupný z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/131-molekulova-fyzika-a-termodynamika>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	Akrylonitril-butadien-styren
HDPE	Vysoko-hustotní polyetylen (High density polyethylene)
KČ	Kyslíkové číslo
l_0	Počáteční délka vzorku [mm]
LDPE	Nízko-hustotní polyetylen (Low density polyethylene)
PA 6	Polyamid 6
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylen
PE UHMW	PE s ultravysokou molární hmotností (PE Ultra high molecular weight)
PEEK	Polyéteréterketon
PET	Polyetylentereftalát
PMMA	Polymethylmetakrylát
POM	Polyoxymetylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluoretylen
PVAC	Polyvinylacetát
PVC	Polyvinylchlorid
t	Teplota [°C]
t_0	Teplota okolí [°C]
T_f	Teplota viskózního toku [°C]
T_g	Teplota skelného přechodu [°C]
T_m	Teplota tání polymeru [°C]
T_z	Teplota degradace polymeru [°C]

α	Součinitel (koeficient) délkové teplotní roztažnosti [K^{-1}]
$\bar{\alpha}$	Střední součinitel (koeficient) délkové teplotní roztažnosti [K^{-1}]
β	Součinitel (koeficient) objemové teplotní roztažnosti [K^{-1}]
Δl	Přírůstek délky zkušebního tělesa [mm]
Δt	Teplotní rozdíl mezi teplotou t a t_0 [$^{\circ}C$]
ε	Poměrné prodloužení [-]
λ	Součinitel tepelné vodivosti [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
σ	Napětí [MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. - Polymer</i>	12
<i>Obr. 2. – Různé možnosti kopolymerace:</i>	14
<i>Obr. 3. – Syntetické polymery</i>	14
<i>Obr. 4. – Struktura molekul polymeru: a) lineární, b) rozvětvená, c) plošně síťovaná, d) prostorově síťovaná</i>	15
<i>Obr. 5. – Klasifikace polymerů podle vlastností</i>	16
<i>Obr. 6. – Rozdělení podle nadmolekulární struktury</i>	17
<i>Obr. 7. Nadmolekulární struktura</i>	17
<i>Obr. 8. – Vliv struktury na průběh deformace</i>	21
<i>Obr. 9. – Modely mechanické deformace</i>	22
<i>Obr. 10. – Závislost deformace na napětí,</i>	24
<i>Obr. 11. – Strukturní vzorce některých „vodivých“ polymerů</i>	27
<i>Obr. 12. Dráty elektrického vedení</i>	38
<i>Obr. 13. Elektrické vedení podél železniční tratě</i>	39
<i>Obr. 14. Volné uložení mostní konstrukce na válcích</i>	39
<i>Obr. 15. Bimetalový pásek</i>	40
<i>Obr. 16. Návrh sestavy zařízení pro měření délkové teplotní roztažnosti</i>	42
<i>Obr. 17. Lázňový termostat Huber MPC 208B</i>	43
<i>Obr. 18. Digitální úchylkoměr Mitutoyo</i>	43
<i>Obr. 19. Vnější a vnitřní trubice z křemenného skla</i>	44
<i>Obr. 20. Detail uzavření vnitřní trubky</i>	44
<i>Obr. 21. Návrh systému uchycení</i>	44
<i>Obr. 22. Podstava</i>	45
<i>Obr. 23. Vodící tyč</i>	45
<i>Obr. 24. a) Držák trubky, b) Pružná vložka</i>	46
<i>Obr. 25. Držák úchylkoměru</i>	46
<i>Obr. 26. a) Aretovací šroub, b) Přitahovací šroub</i>	47
<i>Obr. 27. Zkušební vzorky (zleva PE UHMW, POM, PC, PA6)</i>	48
<i>Obr. 28. Princip měření teplotní roztažnosti vzorku</i>	48
<i>Obr. 29. Kompletní zařízení pro měření teplotní roztažnosti</i>	49
<i>Obr. 30. Grafické znázornění protažení jednotlivých zkušebních vzorků</i>	52

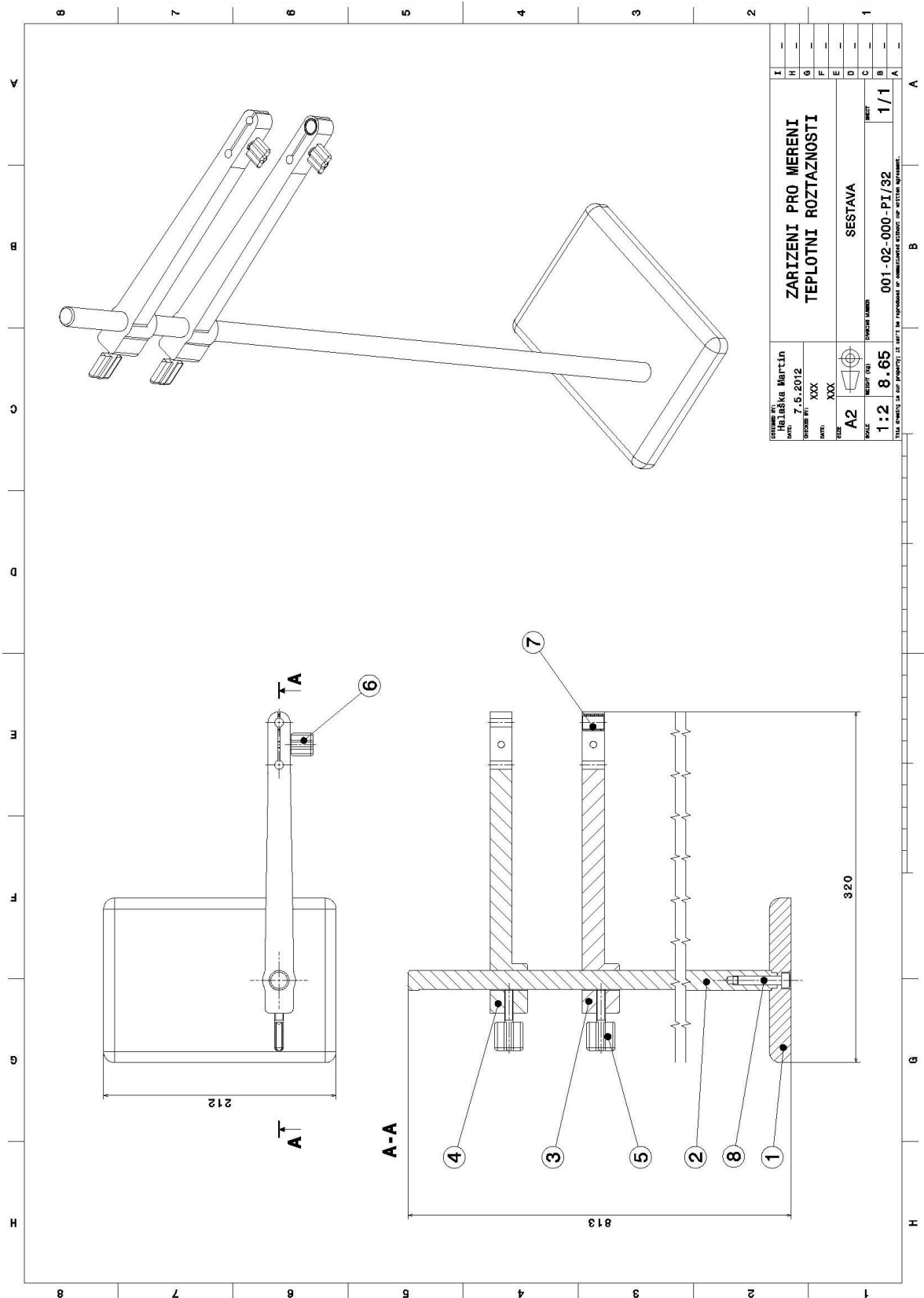
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Přehled významných vlastností některých plastů [6]</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 2. Přehled tepelných vlastností některých plastů [6]</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3. Hořlavost různých materiálů vyjádřených kyslíkovým číslem[6].....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 4. Naměřené a vypočtené hodnoty pro materiál: POM.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 5. Naměřené a vypočtené hodnoty pro materiál: PE UHMW</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 6. Naměřené a vypočtené hodnoty pro materiál: PC</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 7. Naměřené a vypočtené hodnoty pro materiál: PA 6.....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 8. Porovnání tabulkových a vypočtených hodnot koeficientu α</i>	<i>52</i>

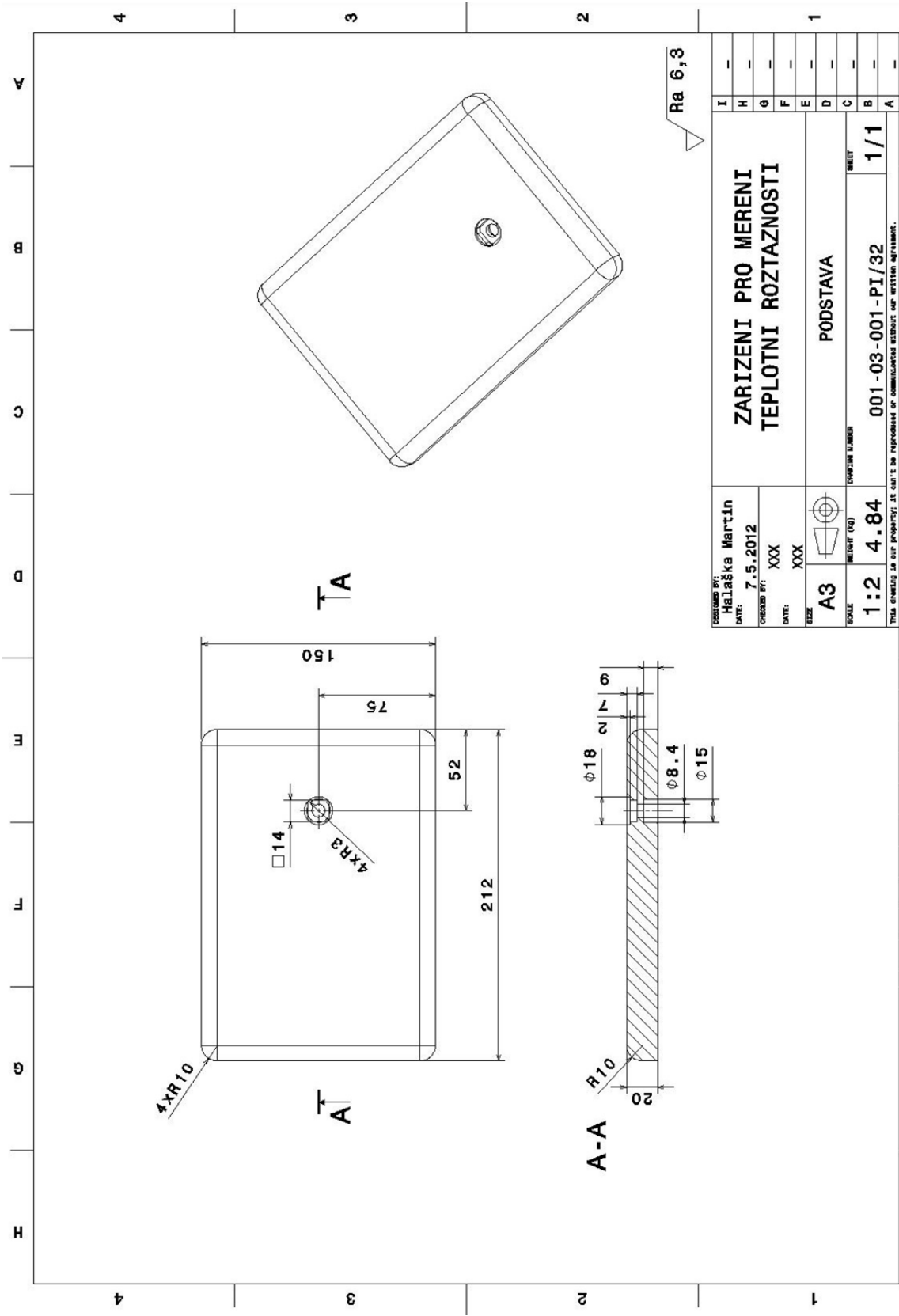
SEZNAM PŘÍLOH

PI Výkresová dokumentace

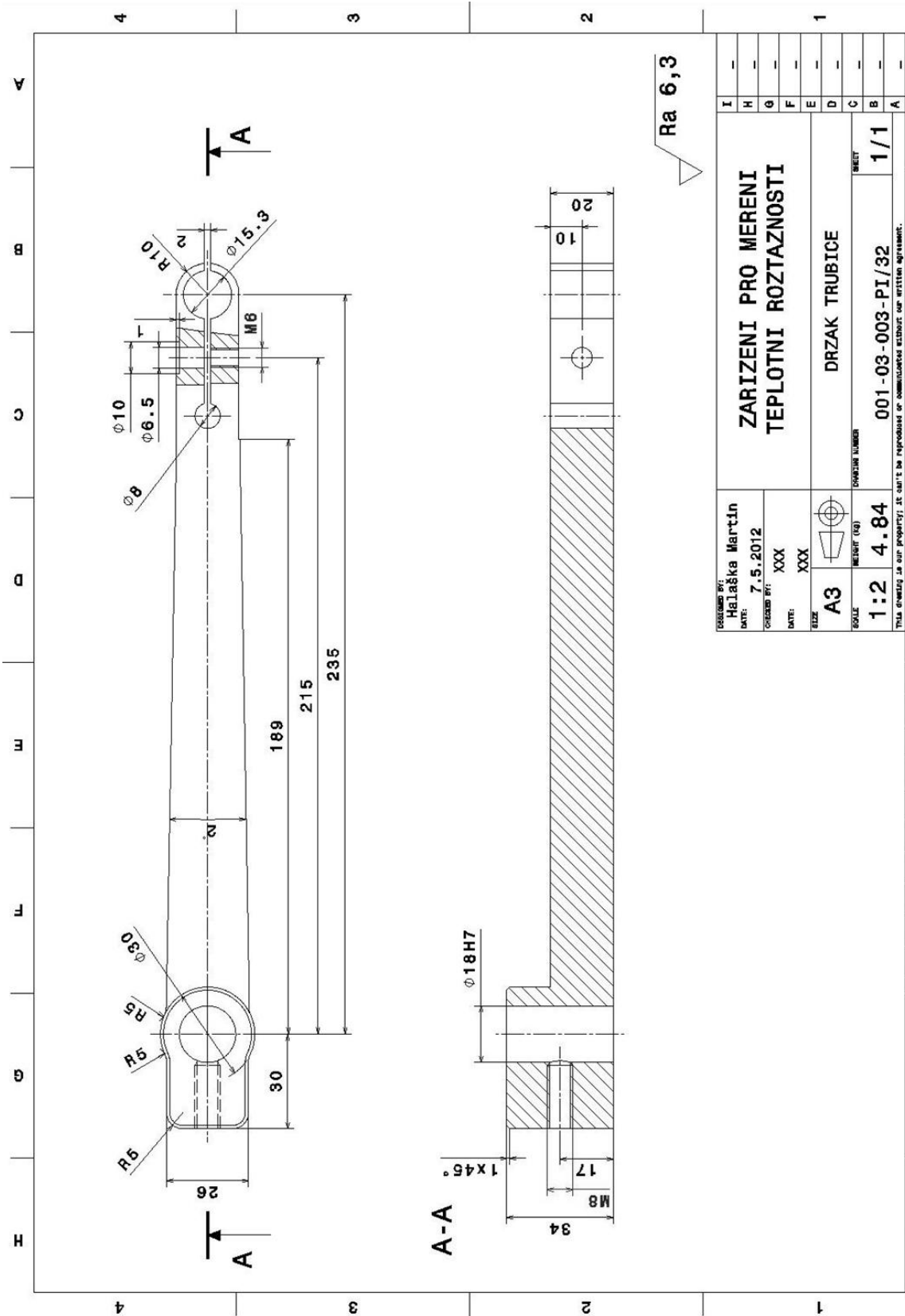
PII CD ROM



DESIGNED BY:	Ing. Libek Martin
DATE:	7.5.2012
VERSION BY:	XXX
DATE:	XXX
SCALE:	A2
PROJECT:	SESTAVA
ITEM:	001-02-000-PI/32
QUANTITY:	1/1
TITLE QUANTITY IN THIS DRAWING IS PART OF EQUIPMENT OR COMPLETION LISTING OF THE SET EQUIPMENT.	

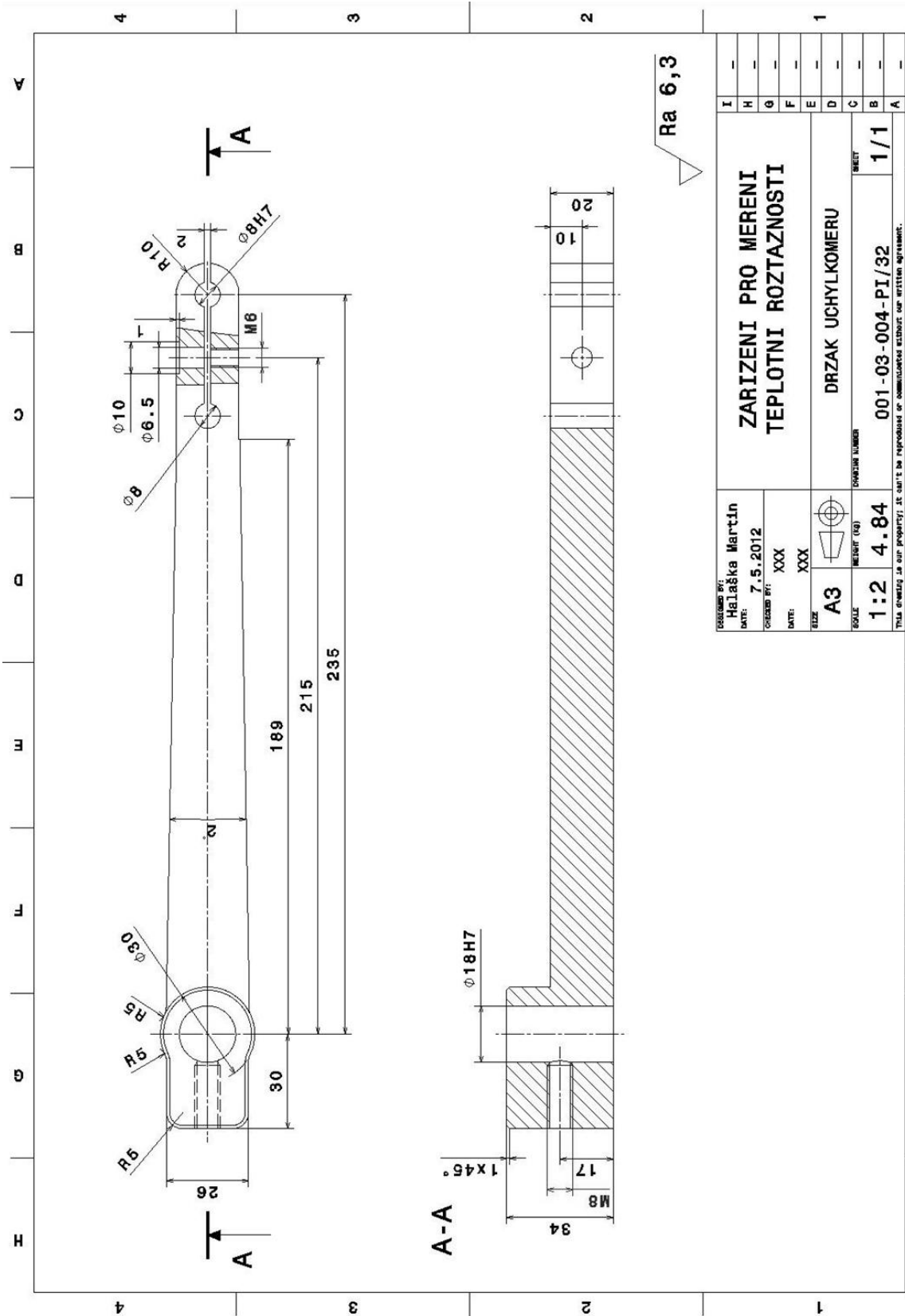


USTAVENÝ VYKON: Halaška Martin DATE: 7.5.2012 CHECKED BY: XXX DATE: XXX SIZE: A3 SCALE: 1:2 TITLE: ZARÍZENÍ PRO MĚŘENÍ TĚPLOTNÍ ROZTAŽNOSTI DOKUMENT ČÍSLO: 001-03-001-PI/32 VERZE: 1/1 THIS DRAWING IS OUR PROPERTY. IT CAN'T BE REPRODUCED OR COMMUNICATED OUTSIDE OUR WRITTEN AGREEMENT.	I H G F E D C B A
Ra 6,3	1



DESIGNED BY: Halaška Martin	DATE: 7.5.2012	CHECKED BY: XXX	DATE: XXX	SIZE: A3	SCALE: 1:2	PROJ. NO.:	001-03-003-PI/32	VER. NO.:	1/1
ZARIZENI PRO MERENI TEPLOTNI ROZTAZNOSTI				DRZAK TRUBICE					
				DOKUMENT NUMBER					
				SERIES					
				1/1					
THIS DRAWING IS OUR PROPERTY. IT CAN'T BE REPRODUCED OR COMMUNICATED WITHOUT OUR WRITTEN AGREEMENT.									

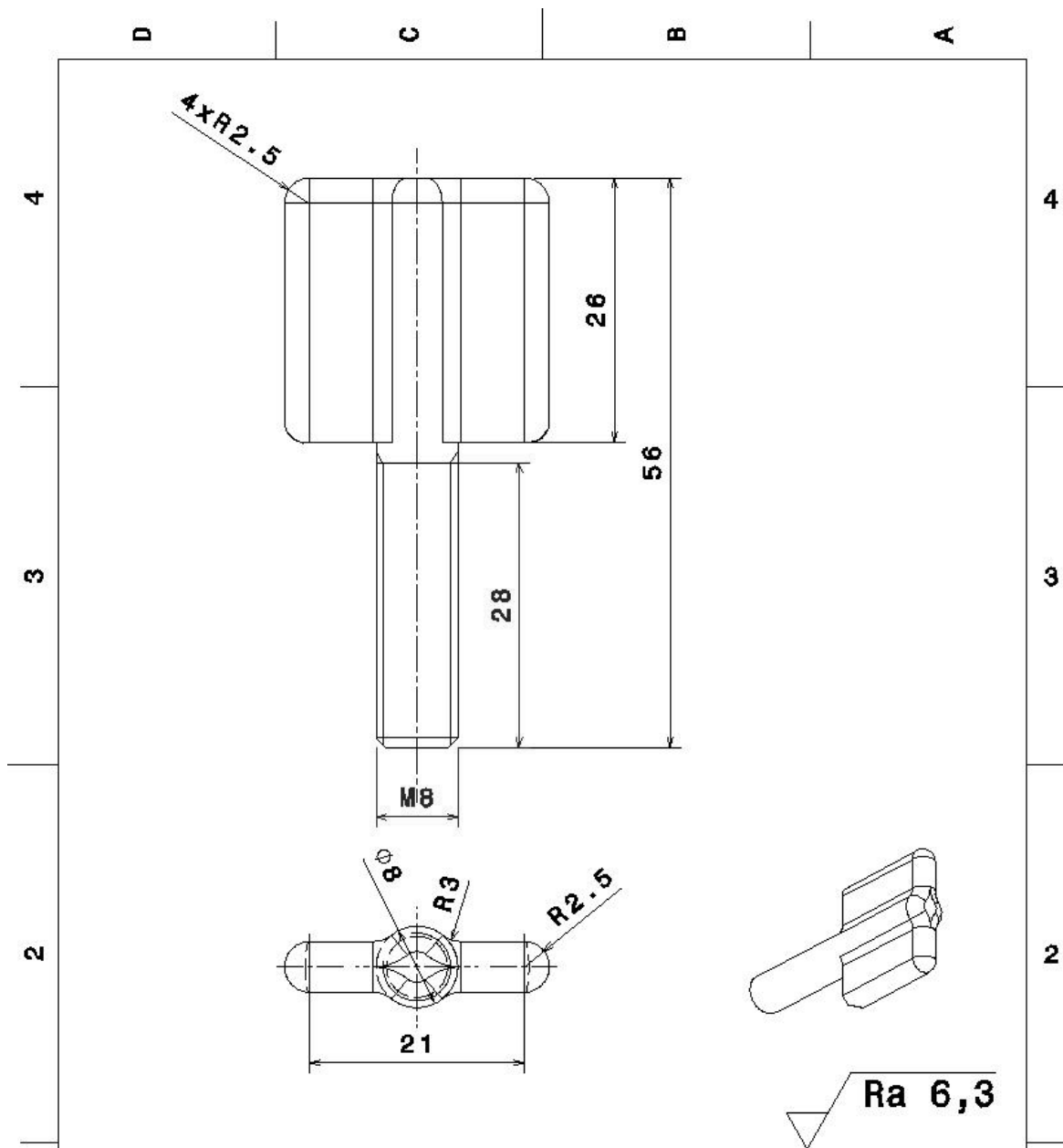
Ra 6,3



DESIGNED BY: Halaška Martin	DATE: 7.5.2012	CHECKED BY: XXX	DATE: XXX	SIZE: A3	SCALE: 1:2	1/1	1
ZARIZENI PRO MERENI TEPLOTNI ROZTAZNOSTI				DRZAK UCHYLKOMERU			
				001-03-004-PI/32			
				1/1			
THIS DRAWING IS OUR PROPERTY. IT CAN'T BE REPRODUCED OR COMMUNICATED WITHOUT OUR WRITTEN AGREEMENT.							

Ra 6,3

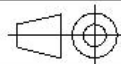
I -
H -
G -
F -
E -
D -
C -
B -
A -



DESIGNED BY:
Halaška Martin
 DATE:
7.5.2012
 CHECKED BY:
XXX
 DATE:
XXX

**ZARIZENI PRO MERENI
 TEPLITNI ROZTAZNOSTI**

SIZE
A4



ARETOVACI SROUB

SCALE
2:1

WEIGHT (kg)
0.01

DRAWING NUMBER
001-04-005-PI/32

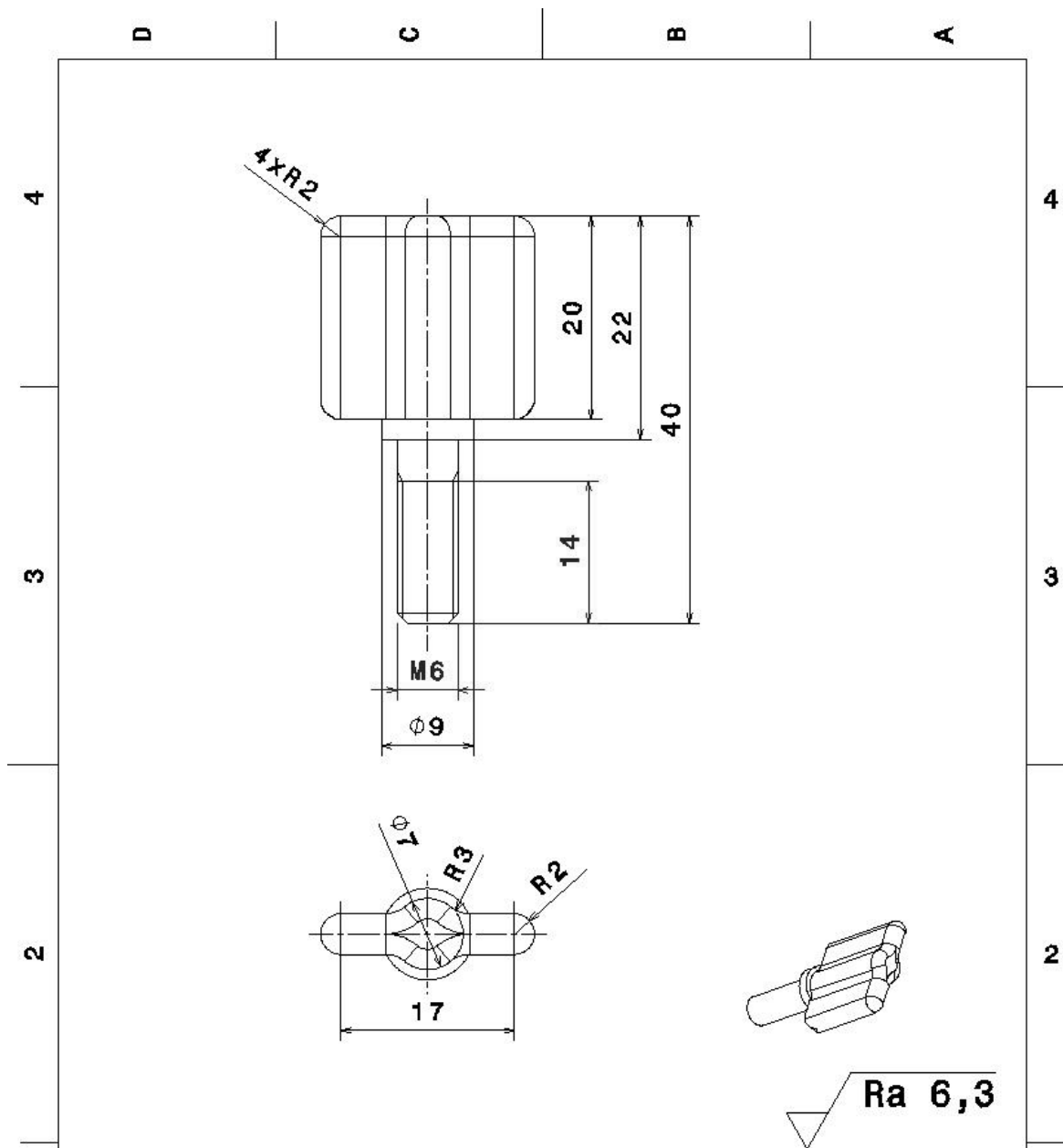
SHEET
1/1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

D

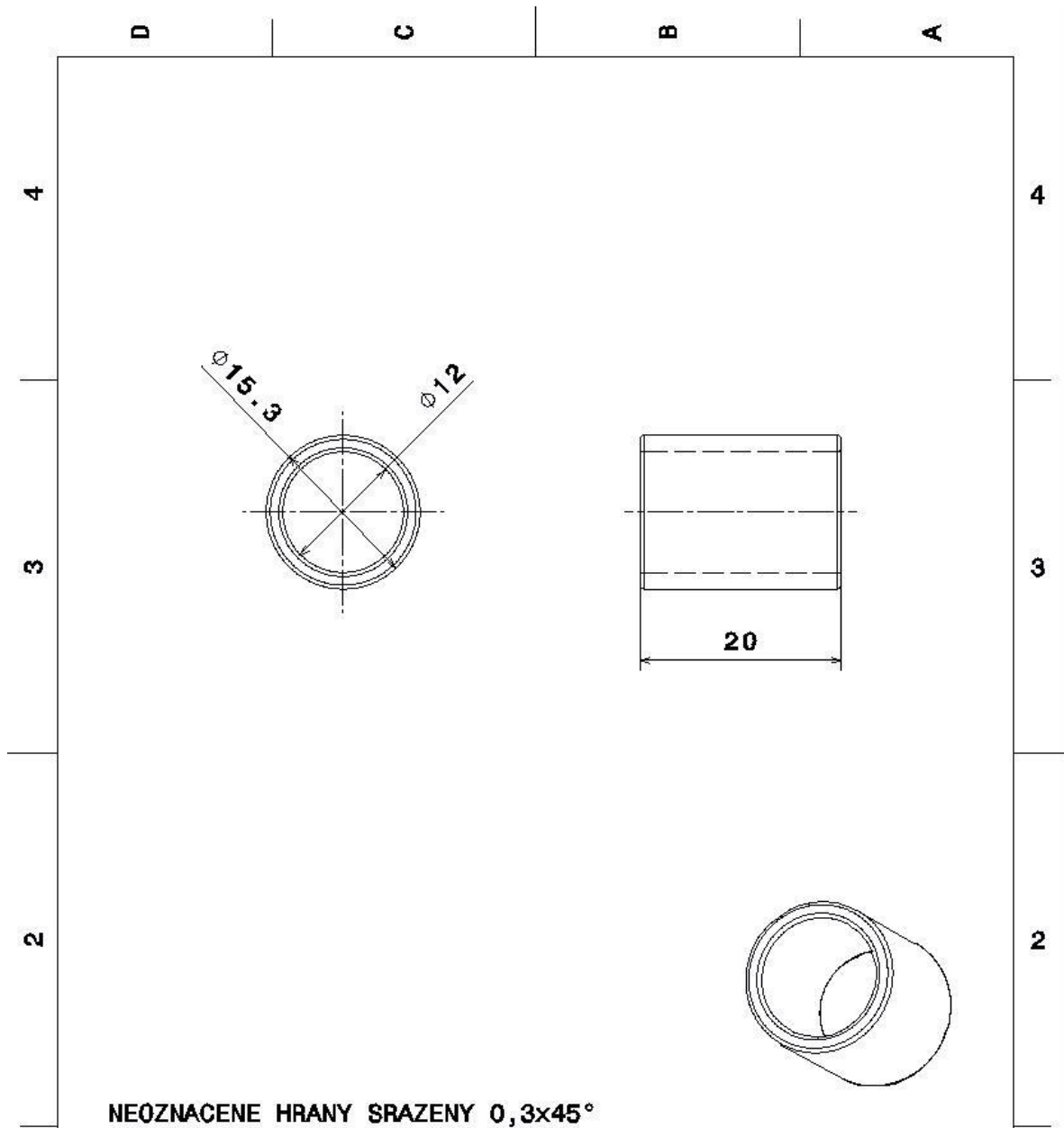
A



DESIGNED BY: Halaška Martin		ZARIZENI PRO MERENI TEPLOTNI ROZTAZNOSTI		I	-
DATE: 7.5.2012				H	-
CHECKED BY: XXX		PRITAHOVACI SROUB		G	-
DATE: XXX				F	-
SIZE: A4		001-04-006-PI/32		E	-
SCALE: 2:1	WEIGHT (kg): 0.01			DRAWING NUMBER: 001-04-006-PI/32	SHEET: 1/1
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-

D

A



NEOZNACENE HRANY SRAZENY 0,3x45°

DESIGNED BY: Halaška Martin		ZARIZENI PRO MERENI TEPLOTNI ROZTAZNOSTI		I	-
DATE: 7.5.2012				H	-
CHECKED BY: XXX				G	-
DATE: XXX				F	-
DATE: XXX				E	-
SIZE: A4		PRUZNA VLOZKA		D	-
SCALE: 2:1	WEIGHT (kg): 0.01	DRAWING NUMBER: 001-04-007-PI/32	SHEET: 1/1	C	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				B	-
				A	-

D

A