

Konstrukce upínacích čelistí pro zkoušky nízko- cyklické únavy

Tomáš Kunát

Bakalářská práce
2009

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš KUNÁT**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukce upínacích čelistí pro zkoušky
nízkocyklické únavy**

Zásady pro vypracování:

- a) vypracování literární studie na dané téma
- b) zhotovení výkresové dokumentace
- c) výroba a zprovoznění výrobku
- d) ověření funkčnosti přípravku

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

LUKOVICS, Imrich. Konstrukční materiály a technologie. VUT Brno: 1991.

HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J. Strojírenská technologie 1- Nauka o materiálu 1. díl

HLUCHÝ, M. Strojírenská technologie 1. Praha: SNTL, 1984. 176 s.

JARUŠEK, Jaroslav. Metody zkoumání polymerů. VŠCHT Pardubice, 1984.

Technická norma: ČSN EN ISO 178 (64 0607).

SCHÄTZ, Miroslav, VONDRÁČEK, Petr. Zkoušení polymerů. VŠCHT Pra-ha: SNTL,

KREIBICH, Viktor. Strojírenská technologie IV. Praha: SNTL, 1988. 328s.

PLUHAŘ, Jaroslav, KORITTA, Josef. Strojírenské materiály. Praha: SNTL, 1966.

Dostupné z WWW:

http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm

<http://www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm>.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Tato práce byla vypracována na téma: Konstrukce upínacích čelistí pro zkoušky nízkocyklické únavy.

V první části jsem se zaměřil na teorii konstrukčních materiálů, mechanických vlastností a zkoušení. Ve druhé části jsem navrhl čelisti pro zkoušky nízkocyklické únavy. Čelisti byly vyrobeny a jejich funkčnost vyzkoušena na vzorcích z PMMA.

V příloze bakalářské práce jsou výrobní výkresy čelistí a grafické vyhodnocení ohybových zkoušek.

Klíčová slova: cyklické zkoušky, zkouška ohybem, upínací čelisti

ABSTRACT

The subject-matter of this thesis has been: Design of grips for the purpose of testing of low-cyclical fatigue.

In the first part I addressed the theory of construction materials, mechanical properties, and of testing. In the second part I designed the grips for the purpose of testing of low-cyclical fatigue. The grips have been made and their functionality tested on the PMMA samples.

An Annex to the bachelor thesis is the production drawings of the grips and a graphic evaluation of bend tests.

Keywords: cyclical testing, bend test, clamping grips

Děkuji mému vedoucímu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D., za odborné vedení a ochotu, kterou mi věnoval při vypracování bakalářské práce.

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

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	7
I TEORETICKÁ ČÁST	8
1 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY	9
1.1 PLASTY	9
1.1.1 Rozdělení plastů	10
1.1.2 Mechanické vlastnosti polymerů.....	11
1.1.3 Přehled nejdůležitějších konstrukčních plastů	14
1.2 OCELI	16
1.2.1 Přehled ocelí	16
2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ	18
2.1 ZKOUŠKA OHYBEM	19
2.2 DYNAMICKÁ NAMÁHÁNÍ.....	20
2.2.1 Zkoušky únavy	22
2.2.2 Lomové plochy.....	24
2.3 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	25
3 STROJE PRO MECHANICKÉ ZKOUŠKY	27
3.1 ZWICK 145 665	27
4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY	29
4.1 KOVOVÉ POVLAKY A VRSTVY	29
4.1.1 Elektrolytické pokovení	29
STANOVENÍ CÍLŮ	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	32
2.1 TECHNICKÉ ÚDAJE STROJE	33
2.2 NÁVRH UPÍNACÍCH ČELISTÍ	34
2.2.1 Varinta podpěr č.2	36
2.3 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI	37
2.3.1 Výpočet modulu pružnosti	43
2.4 SOUČÁSTI VYRÁBĚNÝCH ČELISTÍ	45
ZÁVĚR	48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	49
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	52
SEZNAM TABULEK	54
SEZNAM PŘÍLOH	55

ÚVOD

Rozvoj průmyslu všech odvětví, zvláště průmyslu strojírenského, klade stále větší požadavky na množství a vlastnosti konstrukčních a pomocných materiálů. Dnes už nejsme odkázáni výhradně na klasické kovové materiály, ale do výroby se stále více dostávají látky nové, nekovové.

Kovové materiály mají většinou větší hustotu, menší odolnost proti korozi i jiným chemickým účinkem, jsou špatnými izolátory elektřiny i tepla a špatně tlumí chvění. Zlepšení těchto vlastností kovů je obvykle provázáno zvýšením ceny nebo zhoršením technologických vlastností. Proto se v mnohých případech lépe uplatňují látky nekovové.

Z nekovových materiálů jsou nejdůležitější plasty.

Celá řada polymerních materiálů je v praxi namáhána opakovanými deformacemi – např. pneumatiky při jízdě v zatáčkách, ozubená kola při opakovaných záběrech apod. Bylo prokázáno, že většina prasklin na konstrukčních hmotách jsou únavové lomy způsobené vibracemi a že pouze staticky namáhané konstrukce se téměř v praxi nevyskytují.

Úkolem bakalářské práce je navrhnout čelisti pro zkoušky nízkocyklické únavy, které by umožňovaly zkoušení plastových tyčinek na ohyb v obou směrech na universálním stroji Zwick 145 665, které umožní širší použití zkušebního stroje.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY

Jednou z nejdůležitějších oblastí využití materiálů jsou stroje, nástroje a nářadí tzv. technologické konstrukce. Základem všech strojů a zařízení je konstrukční materiál, jehož znalost potřebují všichni odborníci. Bez znalostí vlastností materiálu nemůže konstruktér správně volit nejvhodnější materiál pro jednotlivé díly stroje, technolog nemůže správně řídit technologický proces, technický pracovník údržby strojů se bude těžko rozhodovat o správné volbě vhodného materiálu pro poškozenou nebo opotřebovanou součást technologického zařízení vyřazeného z provozu. Materiály využívané v konstrukcích (konstrukční materiály) rozdělujeme do dvou základních skupin, které se výrazně liší svými fyzikálně-chemickými vlastnostmi – na materiály kovové a nekovové (plasty). [1]

1.1 Plasty

Plasty jsou jednou z nejmladších, ale dnes již z největších a nejrozmanitějších skupin konstrukčních materiálů. Jejich průmyslové začátky sahají do období po první světové válce a od poloviny 20. století nastává prudký rozvoj, který se neustále zintenzivňuje. Rozšiřuje se sortiment a zlepšují se jejich užitkové vlastnosti. Plasty pronikají do všech oborů lidské činnosti, umožňují zkvalitnění výrobků, šetří náklady a umožňují vznik nových oborů. Jsou to nové konstrukční materiály se specifickými vlastnostmi. Jsou velmi lehké, vodou nekorodují, izolují tepelně i elektricky a dají se snadno a levně zpracovávat tvářením. Modifikací (úpravou) a příměsmi můžeme měnit jejich vlastnosti v širokém rozsahu. [2]

Tab. 1. Charakteristické vlastnosti plastů

Vlastnosti		Poznámka
Hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	asi 900 až 2200	Podstatně lehčí než ocel, Výhodné pro dopravní zařízení
Pevnost v tahu (MPa)	asi 30 až 80 asi 100 až 200	u nevyztužených hmot (značně menší než u kovů) u vyztužených hmot
Tepelná odolnost trvalá ($^{\circ}\text{C}$)	asi 60 až 90 asi 100 až 120	u běžných termoplastů u běžných reaktoplastů a elastomerů
Teplotní roztažnost	průměrně 10 krát větší než u oceli	Nepřesné rozměry výrobků
Tepelná vodivost	Asi 100 krát až 200 krát menší než u oceli	Tepelně dobře izolují, špatně odvádějí teplo vzniklé třením
Hořlavost	většinou pomalu hoří nebo samy zhasnou	Nebezpečí požárů ve sta- vebnictví a v elektronice (přísady proti hořlavosti)
Elektroizolační vlastnosti	velmi dobré, pokud hmota nenavlhá	Některé druhy jsou výbor- nými izolátory i při vysoké frekvenci (mají nízké dielek- trické ztráty)
Chemická odolnost	Nekorodují vodou, odolnost vůči chemikáliím většinou lepší než u kovů	Některé mírně navlhají
Zpracovatelnost	Snadná a levná – tvářením (při 200 až 300 $^{\circ}\text{C}$), tvaro- váním, svařováním, litím	Zejména u termoplastů

1.1.1 Rozdělení plastů

Plasty je možno klasifikovat podle různých hledisek:

1. Na základě teplotního chování, podle působení teploty :

a) termoplasty - jedná se o polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních neneutronovských kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty) Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces.

b) reaktoplasty - jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci).

c) kaučuky, pryže a elastomery - jedná se o polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj.

2. Podle nadmolekulární struktury (podle stupně uspořádanosti), kdy nadmolekulární struktura je nadřazena makromolekulám, se plasty dělí :

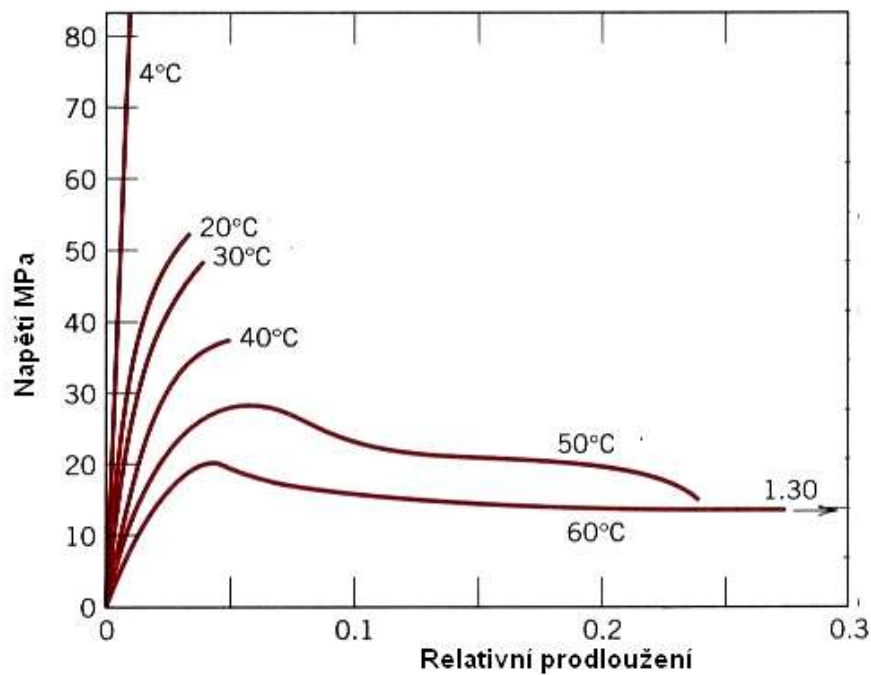
a) amorfní plasty - kde makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zesílnění T_g .

b) krystalické (semikrystalické) plasty - které vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %). Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání T_m . [9]

1.1.2 Mechanické vlastnosti polymerů

Je velmi obtížné zařadit polymery mezi tak vyhraněné materiály jako jsou skla nebo viskózní kapaliny, protože jejich mechanické vlastnosti závisí na podmínkách zkoušek, to znamená na rychlosti zatěžování, teplotě a velikosti deformace.

Mechanické vlastnosti polymerů jsou velmi rozdílné a silně závislé na teplotě. [10]

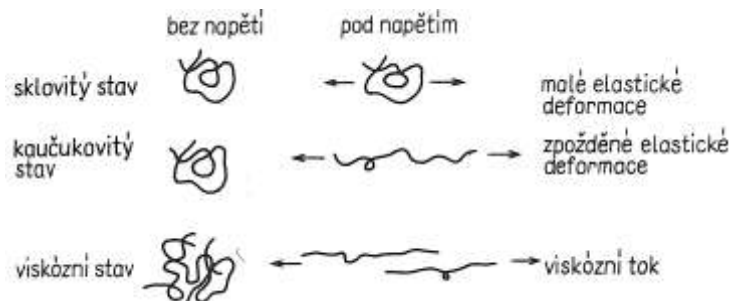


Obr. 1. Teplotní závislost mechanických vlastností polymerů

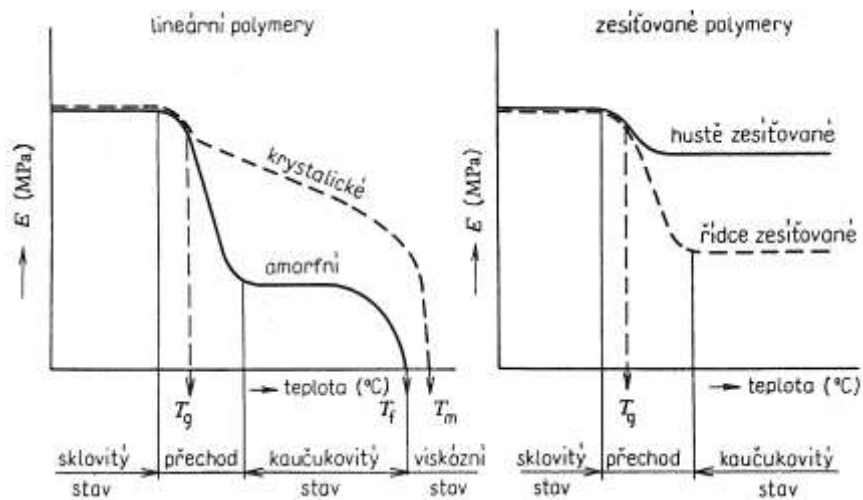
Sklovitý stav (pod T_g) Řetězce jako celky jsou tuhé, mechanickým napětím σ se jen velmi málo mění vzdálenosti atomů v makromolekule, což odpovídá nepatrným pružným (elastickým) deformacím hmoty (obr. 2). Polymer je tvrdý a křehký. Platí zde Hookův zákon pro okamžité pružné (ideálně elastické) deformace

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{E} \tag{1}$$

Přechodová oblast (kolem T_g) – Při zvýšené teplotě se začíná zvětšovat pohyblivost úseků řetězců, při napětí se objevuje rozvinování makromolekul, hmota měkne a její modul pružnosti E prudce klesá (obr. 3)



Obr. 2. Schéma deformací lineárních polymerů



Obr. 3. Změna modulu pružnosti v závislosti na teplotě

Kaučukovitý stav (nad T_g) Při mechanickém napětí se řetězce již snadno rozvinují, ale nikoli ihned, nýbrž potřebují k tomu jistou dobu. Hmota se chová jako by byla elastická i viskózní zároveň - viskoelastické chování.

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{\sigma}{E} \right) \varphi(t) \quad (2)$$

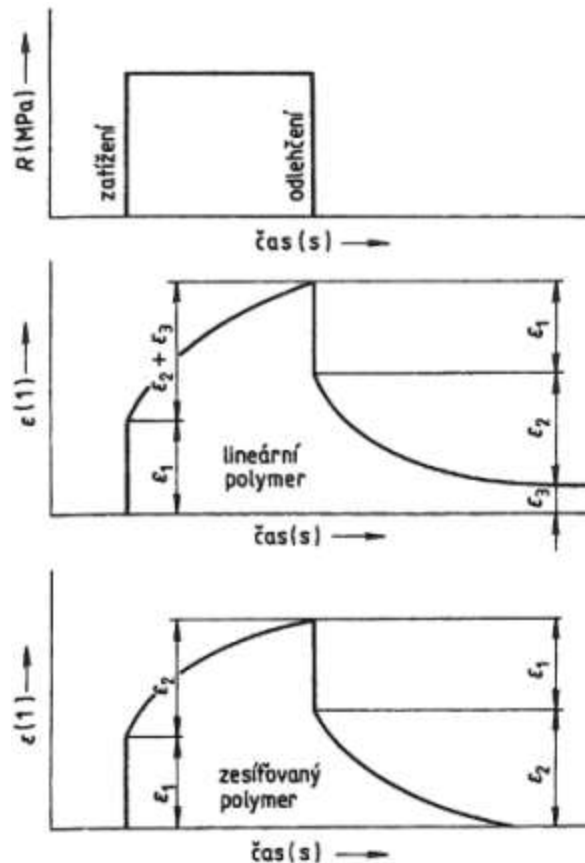
Viskózní stav (nad T_f) se objevuje u lineárních polymerů a u amorfních, u částečně krystalických (nad T_m), řetězce se mohou volně přemisťovat a nastává viskózní tok určený vztahem

$$\varepsilon_3 = \frac{\sigma \cdot t}{\eta} \quad (3)$$

kde t je doba působení napětí σ a η je Newtonova dynamická viskozita hmoty při dané teplotě. U zesíťovaných polymerů viskózní stav ani nenastává. Viskózní tok se objevuje v nepatrné míře i pod teplotou tání a spolu se zpožděnou elastickou deformací je příčinou tzv. tečení (creep) a relaxace. Tečení je pozvolné zvětšování deformace s časem při konstantním zatížení hmoty. Relaxace je pozvolný pokles napětí s časem při konstantní deformaci hmoty. Celková deformace hmoty je obecně součtem dílčích deformací (obr. 4)

$$\varepsilon_{celk} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (4)$$

a zvětšuje se s časem.



Obr. 4. Viskoelastické chování polymerů

1.1.3 Přehled nejdůležitějších konstrukčních plastů

Polyvinylchlorid (PVC) je jeden z nejpoužívanějších a nejlevnějších plastů.

Tvrký PVC je pevný, dost křehký, použitelný do teploty 60 °C, vyniká odolností proti kyselinám a zásadám. Široké použití v chemickém průmyslu na potrubí, armatury, desky na vyložení nádrží na kyseliny, instalační zařízení.

Měkčený PVC obsahuje změkčovadla, je ohebný, pod 0 °C však křehne. Vyrábějí se z něj kufry, kabelky, podrážky, obuv, koženka (s textilním podkladem), podlahové krytiny, hračky, obaly hadice, izolace vodičů apod.

Polyetylén (PE) velmi rozšířený termoplast, odolává celkem dobře kyselinám a rozpouštědům a teplotám do 75 °C. Je výborným vysokofrekvenčním izolátorem. Je lehčí než voda. Jeho odolnost proti povětrnosti je nízká a zvětšuje se stabilizátory, nejlépe sazemi (černá barva plastu).

Polyetylén nízké hustoty (PE-LD) je měkký ohebný i za mrazu a je velmi vhodný na nádoby, víčka, láhve ve farmaceutice a potravinářství, potrubí a hadice pro vodu, izolační

součásti radaru, televizní anténní svody, drobné předměty v domácnosti. Fólie se používají na hygienické balení potravin, pytle, sáčky, ubrusy, kryty paženíšť apod. Povlaky slouží jako antikoroziční ochrana kovových předmětů.

Polyetylén vysoké hustoty (PE-HD) je pevnější, tuhý. Hodí se na velké nádoby, kbelíky, dřezy, kanystry, kalíšky, tlaková potrubí pro pitnou vodu, odpadní potrubí, armatury, tenké folie, vlákna.

Polypropylén (PP) odolává až do teploty 90 °C. Je vhodný na potrubí a armatury pro horkou vodu, sterilizovatelné injekční stříkačky, nádoby pro dopravu láhví, potravin, nádoby baterií, vlákna pro tkané pytle.

Polystyren (PS) je tvrdý, křehký, průhledný, dobře barvitelný, odolný do 75 °C. Výborný vysokofrekvenční izolátor. Dobře se rozpouští a lepí, snadno se zpracovává. Hodí se na drobné elektroizolační součásti, skřínky, lžičky, krabičky pro kosmetické a elektrotechnické výrobky, talířky, hračky aj.

Polytetrafluoretylén (PTFE, teflon) je méně pevný, velmi houževnatý, tepelná odolnost od -250 do + 250 °C, dokonale odolný proti všem chemikáliím i silně agresivním, má vysokou kluznost a je výborným vysokofrekvenčním izolátorem. Používá se na těsnění, ucpávky a hadice pro prostředí za vysokých teplot, zejména v chemickém průmyslu v letecké a raketové technice, v kosmonautice apod.

Polyoxymethylén (POM) je pevný, velmi tuhý, vysoce krystalický, odolává teplotám dlouhodobě do 110 °C. Kyseliny jej narušují. Je to typická konstrukční hmota s dobrou rozměrovou stabilitou a otěruvzdorností. Používá se na různé strojní části, např. nemazaná ozubená kola, vačky, kluzná ložiska, kladky, ventily a kohouty, šrouby a matice.

Polykarbonát (PC) je pevná, mimořádně houževnatá, nerozbitná hmota, průhledná, odolná do 120 °C. Hodí se na nerozbitné nádoby, kryty přístrojů a domácích strojků, velkoplošné kryty lamp, CD, sterilizovatelné láhve a injekční stříkačky, nehořlavé krabice pro filmy, kryty svorkovnic.

Polyetylénteftalát (PET) má dobrou pevnost, houževnatost, odolnost proti opotřebením a je rozměrově stabilní do 100 °C. Výlisky jsou vhodné na přesné strojní součásti. Pro svoji nízkou propustnost pro CO₂ se z PET vyfukují láhve na minerální a pitnou vodu a i alkoholické nápoje.

Polymetylmetakrylát (PMMA, plexisklo) je netříštivé organické sklo s velmi dobrými optickými vlastnostmi a odolností proti povětrnosti. Snese teplotu do 75 °C. Používá se na ochranné kryty a štíty, umývadla a vany, zubařské hmoty (dentakryl). [2]

1.2 Oceli

Ocel je slitina železa s uhlíkem (do 2,11%) a doprovodnými prvky (Mn, Si, P, S, Cu), které se dostaly do oceli při výrobě. Kromě doprovodných prvků obsahují některé oceli úmyslně přidané prvky, tzv. přísadové (legovací) prvky, jako Cr, W, Mo, V, Ni aj. Pro své mechanické a technologické vlastnosti je ocel dodnes nejdůležitějším technickým materiálem.

1.2.1 Přehled ocelí

Oceli třídy 10

Jsou nejlevnější nelegované konstrukční oceli. Mají většinou malý obsah uhlíku, nemají zaručenou čistotu a chemické složení. Zaručuje se u nich jen minimální pevnost v tahu, jsou dobře svařitelné a obrobitelné. Vyrábějí se z nich konstrukční součásti a potrubí podružné jakosti, šrouby, hřebíky, nýty, výztuže do betonu, důlní a polní kolejnice aj.

Oceli třídy 11

Jsou nelegované konstrukční oceli se zaručenou čistotou, zaručeným obsahem fosforu a síry, zaručenou minimální pevností v tahu a tažností. Jsou odstupňovány podle obsahu uhlíku od nejmenší pevnosti v tahu 280 MPa do 900 MPa. S rostoucí pevností roste i jejich tvrdost a odolnost proti opotřebení, ale zároveň klesá tažnost, tvárnost a houževnatost. Hodí se pro jednodušší, méně namáhané součásti, jako např. čepy, hřídele, šrouby, menší ozubená kola aj.

Některé druhy se dají svařovat a jsou vhodné pro svařované konstrukce. Jiné jsou zvláště vhodné pro obrábění (automatové oceli).

Oceli třídy 12

Mají v porovnání s ocelmi tříd 10 a 11 lepší a vyrovnanější vlastnosti, větší čistotu a zaručené chemické složení. Do třídy 12 patří nelegované konstrukční oceli. Vyrábějí se z nich namáhané strojní součásti určené k cementování, např. ozubená kola, vačkové hřídele, klikové hřídele, ojnice, pístnice, páky, jeřábové háky, vřetena soustruhů, pružiny aj.

Oceli třídy 13

Jsou legované převážně Mn a Si. Používají se tam, kde z hlediska pevnosti nevyhovují uhlíkové oceli a oceli vyšších tříd by byly drahé. Jsou vhodné na součásti motorových vozidel, které mají odolávat opotřebení, a na velmi namáhané pružiny.

Oceli třídy 14 a 15

Jsou legovány kombinacemi různých prvků, většinou je mezi nimi Cr. Jsou to velmi jakostní oceli pro vysoce namáhané součásti. Mají velmi dobré mechanické vlastnosti i za vyšších teplot a zvýšenou odolnost proti korozi. Jsou vhodné na značně namáhané součásti motorových vozidel (klikové hřídele, ojnice, čepy, nápravy), parních turbín, na tlakové nádoby, ozubená kola apod. Některé oceli třídy 14 jsou určeny k cementování.

Oceli třídy 16

Jsou legovány kombinacemi Ni s dalšími prvky. Mají vysokou mez pevnosti a velkou houževnatost. Jsou určeny pro nejnamáhanější součásti. Některé jsou určeny k cementování.

Oceli třídy 17

Jsou speciální korozivzdorné oceli na nerezavějící nože, chirurgické nástroje, měřidla, kalibry apod. a oceli na trvalé magnety. Obsah legovacích prvků je větší než 10%.

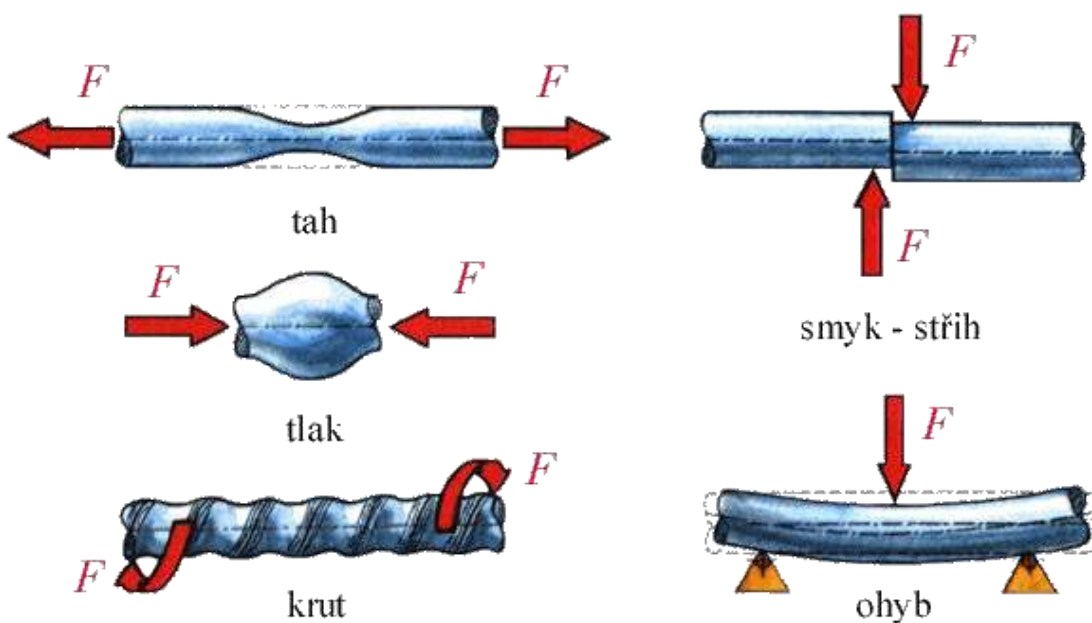
Oceli třídy 19

Používají se na výrobu nástrojů k obrábění a tváření, jako jsou např. vrtáky, frézy, soustružnické nože, sekáče, kovářské nářadí, pilníky apod. Dělí se na nelegované a legované. Zvláštním druhem legovaných ocelí jsou oceli rychlořezné. Nástrojové oceli mají zejména velkou pevnost, tvrdost, houževnatost a odolnost proti opotřebení. Vhodným tepelným zpracováním se hodnoty těchto vlastností ještě zvyšují. [3]

2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ A JEJICH ZKOUŠENÍ

Materiály jsou při zpracování i při používání vystaveny různému namáhání, jako je tah, tlak, krut, stříh a ohyb (obr. 5.). Tato jednotlivá namáhání obvykle nepůsobí samostatně (jednotlivě), ale v různých kombinacích. Materiál je tedy vystaven složenému namáhání. Například materiál je namáhán současně tahem, ohybem i krutem.

Aby materiál mohl odolávat těmto namáháním, musí mít určité vlastnosti, jako pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost aj.[2]



Obr. 5. Základní druhy namáhání materiálu

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

1. **Statické zkoušky** - při těchto zkouškách je materiál namáhán pomalu se měnícími silami. Síla se zvyšuje rovnoměrně pomalu, obvykle do okamžiku zničení tělíska.
2. **Dynamické zkoušky** - působení 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.
3. **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.

2.1 Zkouška ohybem

Ohybová zkouška je velmi důležitá k charakterizaci polymerů z hlediska praktické použitelnosti. Touto zkouškou můžeme dělit polymery na křehké (lámavé) a houževnaté. Křehké materiály při určitém napětí prasknou, houževnaté materiály se při zkoušce stále deformují, až (podle způsobu uspořádání zkoušky) vyklouznou z podpěr přístroje.

Vlastní uspořádání zkoušky může být různé. Nejběžnější způsob je ten, že zkušební vzorek je umístěn na dvou podpěrách a uprostřed se vzorek zatěžuje silou. Během zkoušky se horní strana zkušební tyče zkracuje, zatímco dolní část se prodlužuje.

Zkušební tělísko je asi do poloviny namáháno tlakem, v polovině je nulová nebo také neutrální vrstva, v dolní polovině je tahové namáhání (obr). Tahové a tlakové mají opačný směr. Průběh napětí se mění z přímkové závislosti na křivku.

Při vlastní zkoušce musí být zachovány přesné podmínky. Pro ilustraci jsou uvedeny podmínky z ČSN EN ISO 178 (64 0607). [4]

Šířku tělíska je nutno měřit s přesností do 0,1 mm, tloušťku s přesností 0,01 mm od jeho středu. Rozpětí podpěr L se nastaví tak, aby vyhovovalo následujícímu vztahu:

$$L=(16\pm 1)h \quad (5)$$

Napětí v ohybu σ_f - jmenovité napětí vnějšího povrchu zkušební tělesa uprostřed rozpětí podpěr, vyjádřené v megapascalch, počítá se dle vztahu:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (6)$$

kde F je zatěžující síla v newtonech, L rozpětí podpěr v milimetrech, b šířka zkušební tělesa v milimetrech, h tloušťka zkušební tělesa v milimetrech.

Modul pružnosti v ohybu E_f - pro stanovení modulu pružnosti v ohybu se vypočítají průhyby s_1 a s_2 odpovídající daným hodnotám deformace ohybem $\varepsilon_{f1} = 0,0005$ a $\varepsilon_{f2} = 0,0025$ dle rovnice:

$$s_i = \frac{\varepsilon_{fi} L^2}{6h} \quad (7)$$

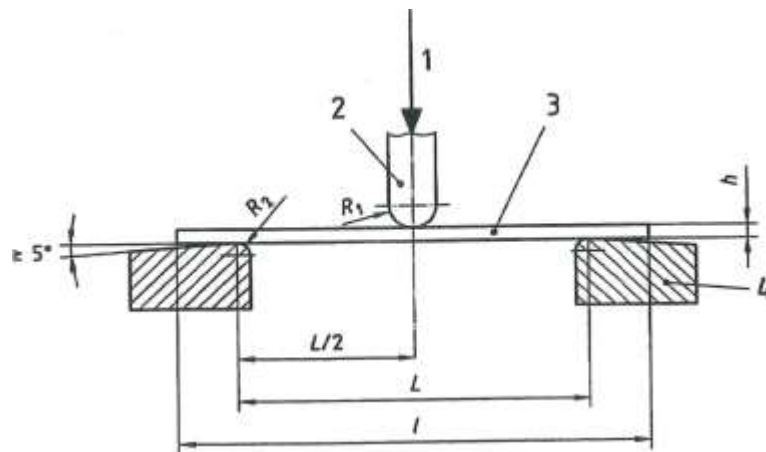
kde s_i je jednotlivá hodnota průhybu v milimetrech, ε_{fi} odpovídající deformace ohybem, L rozpětí podpěr v milimetrech, h tloušťka zkušební tělesa v milimetrech

Modul v ohybu vyjádřený v megapascalch se vypočítá dle rovnice:

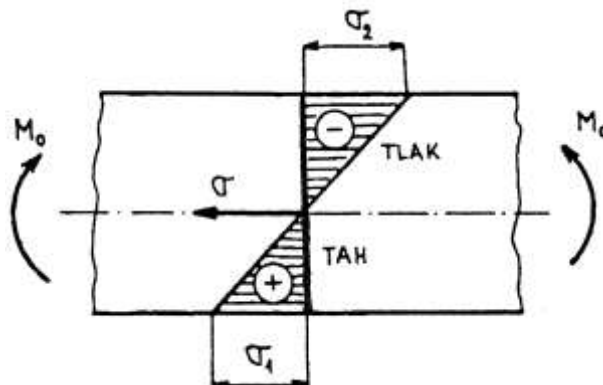
$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (8)$$

kde σ_{f1} je napětí v ohybu, vyjádřené v megapascalch, stanovené pro průhyb s_1 , σ_{f2} je napětí v ohybu, vyjádřené v megapascalch, stanovené pro průhyb s_2 .

Zkoušce na dvou podpěrách se také říká třibodové uspořádání (obr.6). Někdy se také pracuje v tzv. čtyřbodovém uspořádání, kdy zkušební těleso se zatěžuje dvojicí tlačných trnů a průhyb tělesa je odečítán v půlícím bodě vzdálenosti mezi oběma opěrami.



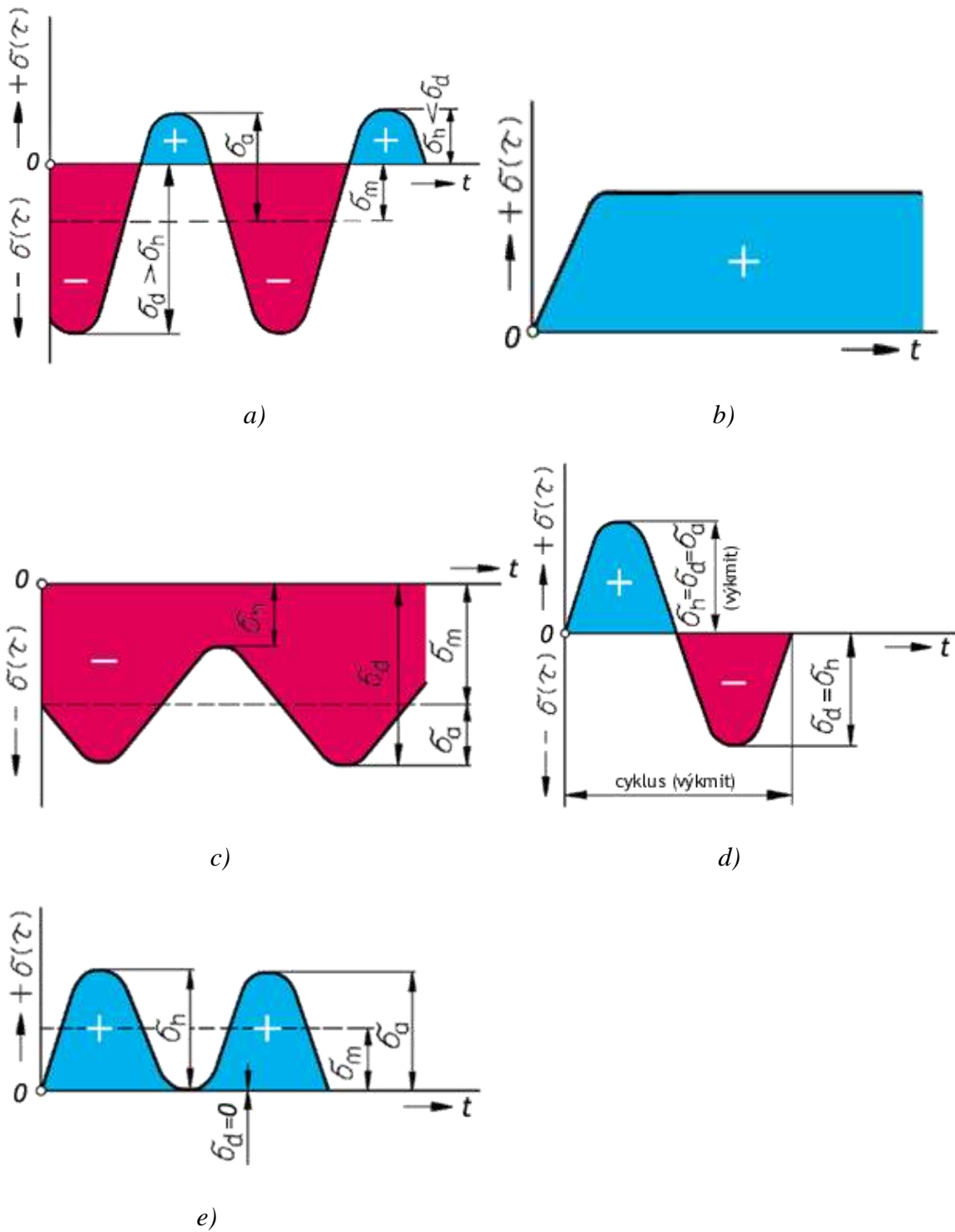
Obr. 6. Poloha tělesa na začátku zkoušky
1. použitá síla F 2. zatěžovací trn
3. zkušební těleso 4. podpora



Obr. 7. Průběh napětí uvnitř vzorku

2.2 Dynamické namáhání

V praxi jsou většinou strojní součásti namáhány zatížením, jehož velikost a smysl se prudce, popřípadě opakovaně mění. Potřebné údaje o chování takto namáhaného materiálu nemůžeme zjistit statickými zkouškami, ale zkouškami dynamickými.



Obr. 8. Základní způsoby namáhání - průběhy napětí
 a) Napětí cyklické – nesouměrné b) Napětí klidné – statické
 c) Napětí pulsující (tepavé) d) Napětí cyklické – souměrné
 e) Napětí cyklické – mívivé

$$\sigma_m = \frac{\sigma_h + \sigma_d}{2} \quad (9)$$

Při tomto namáhání dochází často k náhlému porušení součásti, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu.[2]

2.2.1 Zkoušky únavy

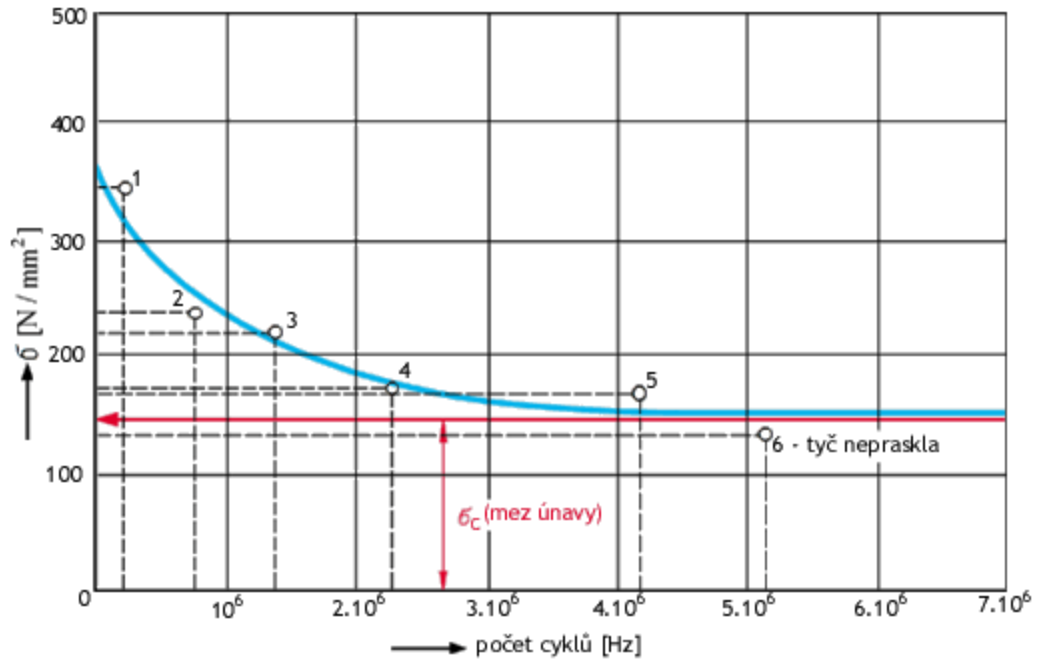
a) Kovy

Tyto zkoušky dávají opět jiný obraz o chování kovů. Při namáhání součásti vznikají často poruchy dříve (tj. i při značně nižším napětí), než odpovídá jeho statické pevnosti. Tomuto jevu říkáme únava materiálu. Při zkoumání se ukázalo, že nebezpečí lomu z únavy je jen při překročení určité hranice, tzv. meze únavy.

Při zjišťování meze únavy je součást namáhána napětím cyklickým, tj. napětím měnícím se periodicky od horní (σ_h, τ_h) hodnoty po hodnotu dolní (σ_d, τ_d , obr. 15). Zatěžovací cyklus (perioda) je průběh napětí za jednu dobu kmitu. Doba kmitu je nejmenší časový úsek, za který se opakuje týž průběh namáhání.

Mez únavy zjišťujeme na speciálních zkušebních strojích. Pro střídavé napětí souměrné a nesouměrné stanovíme mez v kombinaci tah - tlak (σ_C), v ohybu (σ_{C0}) a v krutu (τ_C). Při napětí pulsujícím a mívjívém určujeme mez únavy v tahu, tlaku, ohybu a krutu.

Pro tyto zkoušky se používá několika stejných zkušebních tyčí ze zkoušeného materiálu a zatěžují se jedním z uvedených způsobů. U první volíme napětí něco málo pod mezí kluzu a po porušení tyče se odečte příslušný počet cyklů změn zatížení. Vynesením použité velikosti napětí σ na svislou osu a počtu cyklů na vodorovnou osu se získá bod 1 (obr. 9). U dalších tyčí volíme stále nižší napětí, takže se dosáhne většího počtu cyklů před porušením - bod 2 až 5. Tak se postupuje i u ostatních tyčí a získají se další body. Těmito body se proloží křivka (tzv. Wöhlerova křivka) udávající závislost mezi napětím a počtem cyklů. Tato křivka se po určitém počtu cyklů blíží asymptoticky napětí, které je mezí únavy σ_C . Proto si k Wöhlerově křivce zakreslíme asymptotu jako rovnoběžku s vodorovnou osou a tato rovnoběžka na ose napětí určuje mez únavy. Mez únavy σ_C (MPa) definujeme jako největší napětí, při kterém součást zhotovená z tohoto materiálu vydrží teoreticky neomezený počet cyklů změn zatížení. [2]

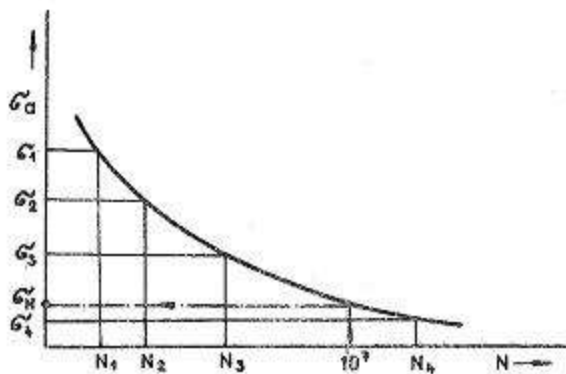


Obr. 9. Konstrukce Wöhlerovy křivky - zjišťování meze únavy

b) Plasty

Plasty se zkoušejí na únavu materiálu podobně jako kovy. Na rozdíl od kovů mají plasty velkou schopnost tlumit rázy a kmitání, čímž se mechanická energie pohlcuje, mění se v teplo a plastová tyčka se zahřívá. To má za následek pokles pevnosti zkoušeného materiálu. Wöhlerovy křivky plastů nepřecházejí do vodorovného průběhu jako u kovů, ale stále klesají. Meze únavy se proto nedosáhne a uvádí se pouze časová mez únavy pro určitý počet cyklů, viz Obr. 10. [2]

Mez časové únavy σ_N je největší výkmit (amplituda) napětí kmitající kolem středního napětí σ_m , které snese zkušební těleso pro požadovaný počet zatěžovacích cyklů (N). Protože nelze u polymerních materiálů určit mez únavy tak jednoznačně jako u kovů, proto se u polymerů provádí stanovení pro předem daný počet cyklů, obvykle $1 \cdot 10^7$ cyklů. Graficky odečtené napětí pro 10^7 je mez časové únavy.



Obr. 10. Wöhlerova únavová křivka pro plasty

2.2.2 Lomové plochy

Je-li materiál v provozu vystaven dlouhodobému proměnnému namáhání, dochází k jeho poruše již při značně menším napětí, než odpovídá jeho statické pevnosti. Charakter lomu je značně odlišný od lomu při statickém namáhání a je skoro vždy bez patrných trvalých deformací. Tento jev se označuje jako únava materiálu. Většina strojních součástí je namáhána tímto způsobem a k jejich poruchám dochází často únavou materiálu.










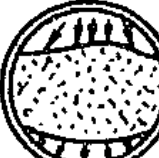


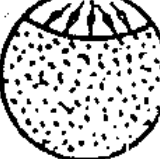



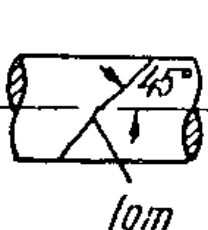
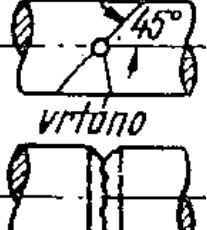
Její mechanismus je vysvětlován takto: Při cyklickém namáhání nastává pohyb dislokací a dochází ke změnám, jejichž výsledkem je vznik vakancí, nových dislokací a napětových polí. Při namáhání nad mezí únavy vytvářejí vakance, které byly již v kovu, a vakance vzniklé protínáním pohybujících se dislokací shluky (koagulace vakancí), což posléze vede ke vzniku mikroskopických pórů a mikrotrhlin.

Při dalším namáhání, popřípadě zvýšením napětí se může trhlinka, v jejímž ostrém kořeni dochází k vysoké koncentraci napětí, dále rozšiřovat a vede k zárodku únavového lomu. Lom se postupně zvětšuje, až je průřez natolik zeslaben, že již nestačí namáhání přenášet a dochází k náhlé poruše celé zbývající části. Lom má tedy dvě zcela odlišné oblasti a to únavový lom a statický lom.

Únavový lom bývá poměrně hladký, s viditelnými pásmy postupu.

Statický lom – zbylá část průřezu, která bývá podle druhu materiálu a způsobu dolomení buď jemnozrnná, nebo hrubozrnná, často vykazuje určitou houževnatost. Únavový lom může vzniknout opakovaným namáháním v tahu, tlaku, ohybu, krutu, popřípadě jejich kombinací. Vzhled a průběh únavového lomu závisí na způsobu namáhání, na intenzitě vrubového účinku v místě východiska lomu, na velikosti působících sil a na dalších méně výrazných činitelích. [8]

Tab. 2. Vliv nejdůležitějších činitelů

Druh zatížení	Normální zatížení		Přetížení	
	Hladký povrch	vrub	Hladký povrch	vrub
Tah				
Jednoduchý ohyb				
Oboustranný ohyb				
Ohyb za rotace				
Krut			Jako při normálním zatížení	

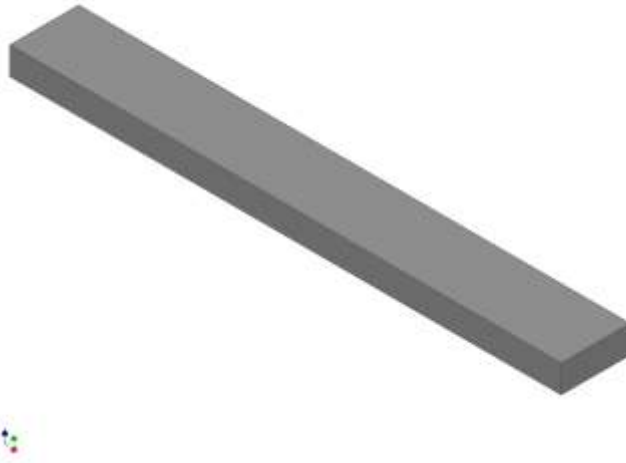
2.3 Příprava zkušebních těles

Výsledky mechanických zkoušek jsou závislé nejen na vlastnostech polymeru, tj. chemickém složení, molekulové hmotnosti a její distribuci, krystalinik, obsahu nečistot apod., ale ve značné míře i na režimu zpracování a způsobu přípravy zkušebních těles. [4]

Zkušební tělesa se připravují dvojitým způsobem:

1. Přímou ze zkušebních materiálů jejich vulkanizací, lisováním, vstřikováním, či vytvrzováním v příslušných formách s tvarem zkušebního tělesa nebo vzorku, z kterého se dále vysekává zkušební těleso.

2. Zkušební tělesa se připravují z hotových výrobků nebo polotovarů vysekáváním, vyřezáváním nebo obráběním. [6]



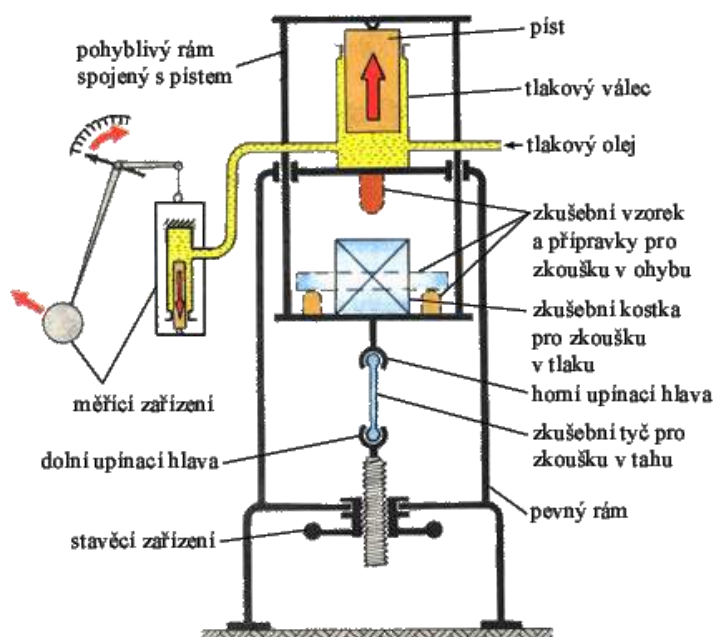
Obr. 11. Přednostní typ zkušebního tělesa
 délka $l=80\pm 2$, šířka $b=10\pm 0,2$
 tloušťka $h=4\pm 0,2$

Tab. 3. Hodnoty šířky b ve vztahu k tloušťce h (rozměry v mm)

Nominální tloušťka	Šířka $b\pm 0,5$
	Vstřikovací, lisovací a vytlačovací plasty, termo- a reaktoplastové desky
$1 < h \leq 3$	25
$3 < h \leq 5$	10
$5 < h \leq 10$	15
$10 < h \leq 20$	20
$20 < h \leq 35$	35
$35 < h \leq 50$	50

3 STROJE PRO MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Zkušební stroje jsou buď jednoúčelové (pro jeden druh zkoušek), nebo univerzální (pomocí vhodných přípravků lze provádět různé druhy zkoušek). Na obrázku 3 je schéma univerzálního zkušebního stroje. Skládá se z rámu, upínacího ústrojí, zatěžovacího ústrojí, z měřicího a registračního (na obr. není zakresleno) 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. 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 připraveným 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 stupnici měřicího zařízení zatížení v jednotkách síly, tj. v N. [2]



Obr. 12. Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušku tahem, tlakem a ohybem

3.1 Zwick 145 665

V laboratořích UTB máme k dispozici zkušební stroj Zwick 145 665 pro který navrhují čelisti pro zkoušky nízkocyklické únavy. Je určen pro statické i cyklické zatěžování, technické údaje jsou uvedeny v praktické části.



Obr. 13. Zkušební stroj Zwick 145 665

4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Materiály a z nich vyrobené předměty jsou po celou dobu jejich životnosti vystaveny působení prostředí a funkčnímu namáhání, přičemž požadujeme stálost jejich původních vlastností i vzhledu. Snížení životnosti a spolehlivosti je často způsobováno znehodnocením povrchu materiálů, a to především korozními účinky a opotřebením. Vzhledem k tomu, že poškození strojních součástí se šíří z povrchu nebo podpovrchových oblastí, je třeba hledat způsoby zpracování povrchu a povrchové úpravy, které by vedly ke zlepšení vlastností povrchu.

Podstatou povrchových úprav je získání určitých požadovaných vlastností a stavu povrchu materiálů potřebných pro jejich optimální a dlouhodobou funkci. K nejčastěji požadovaným vlastnostem povrchu patří ořeruvzdornost, tvrdost, žáruvzdornost, změna elektrické vodivosti, ale i vzhledové vlastnosti a především korozivzdornost. Povrchové úpravy jsou jedním ze základních způsobů protikorozní ochrany materiálů a ochrana proti korozi patří k nejdůležitějším úkolům povrchových úprav. [7]

4.1 Kovové povlaky a vrstvy

Zakotvení kovových povlaků a vrstev v základním upravovaném materiálu je dáno způsoby a vazbami fyzikálními, chemickými či mechanickými. Ochranná funkce kovových povlaků a vrstev spočívá v antikoročním legování, katodické ochraně a bariérové ochraně povrchu. Kovové povlaky a vrstvy patří ke způsobům povrchových úprav s aplikacemi především ve strojírenství. [7]

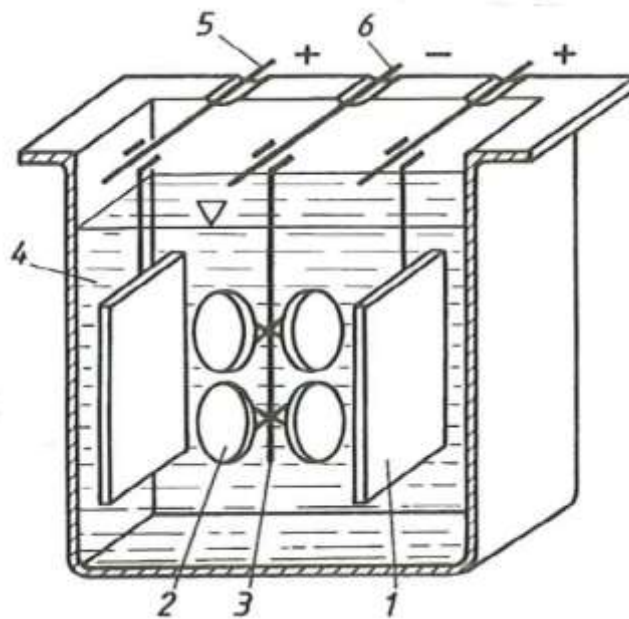
4.1.1 Elektrolytické pokovení

Cílem elektrolytického (galvanického) pokovení je vylučování kovových povlaků převážně na kovových materiálech. Dochází tak k zlepšení vzhledových vlastností, vytváří se ochranný protikorozní povlak, popřípadě povlaky samy nesou funkční vlastnosti výrobků.

Z galvanických procesů je nejrozšířenější zinkování. Pokovit lze prakticky všechny běžné konstrukční materiály.

Vylučování kovů je založeno na elektrolýze vodných roztoků kovových solí. Probíhá při působení stejnosměrného elektrického napětí na roztoky prostřednictvím dvou elektrod. Na záporné elektrodě – katodě, kterou v praxi pokované předměty, dochází k redukci kationtů a jejich zakotvení na kovovém povrchu. Na anodě dochází k oxidaci atomů na kation-

ty, kterými se během procesu doplňuje úbytek kovu z lázně. Galvanická lázeň představuje vyvážený celek a pracuje pouze v určitém rozmezí teplot, pH, chemického složení a dalších parametrů. Kvantitativně se proces řídí zákony Faradayovými. Volba technologického postupu závisí na druhu zboží, druhu lázně, stavu povrchu předmětů a technologickém vybavení galvanovny. Vlastnímu pokovení předchází dokonalá, předběžná úprava povrchu, neboť přestup kovového iontu z roztoku na povrch katody a jeho začlenění do krystalové mřížky vyžaduje dokonalý styk fází. Důležitý je též způsob zavěšení předmětů v elektrolytu a rozložení proudokřivek vzhledem ke tvaru součástí, neboť se tím dají částečně zlepšit omezené možnosti galvanického pokovení vnitřních (stíněných) ploch. Předměty se pokovují ve vanách, a to na závěsech nebo i v bubnech, nejčastěji na dopravnících v technologickém sledu operací. Technologie galvanického pokovení patří především ve strojírenských závodech k velmi důležitým a nejčastějším způsobům pokovení s velikou řadou aplikací. [7]



Obr. 14. Elektrolytické (galvanické) pokovování
1 – povlakový kov (anoda), 2 – součásti (katoda)
3 – závěs pro součásti, 4 – elektrolyt,
5 – anodová tyč, 6 – katodová tyč

STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

U zkušebního stroje byly k dispozici klínové čelisti pro tahovou zkoušku a čelisti pro zkoušku ohybovou, které neumožňují provádět cyklické zkoušky střídavým tahem a ohybem. Proto je cílem této bakalářské práce navrhnout zkušební přípravek pro nízkocyklické zkoušky střídavým ohybem. Navržené čelisti umožní širší použití univerzálního zkušebního stroje. Navržené čelisti upneme do zkušebního stroje a provedeme ověření funkčnosti.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

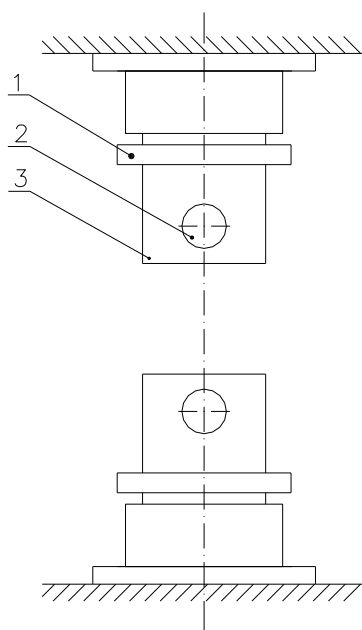
2.1 Technické údaje zkušebního stroje Zwick

Na zkušebním stroji Zwick 145 665 se provádí testování tahem, tlakem a ohybem různých materiálů (plastů, kompozitů, laminátů, textilií, pěnových materiálů, lepenek, papírů aj.)

Technické údaje stroje

Maximální zkušební síla :	20 kN
Celková výška :	2012 mm
Celková šířka :	630 mm
Strojová výška :	1284 mm
Šířka pracovního prostoru :	420 mm
Hmotnost :	150 kg

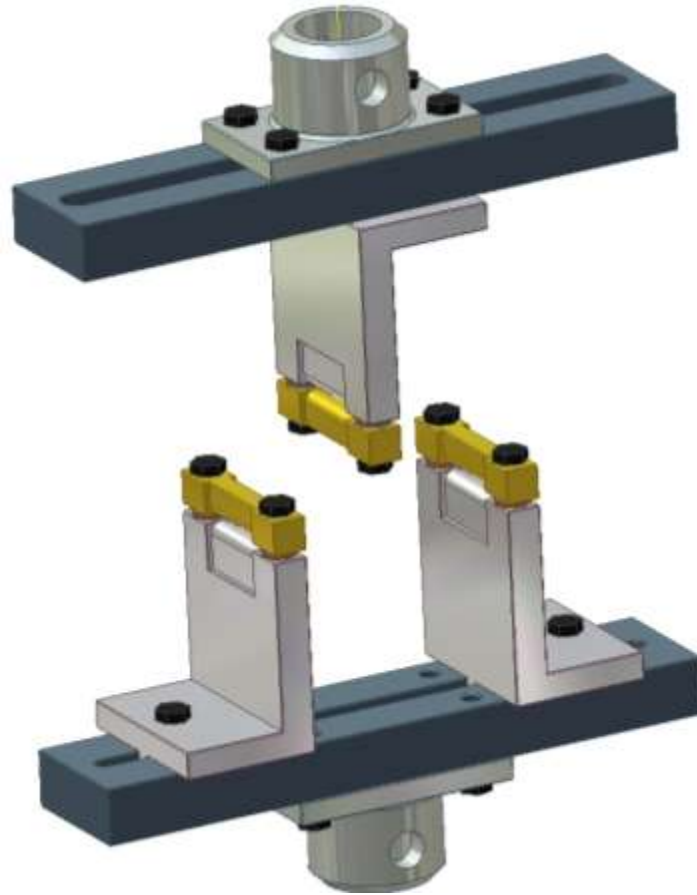
Upínací zařízení stroje



Obr. 15. Upínací zařízení stroje

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

2.2 Návrh upínacích čelistí



Obr. 16. 3D schéma čelistí

Princip funkce

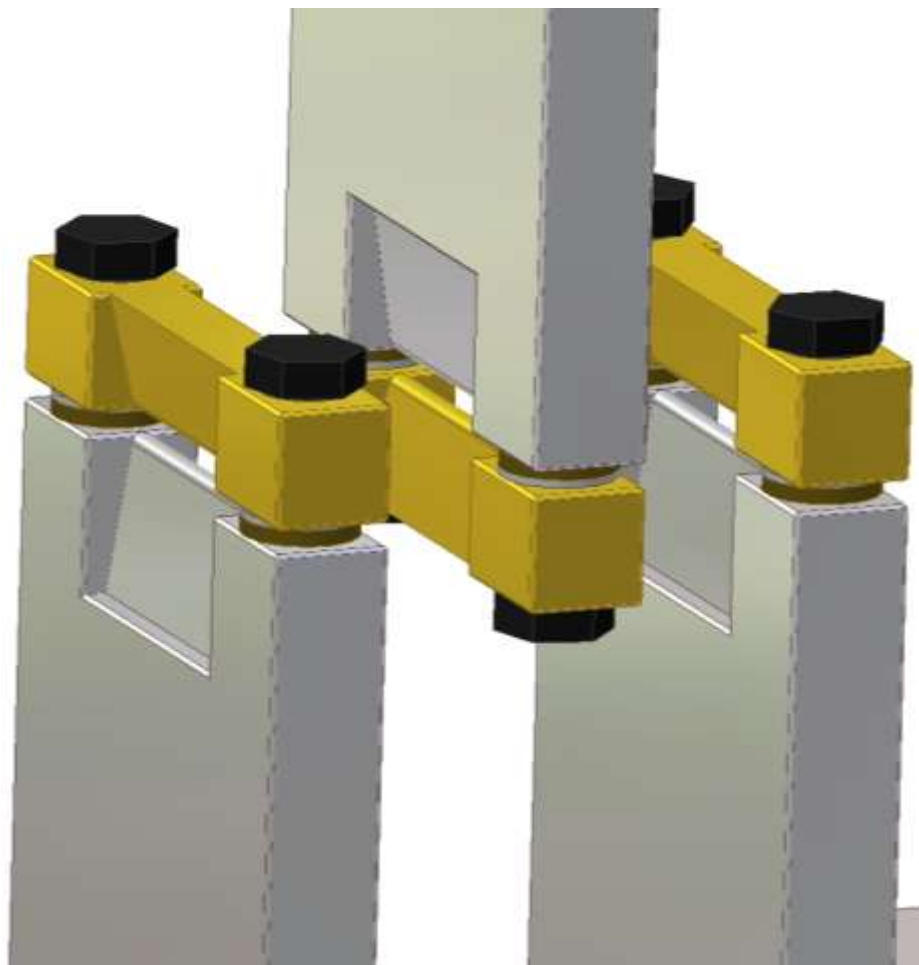
Zkušební vzorek upneme mezi čelisti do zkušebního stroje. Souměrně cyklicky vzorek zatěžujeme, se vzrůstajícím počtem cyklů se začnou objevovat trhliny až nakonec dojde k úplnému porušení vzorku, čímž se zkouška ukončí. Čelisti uvedeme do začáteční polohy a můžeme vložit nový vzorek.

příslušícím šířce zkoušeného vzorku. Zajišťovací trny jsou šrouby (4) připojeny k podpěrám. K nosníkům jsou přišroubovány (2) příruby (1), které jsou upnuty pomocí pojistných kolíků ke spojovacím čepům zkušebního stroje.

Sestava čelistí a výrobní výkresy jednotlivých částí jsou uvedeny v příloze bakalářské práce.

2.2.1 Varianta podpěr a zajišťovacích trnů B

Při větších zatíženích by mohlo dojít k zapření vzorku mezi podpěrami a zajišťovacími trny během zkoušky a proto byla navržena varianta B.



Obr. 18. Varianta podpěr a zajišťovacích trnů B

Výrobní výkresy podpěr a zajišťovacích trnů B jsou uvedeny v příloze bakalářské práce.

2.3 Ověření funkčnosti

Pro ověření funkčnosti čelistí byly použity vzorky Polymethylmethakrylátu (PMMA) vyrobené vstřikováním v dílnách UTB, které mají požadované rozměry. Některé vlastnosti PMMA jsou uvedeny níže.

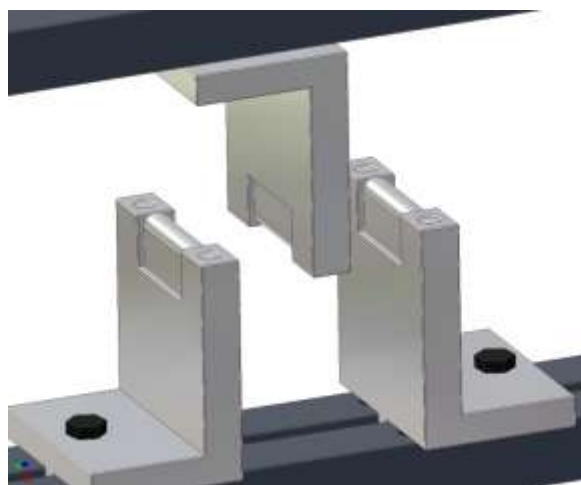
- Hustota [g/cm ³]	1,18
- Modul pružnosti v tahu [MPa]	3000
- Pevnosti v tahu [MPa]	73
- Tažnost [%]	3,5



Obr. 19. Zkušební vzorky

a) Ohybová zkouška

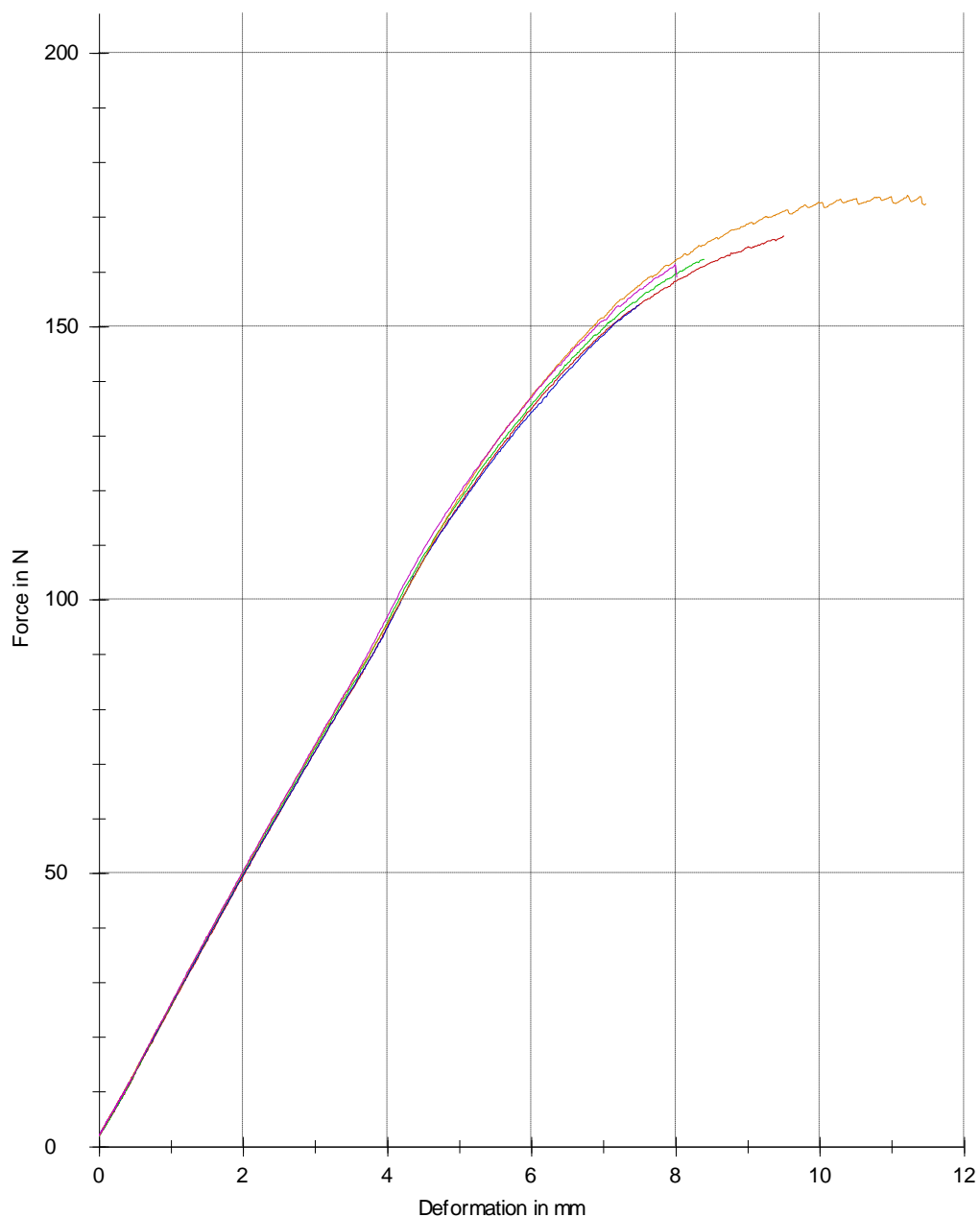
Jako první provedeme ohybovou zkoušku, pomocí které zjistíme meze pevnosti v ohybu a maximální zatěžovací síly, pomocí kterých budeme volit zatěžovací síly pro cyklické zkoušky. Čelisti bez zajišťovacích trnů nám posloužily pro statickou ohybovou zkoušku.



Obr. 20. Čelisti bez zajišťovacích trnů

Zkušební těleso se umístí symetricky na obě podpěry. Zatěžujeme uprostřed plynule rostoucí silou konstantní rychlostí tak dlouho, dokud se těleso nezlomí. Rychlost zkoušky je 20 mm/min.

Grafické vyhodnocení ohybových zkoušek



Obr. 21. Grafické vyhodnocení ohybových zkoušek

Měřením byly zjištěny hodnoty, které jsou pro jednotlivé vzorky uvedeny v tabulce 4. s nejdůležitějšími parametry. Zároveň byly pro jednotlivé vzorky vypracovány diagramy ohybových zkoušek, které jsou uvedeny v příloze bakalářské práce.

Tab. 4. Naměřené hodnoty ohybových zkoušek

č. m.	E_f [MPa]	σ_{fc} [MPa]	F_{max} [N]	σ_{fM} [MPa]	ϵ_{fM} [%]	ϵ_{fB} [%]	WF_{max} [Nmm]	W_{Break} [Nmm]
1.	2580	91,6	167	105	5,3	5,3	971,01	971,01
2.	2610	91,4	162	102	4,6	4,6	790,87	794,17
3.	2640	86,6	154	97,3	4,1	4,2	644,56	646,11
4.	2670	90,6	174	110	6,2	6,4	1283,74	1327,58
5.	2590	94,3	161	102	4,4	4,4	736,70	740,45
\bar{x}	2620	90,9	164	103	4,9	5,0	885,38	895,86

b) cyklická zkouška

Po vyhodnocení ohybových zkoušek a zjištění maximálních zatěžovacích sil můžeme přistoupit ke zkouškám cyklickým. Kvůli časové náročnosti zkoušky jsme provedli tři měření. Při volbě velikostí výkmitů jednotlivých cyklů jsme vycházeli z průměrné maximální síly $F_{max}=164N$ a volili síly v menších zatěžných hladinách dle tabulky 5.

Tab. 5. Volba zatěžujících sil

	Maximální síla $F_{max}=164 N$	100 %
1.	146 N	89 %
2.	141 N	86 %
3.	136 N	83 %

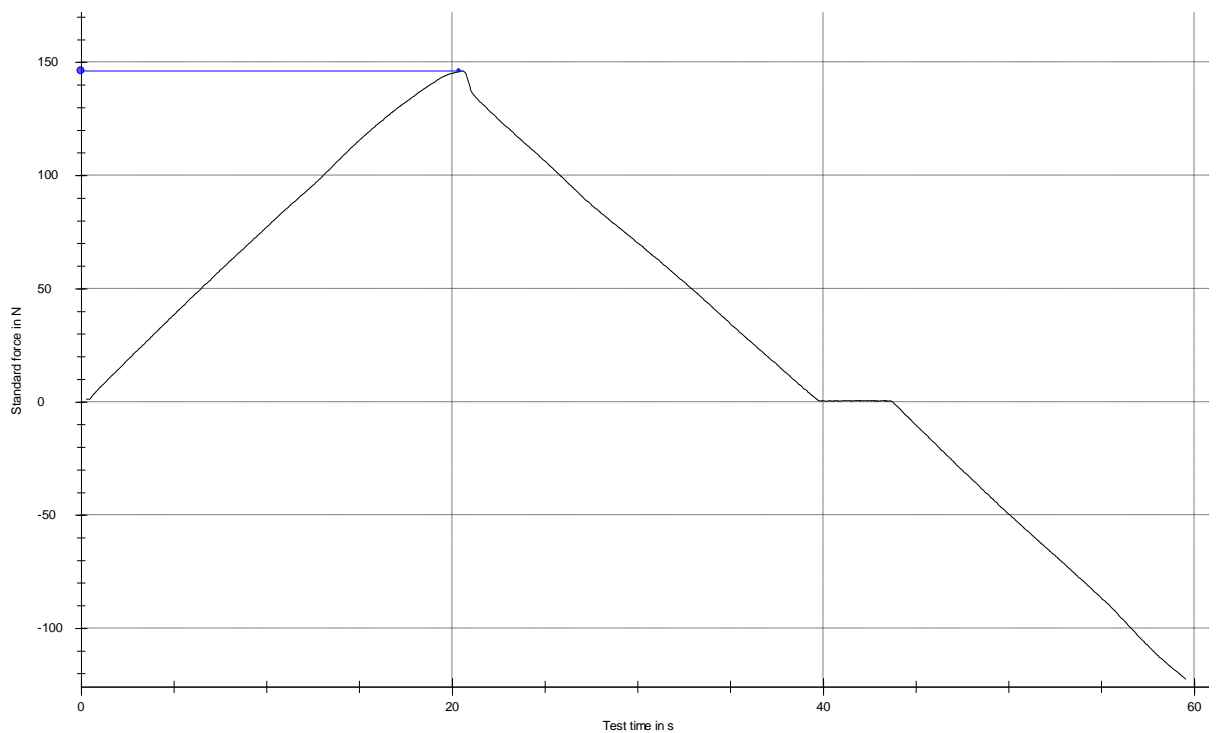
Vzorek byl zajištěn proti posunutí zajišťovacím trnem a počtem podložek odpovídající tloušťce zkušební tělíska. Vzorek jsme s minimální vůlí upnuly do podpěr a mohli nechat cyklicky zatěžovat dokud vzorek nepraskl.



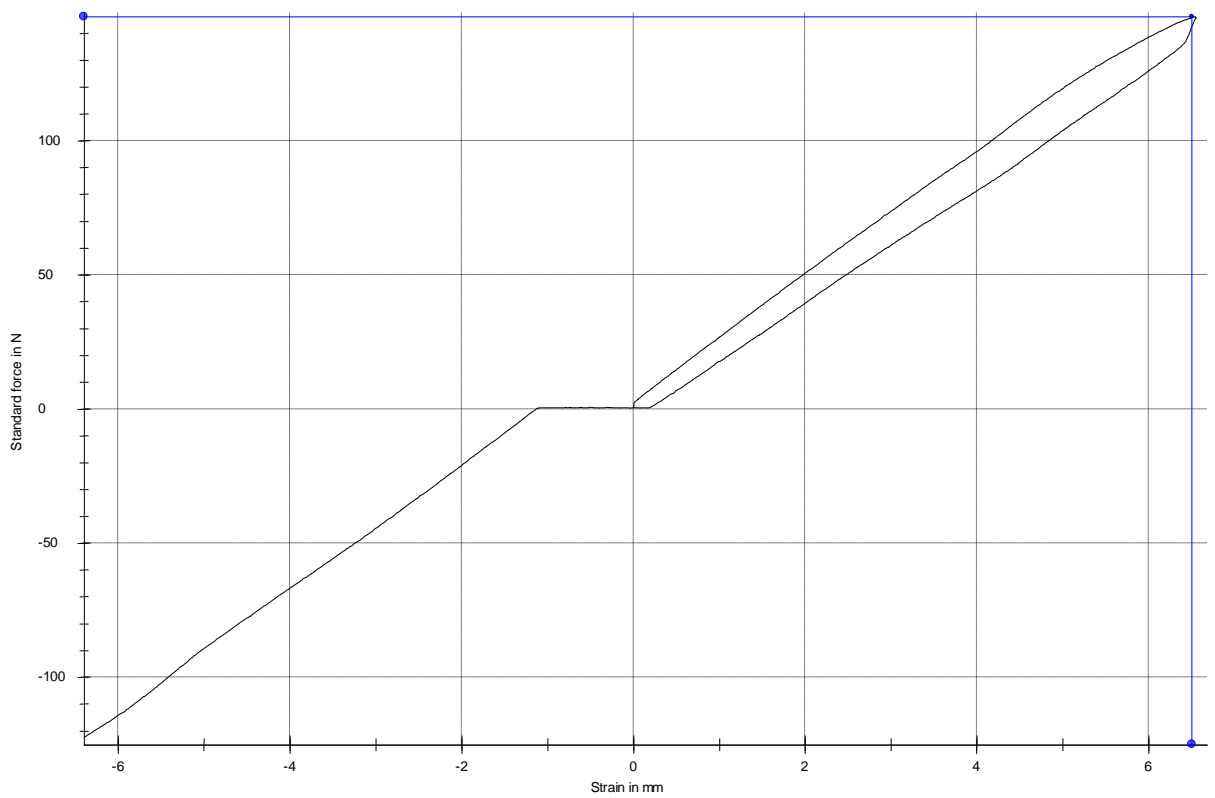
Obr. 22. Průběh cyklické zkoušky

Grafické vyhodnocení cyklických zkoušek

Vzorek č. 1. - $F=146\text{N}$

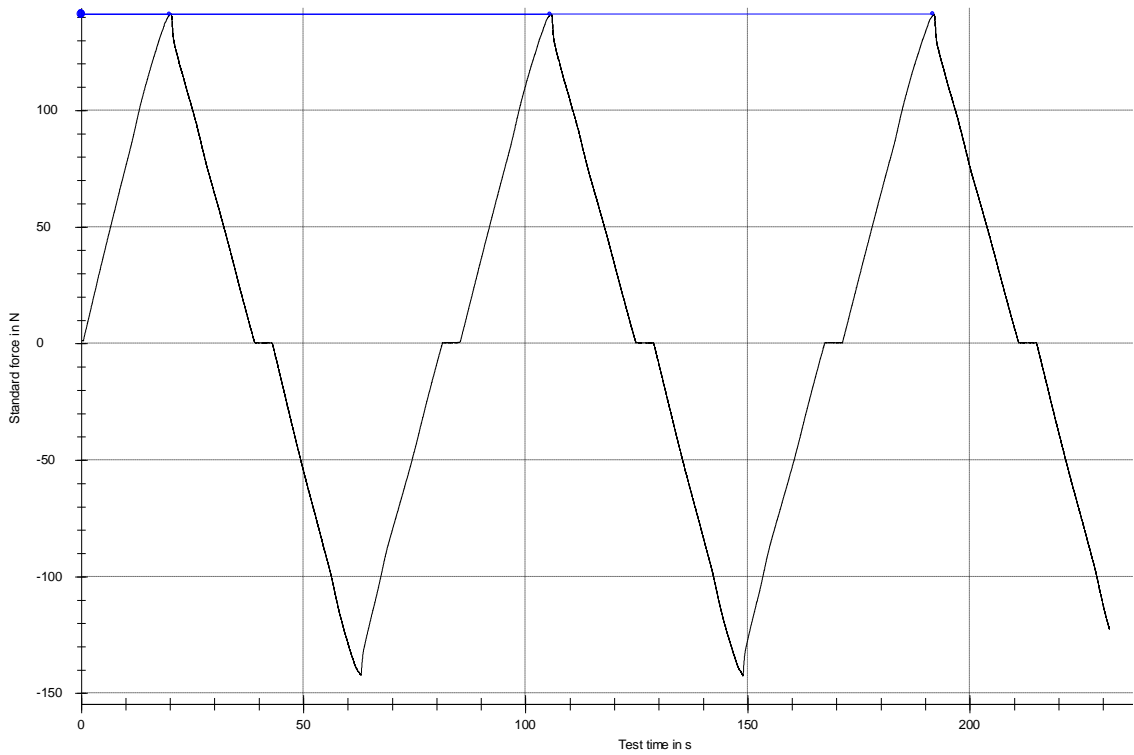


Obr. 23. Grafické vyhodnocení vzorku č. 1

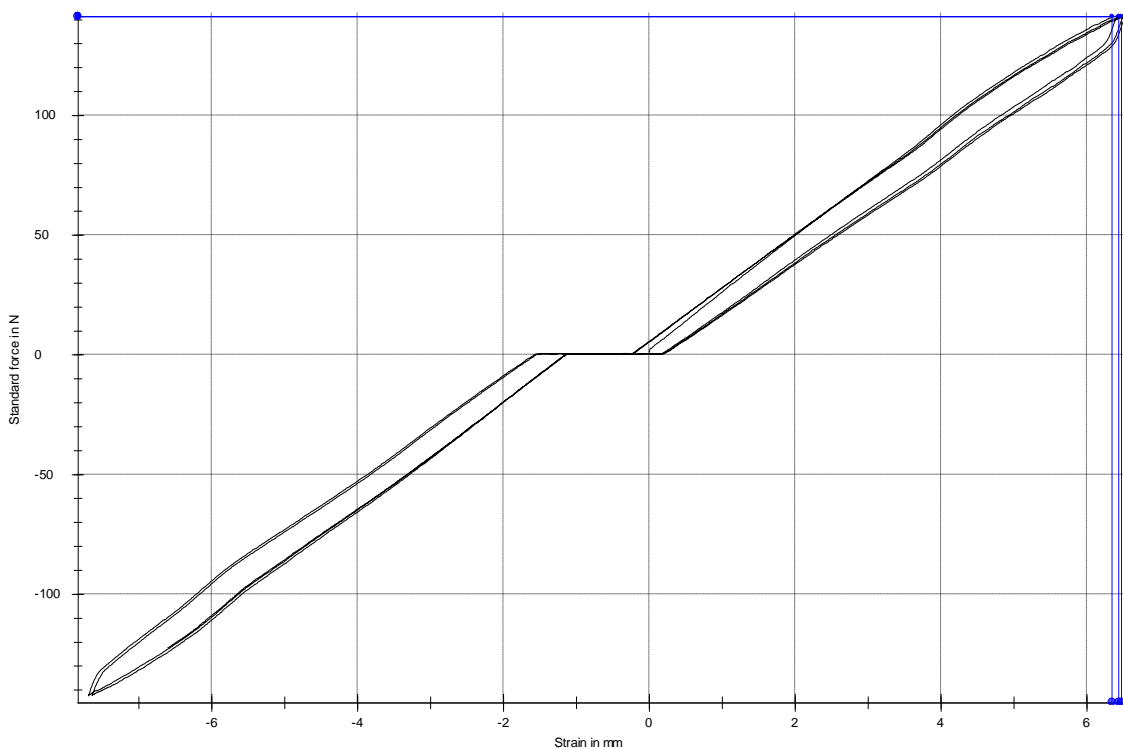


Obr. 24. Grafické vyhodnocení vzorku č. 1

Vzorek č. 2. - F=141N

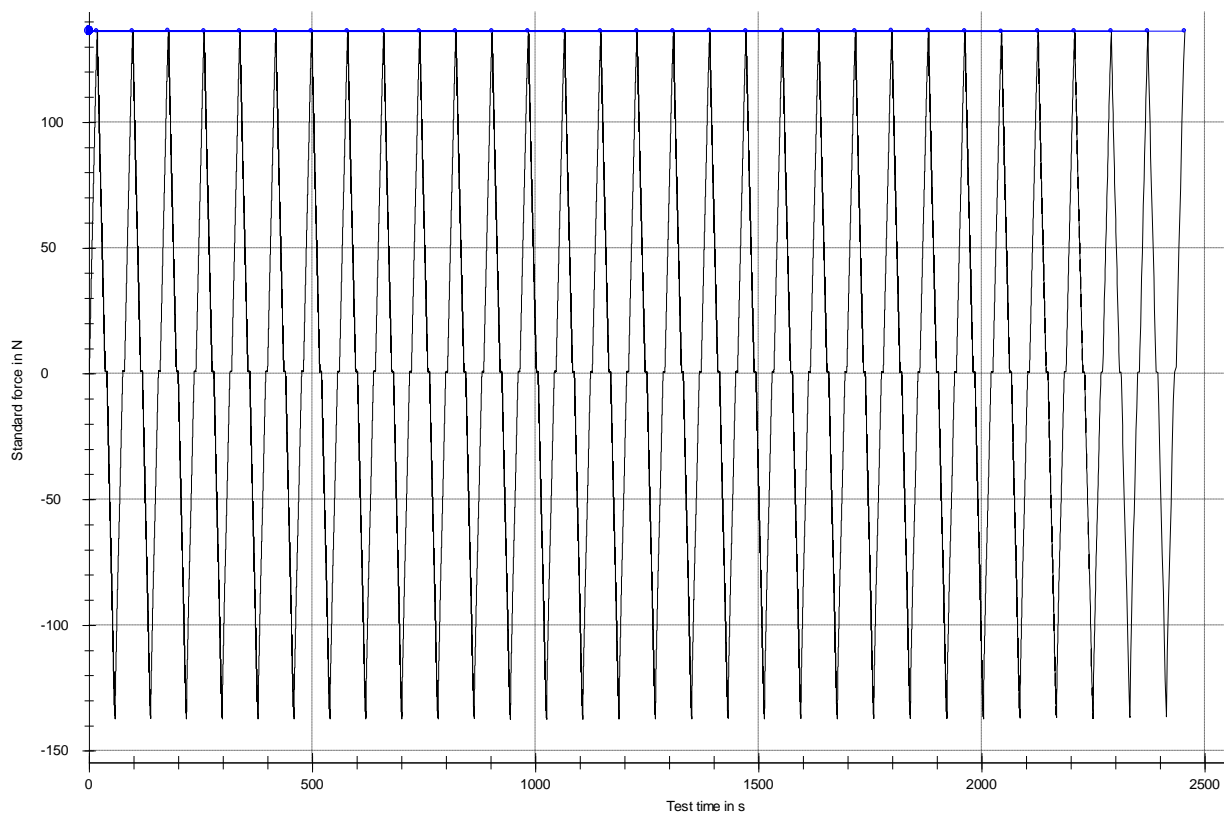


Obr. 25. Grafické vyhodnocení vzorku č. 2

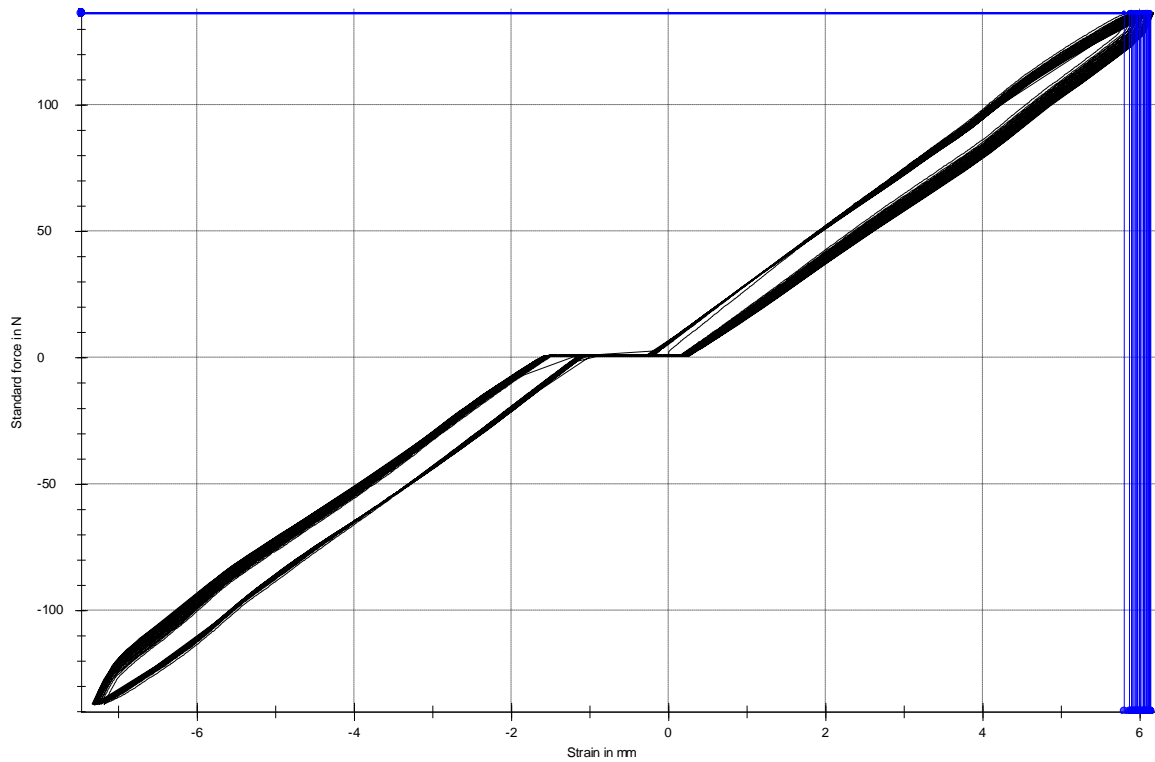


Obr. 26. Grafické vyhodnocení vzorku č. 2

Vzorek č. 3. - F=136N



Obr. 27. Grafické vyhodnocení vzorku č. 3

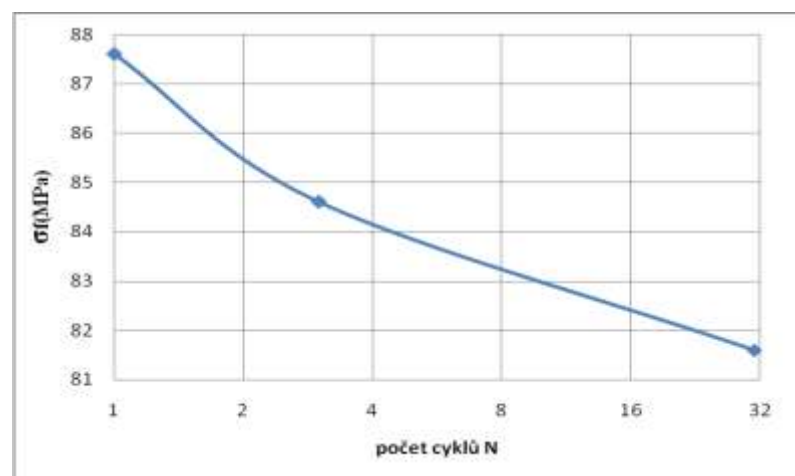


Obr. 28. Grafické vyhodnocení vzorku č. 3

Celkové shrnutí cyklických zkoušek je v tabulce 6. Zvětšující se průhyb u poslední zkoušky je způsoben creepem.

Tab. 6. Shrnutí cyklických zkoušek

vzorek	Počet cyklů N	F [N]	σ_f [MPa]	s [mm]
1.	1	146	87,6	6,5
2.	3	141	84,6	6,4
3.	31	136	81,6	5,8→6,1



Obr. 29. Závislost napětí na počtech cyklů

2.3.1 Výpočty modulu pružnosti v ohybu E_f

Vzorek č.1

Pro stanovení modulu pružnosti v ohybu se vypočítají průhyby s_1 a s_2 odpovídající daným hodnotám deformace ohybem $\varepsilon_{f1} = 0,0005$ a $\varepsilon_{f2} = 0,0025$ dle rovnice:

$$s_i = \varepsilon_{fi} L^2 / 6h$$

$$s_1 = \frac{\varepsilon_{f1} \cdot L^2}{6 \cdot h} \qquad s_1 = \frac{0,0005 \cdot 64^2}{6 \cdot 4} = \underline{\underline{0,0853mm}}$$

$$s_2 = \frac{\varepsilon_{f2} \cdot L^2}{6 \cdot h} \qquad s_2 = \frac{0,0025 \cdot 64^2}{6 \cdot 4} = \underline{\underline{0,42mm}}$$

Pro první cyklus jsme oba průhyby vynesli do grafu a odečetli jim příslušící síly.

Napětí v ohybu σ_f – se počítalo se dle vztahu:

$$\sigma_f = 3FL / 2bh^2$$

$$\sigma_{f1} = \frac{3 \cdot F_1 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \qquad \sigma_{f1} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{1,2MPa}}$$

$$\sigma_{f2} = \frac{3 \cdot F_2 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \qquad \sigma_{f2} = \frac{3 \cdot 12 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{7,2MPa}}$$

Modul pružnosti v ohybu se vypočítal dle rovnice:

$$E_f = (\sigma_{f2} - \sigma_{f1}) / (\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1})$$

$$E_{f1} = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \qquad E_{f1} = \frac{7,2 - 1,2}{0,0025 - 0,0005} = \underline{\underline{3000MPa}}$$

Pro poslední cyklus jsme oba průhyby vynesli do grafu a odečetli jim příslušící síly.

$$\sigma_{f3} = \frac{3 \cdot F_3 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \qquad \sigma_{f3} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{1,2MPa}}$$

$$\sigma_{f4} = \frac{3 \cdot F_4 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \qquad \sigma_{f4} = \frac{3 \cdot 10 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{6MPa}}$$

$$E_{f2} = \frac{\sigma_{f4} - \sigma_{f3}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}}$$

$$E_{f2} = \frac{6 - 1,2}{0,0025 - 0,0005} = \underline{\underline{2400MPa}}$$

Vzorek č. 2

$$\sigma_{f1} = \frac{3 \cdot F_1 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{f1} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{1,2MPa}}$$

$$\sigma_{f2} = \frac{3 \cdot F_2 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{f2} = \frac{3 \cdot 12 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{7,2MPa}}$$

$$E_{f1} = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}}$$

$$E_{f1} = \frac{7,2 - 1,2}{0,0025 - 0,0005} = \underline{\underline{3000MPa}}$$

$$\sigma_{f3} = \frac{3 \cdot F_3 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{f3} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{1,8MPa}}$$

$$\sigma_{f4} = \frac{3 \cdot F_4 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{f4} = \frac{3 \cdot 12 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{7,2MPa}}$$

$$E_{f2} = \frac{\sigma_{f4} - \sigma_{f3}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}}$$

$$E_{f2} = \frac{7,2 - 1,8}{0,0025 - 0,0005} = \underline{\underline{2700MPa}}$$

Vzorek č. 3

$$\sigma_{f1} = \frac{3 \cdot F_1 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{f1} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{1,2MPa}}$$

$$\sigma_{f2} = \frac{3 \cdot F_2 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{f2} = \frac{3 \cdot 9 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{5,4MPa}}$$

$$E_{f1} = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}}$$

$$E_{f1} = \frac{5,4 - 1,2}{0,0025 - 0,0005} = \underline{\underline{2100MPa}}$$

$$\sigma_{f3} = \frac{3 \cdot F_3 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{f3} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{1,2MPa}}$$

$$\sigma_{f4} = \frac{3 \cdot F_4 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

$$\sigma_{f4} = \frac{3 \cdot 8 \cdot 64}{2 \cdot 10 \cdot 4^2} = \underline{\underline{4,8MPa}}$$

$$E_{f2} = \frac{\sigma_{f4} - \sigma_{f3}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}}$$

$$E_{f2} = \frac{4,8 - 1,2}{0,0025 - 0,0005} = \underline{\underline{1800MPa}}$$

Rozdíl u jednotlivých vzorků mezi E_{f1} a E_{f2} dokazuje, že během cyklického zatěžování modul pružnosti v ohybu klesá.

2.4 Součásti vyráběných čelistí

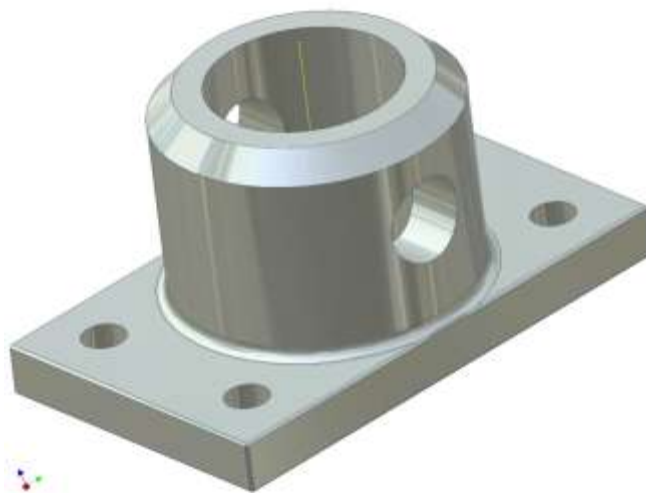
Výrobní výkresy jednotlivých součástí jsou v příloze bakalářské práce.

2.4.1 Nosník



Obr. 30. 3D výkres nosníku

2.4.2 Příruba upínající čelisti na stroj



Obr. 31. 3D výkres příruby

2.4.3 Podpěry

a)



Obr. 32. 3D výkres podpěry A

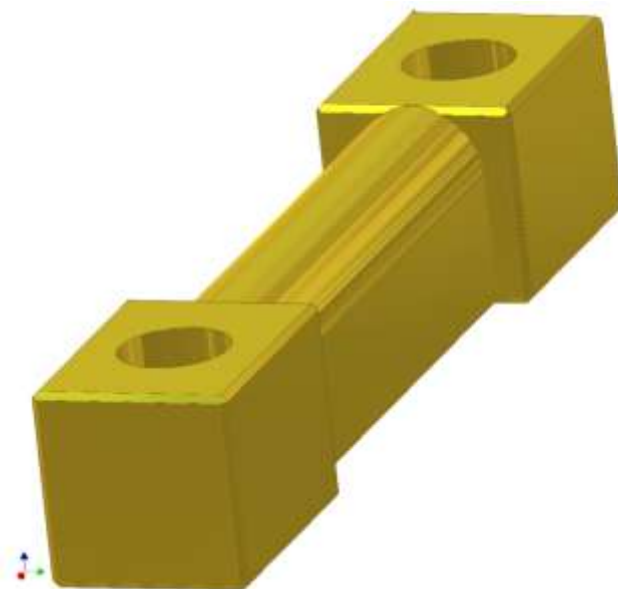
b)



Obr. 33. 3D výkres podpěry B

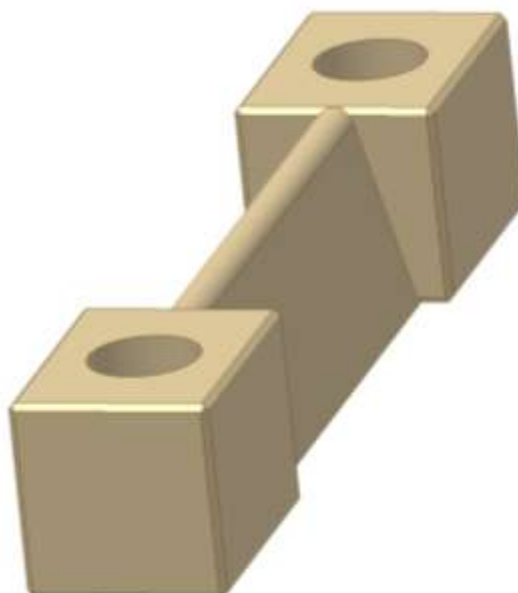
2.4.4 Zajišťovací trn

a)



Obr. 34. 3D výkres zajišťovacího trnu A

b)



Obr. 35. 3D výkres zajišťovacího trnu B

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsme se zaměřili na mechanické zkoušky a podrobněji jsme rozebrali zkoušky ohybové a dynamické zkoušky. Během vypracování bakalářské práce jsem navrhl dvě varianty podpěr, obě varianty rozšíří použití zkušebního stroje Zwick 145 665 pro který jsem čelisti navrhoval. Čelisti byly vyrobeny, během všech zkoušek nedošlo k žádným problémům a ověření funkčnosti čelistí bylo provedeno na několika vzorcích z PMMA.

Na čelistech se mohou provádět cyklické zkoušky a můžou pomoci při tvorbě dalších bakalářských prací.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] **LUKOVICS, Imrich. Konstrukční materiály a technologie. VUT Brno: 1991.**
- [2] **HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J. Strojírenská technologie 1- Nauka o materiálu 1. díl. Praha: Scientia, 2002. 266 s. ISBN 80-7183-262-6.**
- [3] **HLUCHÝ, M. Strojírenská technologie 1. Praha: SNTL, 1984. 176 s.**
- [4] **JARUŠEK, Jaroslav. Metody zkoumání polymerů. VŠCHT Pardubice, 1984. ISBN 80-85113-01-5.**
- [5] **Technická norma: ČSN EN ISO 178 (64 0607).**
- [6] **SCHÄTZ, Miroslav, VONDRÁČEK, Petr. Zkoušení polymerů. VŠCHT Praha: SNTL, 1979.**
- [7] **KREIBICH, Viktor. Strojírenská technologie IV. Praha: SNTL, 1988. 328s.**
- [8] **PLUHAŘ, Jaroslav, KORITTA, Josef. Strojírenské materiály. Praha: SNTL, 1966.**

Internetový zdroj:

- [9] **Technická univerzita v Liberci – Fakulta strojní, katedra strojírenské technologie Oddělení tváření kovů a plastů: [online]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm**
- [10] **Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity: [online]. Dostupný z WWW: <http://www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm>.**

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

T_m	Teplota tání	[°C]
T_f	Teplota viskózního toku	[°C]
T_g	Teplota skelného přechodu	[°C]
σ_f	Napětí v ohybu	[MPa]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
E_f	Modul pružnosti v ohybu	[MPa]
ε	Poměrné prodloužení	[-]
t	Doba působení napětí	[s]
η	Dynamická viskozita	[Pa.s ⁻¹]
L	Rozpětí podpěr	[mm]
h	Tloušťka zkušebního tělesa	[mm]
F	Zatěžující síla	[N]
b	Šířka zkušebního tělesa	[mm]
s	Průhyb	[mm]
σ_{fM}	Pevnost v ohybu	[MPa]
σ_m	Střední napětí	[MPa]
σ_h	Horní napětí	[MPa]
σ_d	Dolní napětí	[MPa]
σ_c	Mez únavy	[MPa]
σ_{co}	Mez únavy v ohybu	[MPa]
τ_c	Mez únavy v krutu	[MPa]
ε_{fM}	Deformace ohybem na mezi pevnosti v ohybu	[-]
ε_{fB}	Deformace ohybem v okamžiku lomu	[-]
σ_{fc}	Napětí v ohybu při smluvním průhybu	[MPa]

W_{Fmax}	Práce vykonaná při maximální síle	[Nmm]
W_{Break}	Práce vykonaná při zlomení vzorku	[Nmm]
PVC	Polyvinylchlorid	
PE	Polyetylén	
PE-LD	Polyetylén nízké hustoty	
PE-HD	Polyetylén vysoké hustoty	
PP	Polypropylén	
PTFE	Polytetrafluoretylén	
POM	Polyoxymethylén	
PC	Polykarbonát	
PET	Polyetyléntereftalát	
PMMA	Polymethylmetakrylát	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Teplotní závislost mechanických vlastností polymerů	10
Obr. 2. Schéma deformací lineárních polymerů	12
Obr. 3. Změna modulu pružnosti v závislosti na teplotě	13
Obr. 4. Viskoelastické chování polymerů	14
Obr. 5. Základní druhy namáhání materiálu	18
Obr. 6. Poloha tělesa na začátku zkoušky	20
Obr. 7. Průběh napětí uvnitř vzorku	20
Obr. 8. Základní způsoby namáhání - průběhy napětí	21
Obr. 9. Konstrukce Wöhlerovy křivky - zjišťování meze únavy	23
Obr. 10. Wöhlerova únavová křivka pro plasty	24
Obr. 11. Přednostní typ zkušebního tělesa	26
Obr. 12. Schéma univerzálního zkušebního stroje pro zkoušku tahem, tlakem a ohybem	27
Obr. 13. Zkušební stroj Zwick 145 665	28
Obr. 14. Elektrolytické (galvanické) pokovování	30
Obr. 15. Upínací zařízení stroje	33
Obr. 16. 3D schéma čelistí	34
Obr. 17. Konstrukce navržených čelistí	35
Obr. 18. Varianta podpěr č. 2	36
Obr. 19. Zkušební vzorky	37
Obr. 20. Čelisti bez horních částí podpěr	37
Obr. 21. Grafické vyhodnocení ohybových zkoušek	38
Obr. 22. Průběh cyklické zkoušky	40
Obr. 23. Grafické vyhodnocení vzorku č.1	40
Obr. 24. Grafické vyhodnocení vzorku č.1	41
Obr. 25. Grafické vyhodnocení vzorku č.2	41

Obr. 26. Grafické vyhodnocení vzorku č.2	42
Obr. 27. Grafické vyhodnocení vzorku č.3	42
Obr. 28. Grafické vyhodnocení vzorku č.3	43
Obr. 29. Závislost napětí na počtech cyklů	43
Obr. 30. 3D výkres nosníku	46
Obr. 31. 3D výkres příruby	46
Obr. 32. 3D výkres podpěry A	47
Obr. 33. 3D výkres podpěry B	47
Obr. 34. 3D výkres zajišťovacího trnu A	48
Obr. 35. 3D výkres zajišťovacího trnu B.....	48

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Charakteristické vlastnosti plastů	10
Tab. 2. Vliv nejdůležitějších činitelů	25
Tab. 3. Hodnoty šířky b ve vztahu k tloušťce h (rozměry v mm)	26
Tab. 4. Naměřené hodnoty ohybových zkoušek	39
Tab. 5. Volba zatěžujících sil	39
Tab. 6. Shrnutí cyklických zkoušek	43

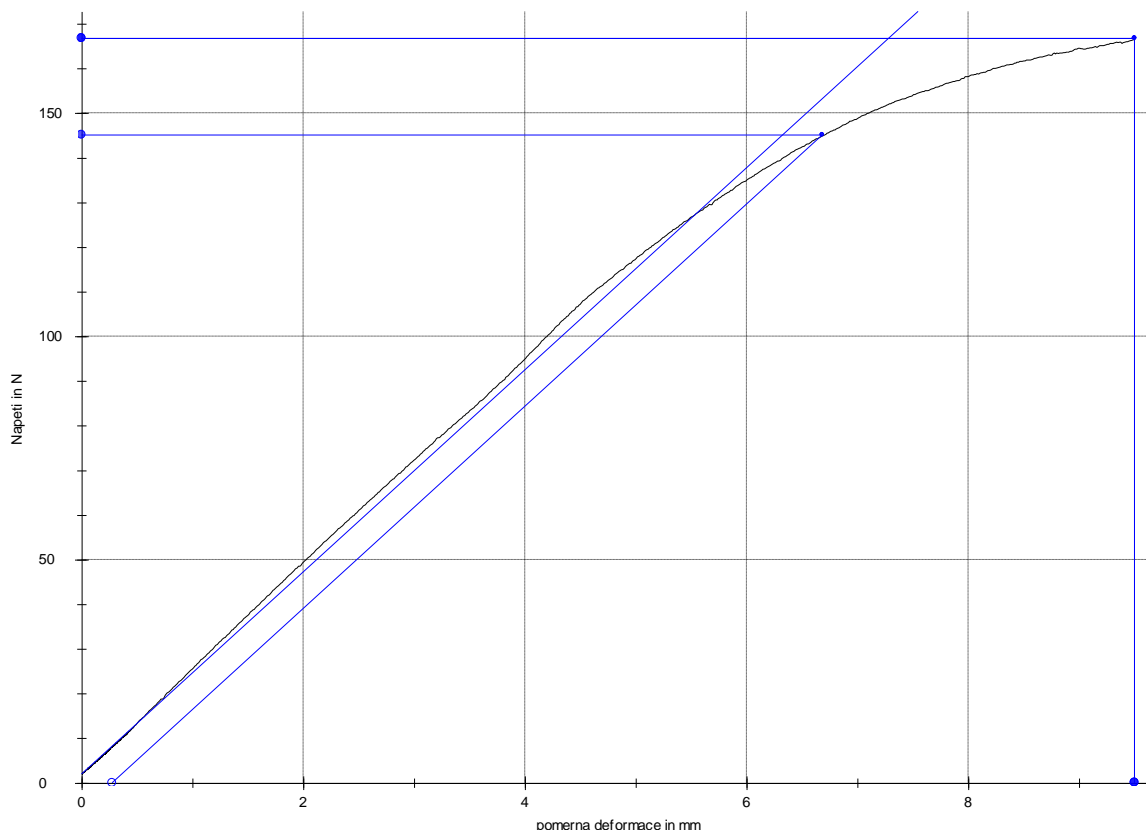
SEZNAM PŘÍLOH

- P I Sestava čelistí č. v. BC-03-000
- P II Výrobní výkres podpěry A č. v. BC-04-001
- P III Výrobní výkres podpěry B č. v. BC-04-002
- P IV Výrobní výkres zajišťovacího trnu A č. v. BC-04-003
- P V Výrobní výkres zajišťovacího trnu B č. v. BC-04-004
- P VI Výrobní výkres příruby č. v. BC-04-005
- P VII Výrobní výkres nosníku č. v. BC-03-006
- P VIII Výrobní výkres kroužku č. v. BC-04-007
- P IX Grafické vyhodnocení ohybových zkoušek

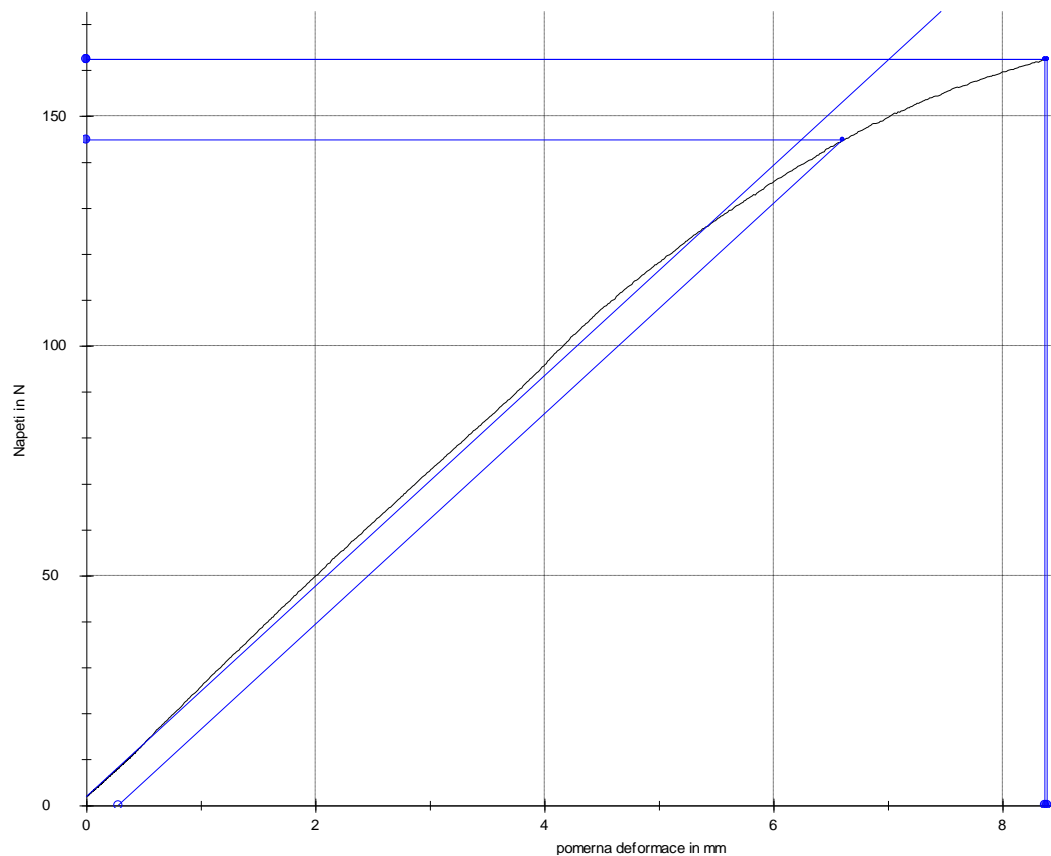
PŘÍLOHA IX

Grafické vyhodnocení ohybových zkoušek

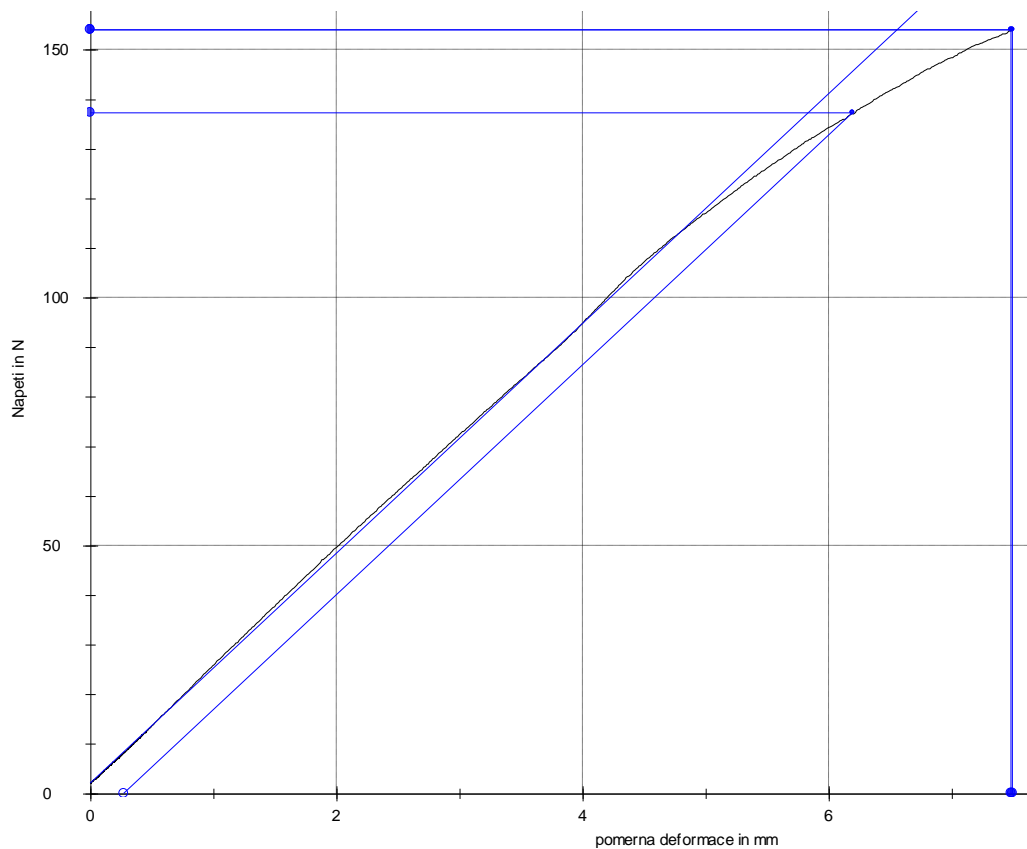
Grafické vyhodnocení vzorku č. 1



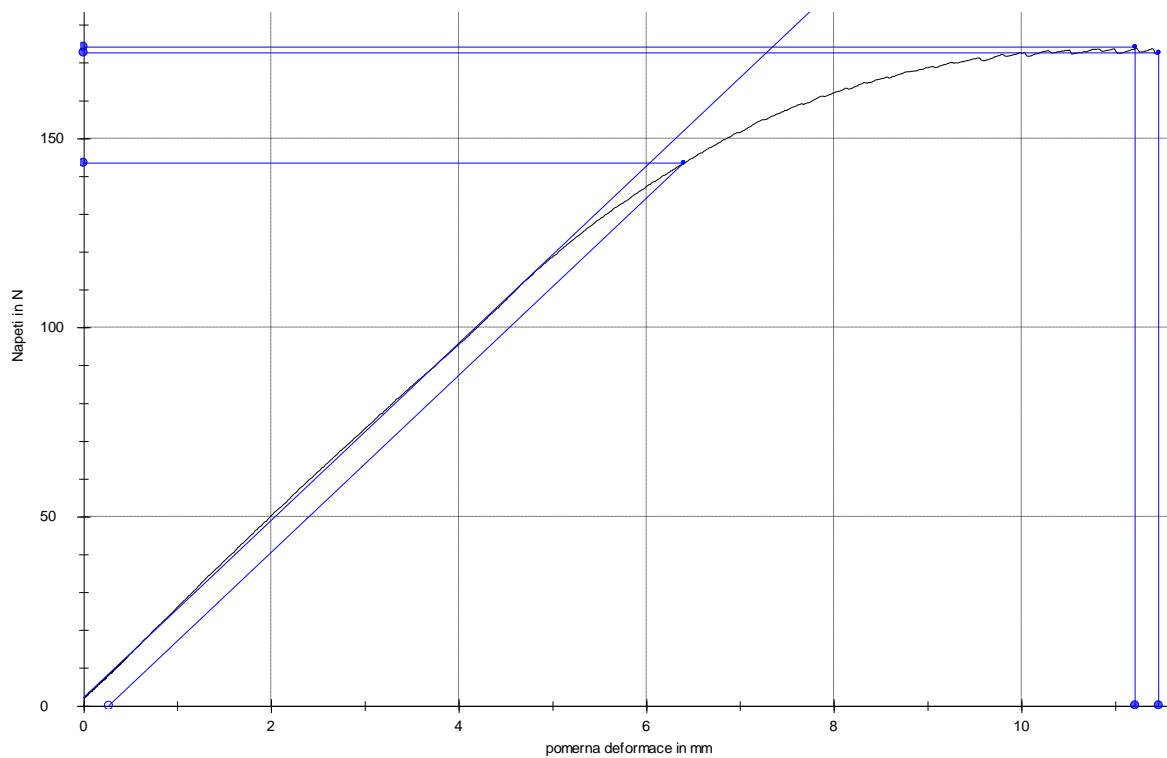
Grafické vyhodnocení vzorku č. 2



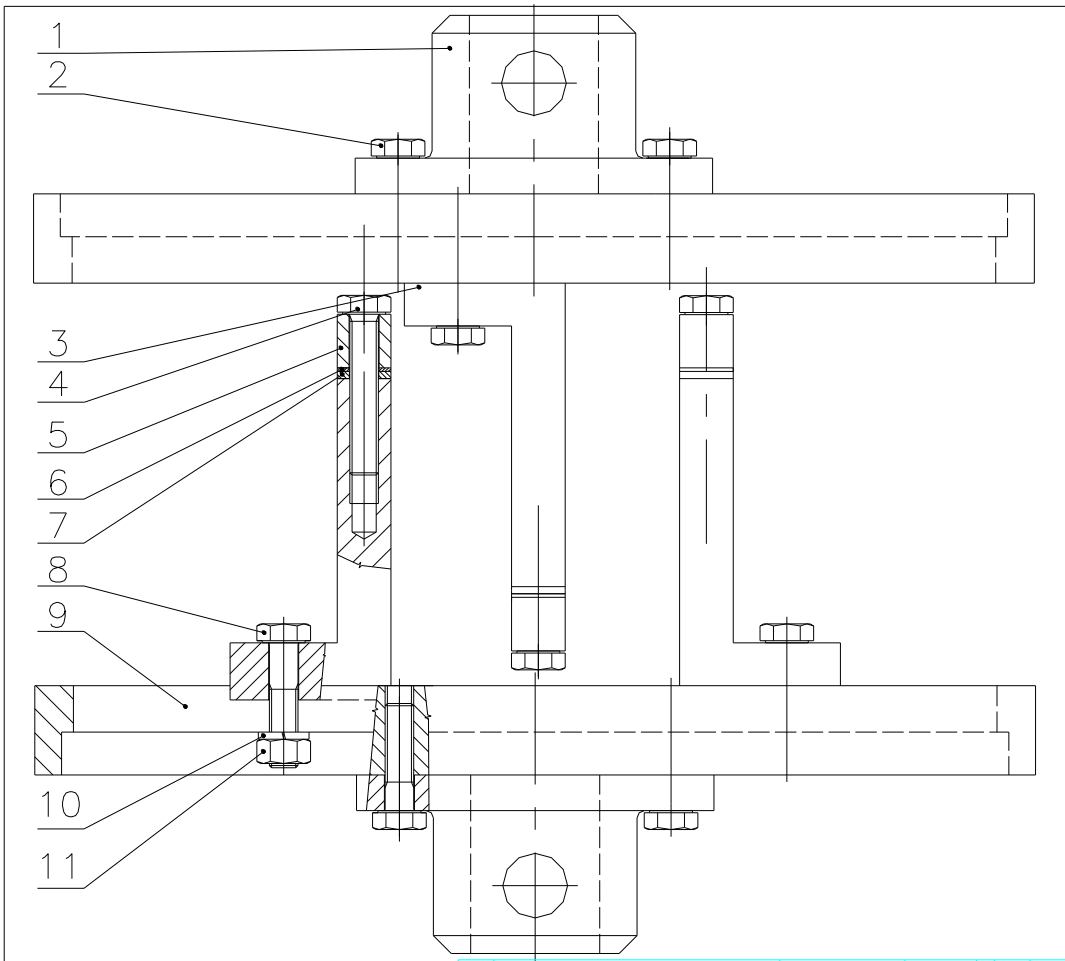
Grafické vyhodnocení vzorku č. 3



Grafické vyhodnocení vzorku č. 4



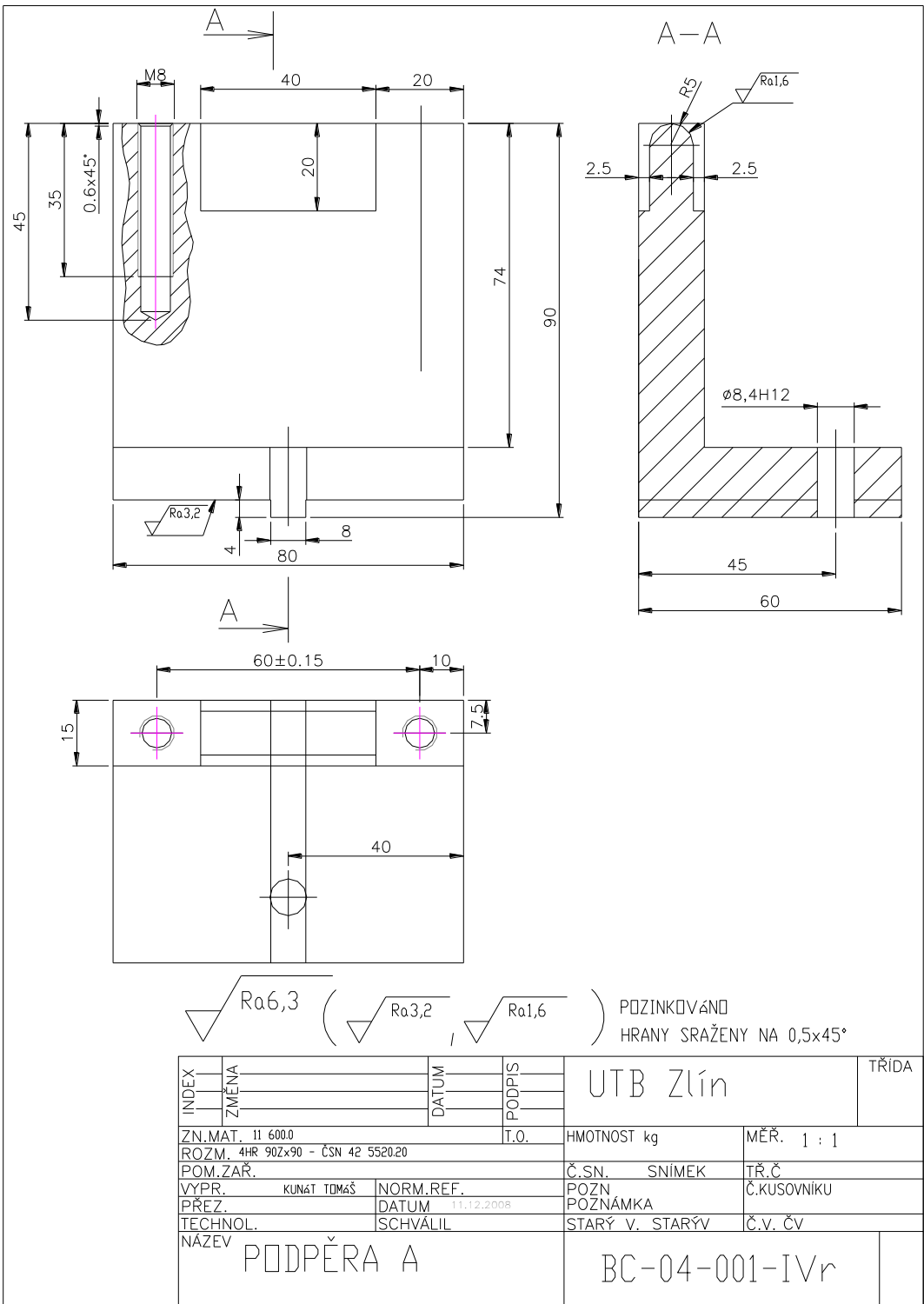
Přílohy:

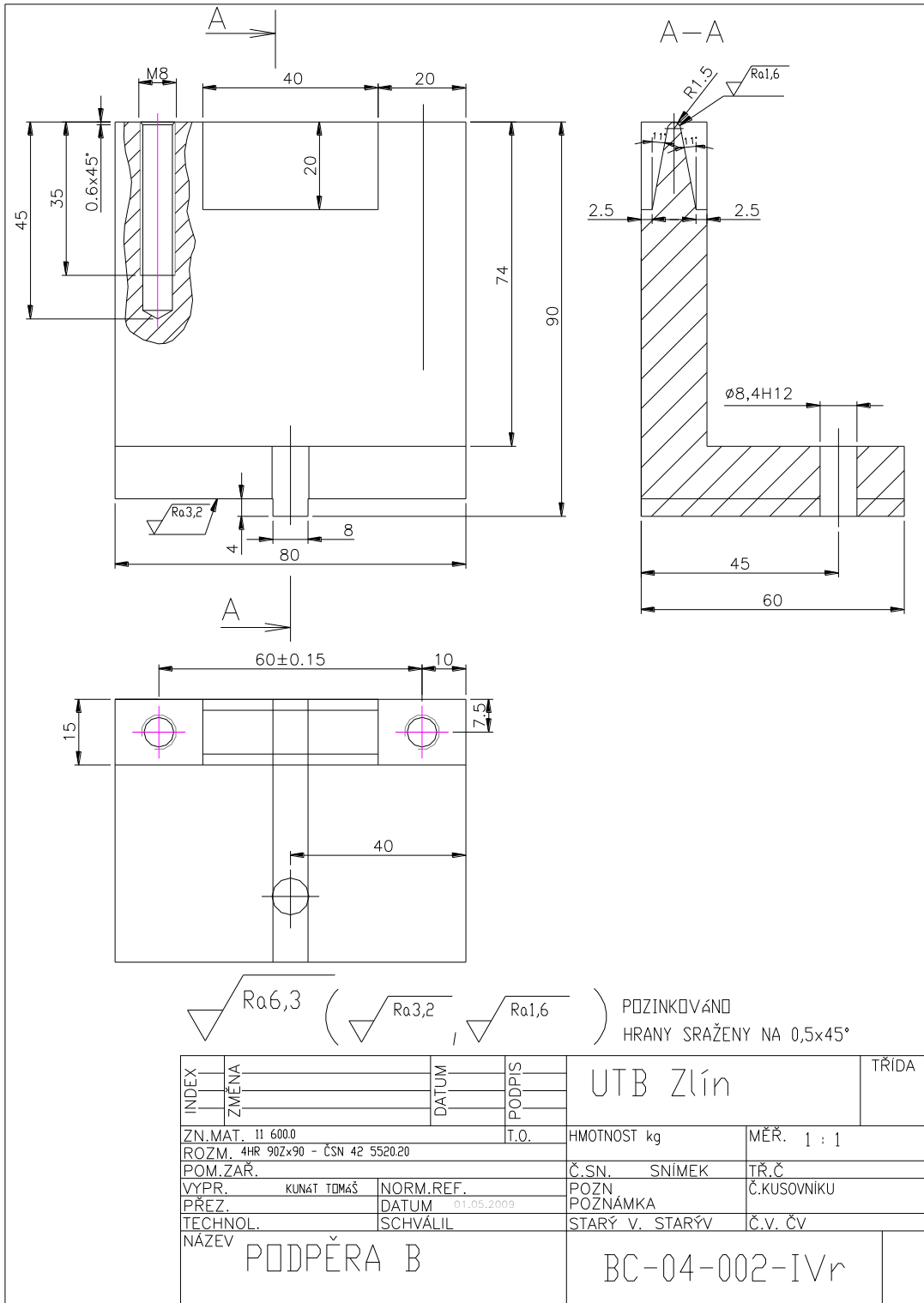


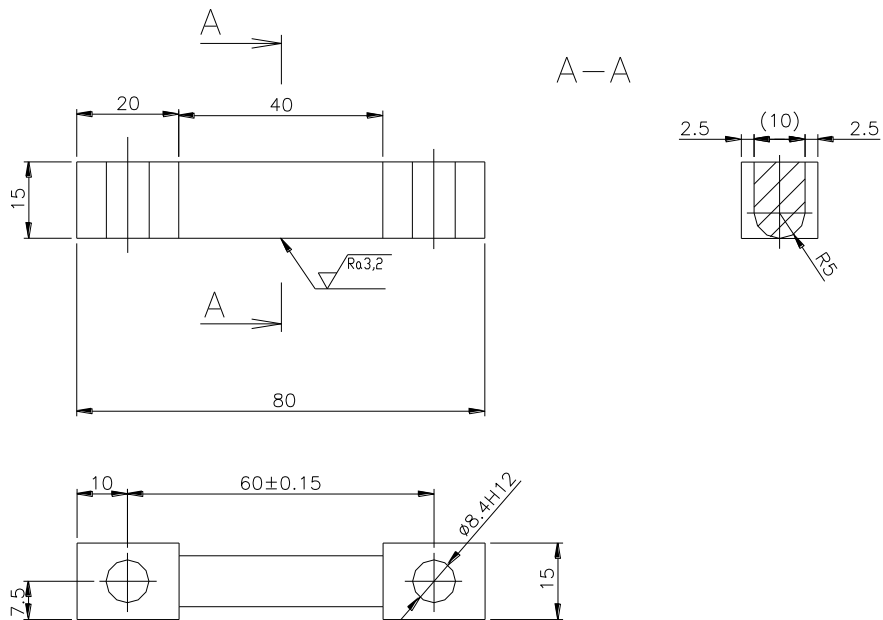
11	MATICE M8	ČSN 02 1401	11 500	ks	3	-
10	PODLOŽKA 8	ČSN 02 1741.11	14 260	ks	3	-
9	NOSNIK 60x25x280	BC-03-008	11 500	ks	2	-
8	ŠROUB M8x35	ČSN 02 1101	11 500	ks	3	-
7	PODLOŽKA 8	ČSN 02 1715	11 500	ks	24	-
6	KROUŽEK ø15-1	BC-04-006	11 500	ks	6	-
5	TRN 15x15x60	BC-04-005	11 600.0	ks	3	-
4	ŠROUB M8x45	ČSN 02 1103	11 500	ks	6	-
3	PODPĚRA 60x80x90	BC-04-003	11 600.0	ks	3	-
2	ŠROUB M8x30	ČSN 02 1101	11 500	ks	8	-
1	PRÍRUBA 100x60x50	BC-04-001	11 500	ks	2	-

POZ.	NÁZEV - ROZMĚRY POLOTOVARU	VÝKRES - NORMA	MATERIÁL	J.	MN.	HMOT. kg
------	----------------------------	----------------	----------	----	-----	----------

INDEX	ZMĚNA	DATUM	POPS	UTB Zlín	TRIDA
ZN. MAT.	ROZM.	POM. ZAR.	IT.O.	HMOTNOST kg	MĚR. 1 : 1
VYPR.	KUNG TDM65	NORM. REF.	11.12.2008	Č.SN.	SNIMEK
PREZ.	DATUM	SCHVÁLIL	STARÝ V.	STARÝV	Č.V. ČV
TECHNOL.	NAZEV	SESTAVA		BC-03-000-IVr	



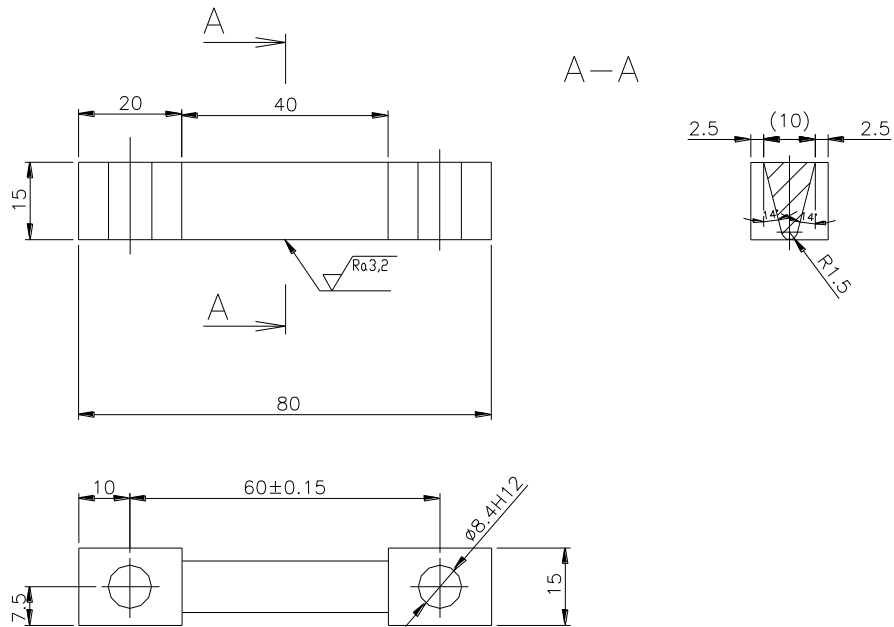




$Ra6,3$ ($Ra3,2$)

POZINKOVÁNO
HRANY SRAŽENY NA $0,5 \times 45^\circ$

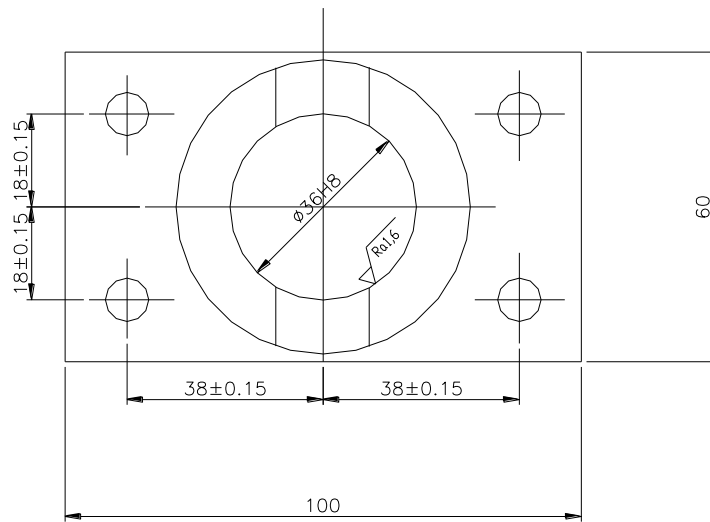
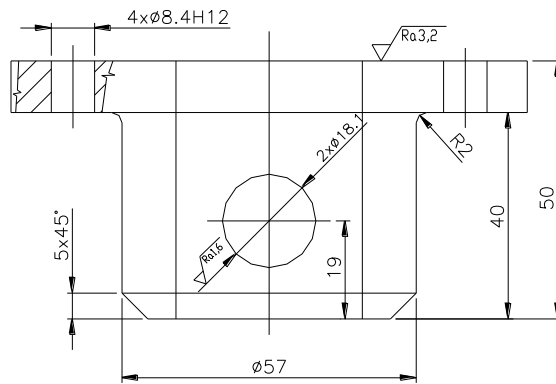
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UTB Zlín		TŘÍDA
ZN.MAT.	11 6000	T.O.	HMOTNOST kg	MĚŘ.	1 : 1	
ROZM.	4HR 18Zx85 - ČSN 42 5520.20		Č.SN.	SNÍMEK	TŘ.Č	
POM.ZAŘ.			POZN		Č.KUSOVNIKU	
VYPR.	KUNÁT TOMAŠ	NORM.REF.	POZNÁMKA			
PŘEZ.		DATUM	11.12.2008	STARÝ V.	STARÝV	Č.V. ČV
TECHNOL.		SCHVÁLIL				
NÁZEV	ZAJIŠŤOVACÍ TRN A			BC-04-003-IVr		



Ra6,3 (Ra3,2)

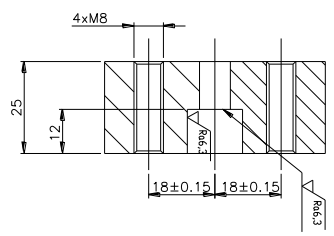
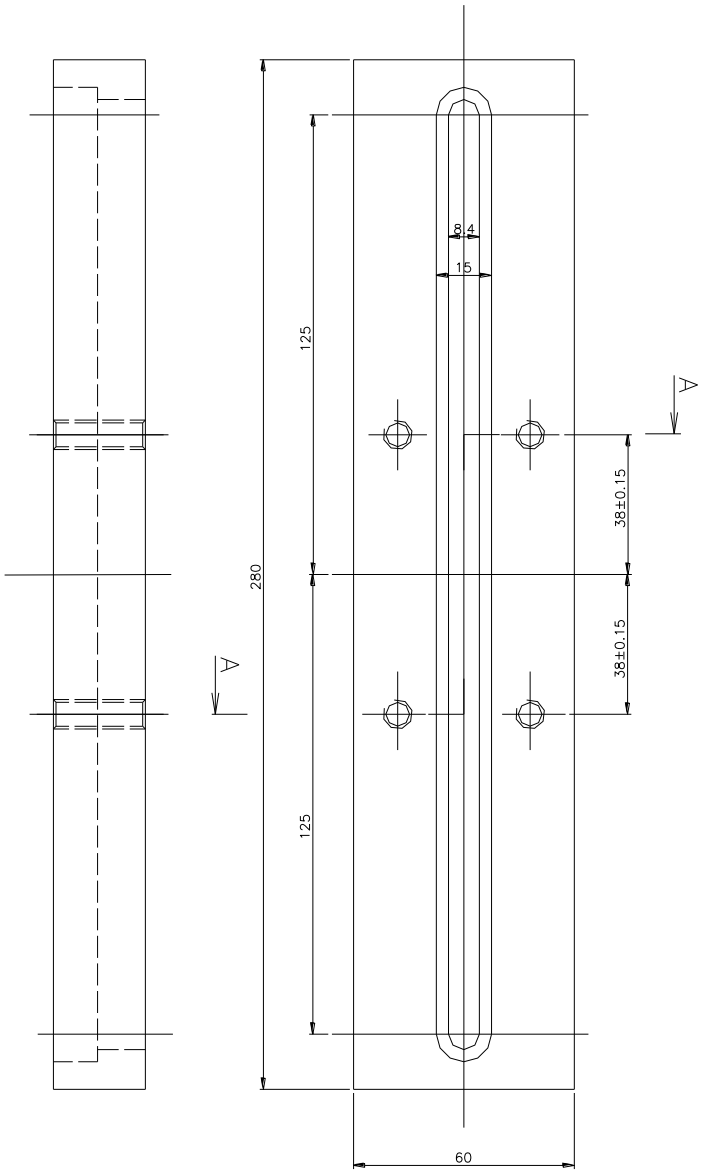
POZINKOVÁNO
 HRANY SRAŽENY NA 0,5x45°

INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UTB Zlín		TŘÍDA
ZN.MAT.	11 600.0	T.O.		HMOTNOST kg	MĚŘ. 1 : 1	
ROZM.	4HR 18Zx85 - ČSN 42 5520.20			Č.SN.	SNÍMEK	TŘ.Č
POM.ZAŘ.				POZN		Č.KUSOVNIKU
VYPR.	KUNÁT TOMÁŠ	NORM.REF.		POZNÁMKA		
PŘEZ.		DATUM	01.05.2009	STARÝ V.	STARÝV	Č.v. ČV
TECHNOL.		SCHVÁLIL				
NÁZEV	ZAJIŠŤOVACÍ TRN B			BC-04-004-IVr		



$\sqrt{Ra6,3}$ ($\sqrt{Ra3,2}$, $\sqrt{Ra1,6}$) POZINKOVÁNO
 HRANY SRAŽENY NA 0,5x45°

INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UTB Zlín	TŘÍDA
ZN.MAT. 11 500			T.O.	HMOTNOST kg	MĚŘ. 1 : 1
ROZM. Ø120-55 ČSN 42 5510.1				Č.SN. SNÍMEK	TŘ.Č
POM.ZAŘ.	KUNÁT TOMÁŠ	NORM.REF.		POZN	Č.KUSOVNIKU
VYPR.		DATUM 11.12.2008		POZNÁMKA	
TECHNOL.		SCHVÁLIL		STARÝ V. STARÝV	Č.V. ČV
NÁZEV	PŘÍRUBA			BC-04-005-IVr	

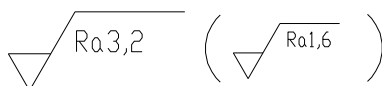
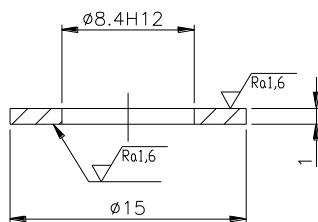


A-A

$\sqrt{R0.3,2}$ ($\sqrt{R0.6,3}$)

POZINKOVANÉ
HRANY SRAŽENÝ NA 0.5x45°

INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	HMOTNOST kg	MĚR:	TRIDA
					1 : 1	
ZNAČENÍ: 11 906				UTB Zlín		
ROZMĚRY: 106x30x29 (ČSN 42 3522/II)						
POVĚŠENÍ: KINAT TĚŽKÝ						
VÝKON: NORMA REF.						
KVALITA: ČSN EN 10122/2006						
MATERIÁL: S235JR						
NÁZEV: NDSNÍK				BC-03-006-IV		



POZINKOVÁNO
HRANY SRAŽENY NA 0,5x45°

INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	UTB Zlín		TŘÍDA
ZN.MAT.	11 500	I.O.		HMOTNOST kg	MĚŘ. 3 : 1	
ROZM.	ø17-3 ČSN 42 5510			Č.SN.	SNÍMEK	TŘ.Č
POM.ZAŘ.				POZN		Č.KUSOVNIKU
VYPR.	KUNÁT TOMÁŠ	NORM.REF.		POZNÁMKA		
PŘEZ.		DATUM	11.12.2008	STARÝ V.	STARÝV	Č.V. ČV
TECHNOL.		SCHVÁLIL				
NÁZEV	KROUŽEK			BC-04-007-IVr		